

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MILENA MACHADO DE MELO

Correlação entre percepção do incômodo e
exposição ao material particulado presente na
atmosfera e sedimentado

VITORIA
2015

MILENA MACHADO DE MELO

Correlação entre percepção do incômodo e exposição ao material particulado presente na atmosfera e sedimentado

Tese submetida ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Engenharia Ambiental.

Orientadores: Prof^ª. Dra. Jane Meri Santos, Ph.D.,
Co-orientadores: Prof^º. Dr. Valdério Anselmo
Reisen, Ph.D., Profa^a. Dra. Severine Frere, PhD.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M528c Melo, Milena Machado de, 1977-
Correlação entre percepção do incômodo e exposição ao
material particulado presente na atmosfera e sedimentado /
Milena Machado de Melo. – 2015.
272 f. : il.

Orientador: Jane Meri Santos.

Coorientador: Valdério Anselmo Reisen.

Coorientador: Severine Frere.

Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Ar – Poluição. 2. Poeira. 3. Métodos estatísticos. 4.
Material particulado. 5. Regressão Logística. I. Santos, Jane
Meri. II. Reisen, Valdério Anselmo. III. Frere, Severine Frere. IV.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. V.
Título.

CDU: 628

MILENA MACHADO DE MELO

Correlação entre percepção do incômodo e
exposição ao material particulado presente na
atmosfera e sedimentado

*Aos meus pais Ilze e Romulo,
Ao meu esposo Bruno,
E ao meu filho Diego*

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Ambiental, área de concentração Poluição do Ar.

Vitória, 30 de junho de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA

Jane Meri Santos
Orientadora – PPGEA/CT/UFES

Valderio Anselmo Reisen
Co- Orientador – DEST/CCE/UFES,
PPGEA/CT/UFES

Antonio Carlos Monteiro Ponce de Leon
Examinador Externo – IMS/UERJ

Henrique de Melo Lisboa
Examinador Externo – ENS/UFSC

Neyval Costa Reis Junior
Examinador Interno – PPGEA/CT/UFES

Taciana Toledo Almeida Albuquerque
Examinador Interno – PPGEA/CT/UFES

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por me iluminar, me dar forças e saúde em todos os momentos difíceis, mas necessários, para conquistar o tão sonhado título de doutora.

Agradeço à minha amada mãe por me ensinar a nunca desistir das batalhas da vida. Por sempre me acompanhar e apoiar em minhas decisões e por morar comigo na França para realizar meu sonho. Obrigada por tudo!!!

Agradeço ao meu esposo Bruno, pelo apoio e amor incondicional, por aceitar os dias e as noites distantes e por cuidar do nosso filho durante minha ausência.

Agradeço ao meu filho Diego, que desde o início no meu ventre acompanhou minha luta diária ao sair de Guarapari para Vitória me dedicar aos estudos.

Agradeço o meu pai, que desde criança foi meu exemplo de Engenheiro “Ambiental”, por me apoiar na escolha de dar continuidade aos estudos na Engenharia.

Agradeço às minhas irmãs Elenara e Lídia, aos meus sobrinhos Lucas, Julia e Laura, meus cunhados, parentes e familiares pela torcida!

À minha sogra Marstela e ao meu sogro Luiz Paulo pela ajuda e apoio nos momentos de sufoco.

À minha mestra e orientadora Profa. Dra. Jane Meri Santos, por acreditar em mim, por me orientar com tanta competência e sabedoria, por me dar as mãos e me ensinar a pesquisar e construir ciência.

Ao Prof. Dr. Valdério Anselmo Reisen, pelas orientações e ricos ensinamentos, além das ideias originais que me ajudaram a ganhar o prêmio de melhor trabalho científico na conferência Dust, 2014.

À professora Serveine Frere, que me recebeu com atenção e me orientou no doutorado sanduiche realizado na ULCO, França.

Aos colaboradores da ULCO pelo apoio, em especial Philippe Chagnon, Rachel Bavdek, Caroline.Rufin-Soler, Anne-Peggy Hellequin, Delphine Groux. Merci!!!

Ao prof. Ilias, pelas contribuições nos artigos científicos resultantes da pesquisa.

Aos professores do PPGA, principalmente profa. Taciana e prof. Neyval, e aos professores do DEST, prof. Fernando Pêgo e prof. Edwards, pelos ensinamentos aplicados no presente estudo.

Aos colegas do NQualiar e NUMES em especial, Edilson, Enilene, Bruno, Fátima, Taizi, Higor, Edson, Adriano, Harerton, Israel, Melina, Nataly, Antônio, Alexandre, Ayres, Larissa, Fernanda, Rita, Mayana, Érica, entre outros... pelo apoio, amizade e contribuições diárias durante os anos do doutorado.

Aos bolsistas do projeto, Wharley, Alan e João Henrique, pelo empenho, dedicação e conhecimento e tempo aplicado durante a pesquisa.

Aos alunos de graduação da engenharia ambiental e da estatística que foram comigo às ruas coletar os dados. A dedicação e empenho de vocês foi fundamental!

Ao Reitor do Ifes Prof. Dênio, ao Diretor do campus Guarapari Prof. Ronaldo, ao gerente de ensino Prof. Gibson e aos queridos colegas Marcelo, Simone, Duda, Beth, Carla, Oldair, Virgínia, Vinícius, Luiz, Wallas, Jonathan, Fabíola, Letícia, Roberta, Alexandra e tantos outros que torceram por mim e me apoiaram para que eu conseguisse o afastamento necessário para dedicação aos estudos.

Aos colegas da Faculdade Pitágoras de Guarapari por todo apoio, em especial ao Alessandro Gonçalves, Sandra Tedold, Soraia, Rodrigo Biazon, Juliana, Sandra Raimundo, Fernando, Giovanni, Julio, Doris, Carlos Luna, além de outros que acompanharam minha luta e mandaram energia positiva.

Ao departamento de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, em especial à Rose e a profa. Regina Keller, sempre muito dedicadas e atenciosas.

À CAPES, à FAPES e ao IEMA pelo apoio financeiro essencial para execução do projeto.

Ao projeto COFECUB por tornar possível a troca de experiência e conhecimento entre o Brasil e a França.

À UFES e ao ensino público, gratuito e de qualidade!

RESUMO

O material particulado é um poluente atmosférico que provoca danos à saúde humana, dos animais e das plantas, afeta o clima além de ser causa potencial de incômodo quando se sedimenta em objetos, materiais e superfícies de uso cotidiano. Em regiões urbanas o material particulado se origina principalmente de fontes industriais, veiculares, suspensão do solo e construção civil que por meio dos efeitos do vento (direção e velocidade) promovem a dispersão e sedimentação das partículas. Esta tese estuda e avalia a percepção do incômodo causada por material particulado em regiões metropolitanas e industrializadas a fim de identificar os fatores determinantes do incômodo percebido e sua relação com níveis de material particulado (PM₁₀, PTS e Partículas Sedimentadas). Os dados foram coletados por meio de pesquisas de opinião realizadas face a face e por telefone no período de 2011 a 2014 assim como dados de concentração dos poluentes medidos nas estações fixas de monitoramento da qualidade do ar. Os dados foram analisados por meio da aplicação de técnicas estatística multivariada, análise de correspondência múltipla, análise de componentes principais e regressão logística simples e múltipla. Os resultados mostraram que aproximadamente 90% dos respondentes estão incomodados com a poluição do ar, principalmente pela presença de poeira. De forma geral as variáveis indicadas como determinantes do incômodo são, importância da qualidade do ar, percepção do risco industrial, percepção da poluição, ocorrência de problemas na saúde, gênero e idade. Na análise entre os relatos de incômodo obtidos na pesquisa face a face e a concentração de PM₁₀ e PTS para as sub-regiões da RGV observa-se probabilidade significativa de relatos de incômodo mesmo quando não expostos à concentração desses poluentes, indicando que o incômodo está muito mais relacionado à percepção da poeira. Esta hipótese se confirma na análise entre a percepção do incômodo relatada na pesquisa painel e as taxas de deposição de partículas medidas mensalmente. A partir daí foi possível estimar o percentual de indivíduos dado os aumentos gradativos na taxa de partículas sedimentadas para cada sub-região. Estes resultados contribuem científica e socialmente no sentido de fornecer um guia com diretrizes para subsidiar a definição de um padrão de qualidade do ar para o incômodo causado por partículas sedimentáveis na região metropolitana da Grande Vitória. Finalmente, por meio de uma análise do efeito combinado de diferentes formas de medir o material particulado foi possível estimar parâmetros para cálculo do risco relativo de incômodo para cada poluente e concluir que o valor mais preciso entre os riscos relativos estimados se refere às partículas sedimentadas.

Palavras-chave – Poluição do ar, Incômodo, Poeira, Material Particulado, Regressão Logística, Análise de Componentes Principais, Análise de Correspondência Múltipla, Risco Relativo.

ABSTRACT

Particulate matter is an air pollutant that harms the health of humans, animals and plants, affects the climate and causes annoyance when settled on objects, materials and surfaces of common use. In metropolitan areas, particulate matter is originated mainly from industrial sources, carriers, soil suspension and construction sources by means of which the wind effects (direction and speed) promote the dispersion and sedimentation of the particles. This thesis investigates and evaluates the perception of annoyance caused by particulate matter in metropolitan and industrialized regions in order to identify the determinants of the perceived annoyance and its relation to the levels of particulate matter (PM₁₀, PTS and Settled Particles). Data were collected through surveys conducted face-to-face and by telephone in the period 2011-2014 as well as concentration data of the measured pollutants in fixed stations monitoring air quality. Data were analysed through the application of multivariate statistical techniques, named multiple correspondence analysis, principal component analysis and both multiple and simple logistic regression. The results showed that approximately 90% of respondents reported being annoyed by air pollution, mainly by dust. Generally, the variables listed as determinants of annoyance are: importance of air quality, industrial risk perception, perception of pollution, occurrence of health problems, gender, occupation and age. The exposure versus response analysis showed that there was a significant relationship between the perception of annoyance (reported by respondents) and particulate matter concentration levels (PM₁₀, PTS and Settled Particles). This work contributes scientifically and socially in order to provide guidelines for setting a standard of air quality despite of the annoyance caused by settled particles in the area of Greater Vitoria (Brazil). Finally, by the analysis of the combined effect of pollutants, estimated values for the relative risk of annoyance showed that an increase in the particle deposition rate contributes significantly to increasing the risk of annoyance.

Key words: Air pollution, Annoyance, Dust, Particulate Matter, Logistic Regression, Principal Component Analysis, Multiple Correspondence Analysis, Relative Risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Percentual de partículas em função do diâmetro aerodinâmico, observando o trato respiratório.....	26
Figura 3-2 Vista superior de uma placa sobreposta adotada no estudo de Shannigrahi Fukushima e Ozaki (2005)	30
Figura 3-3 Dispositivo de amostragem alternativo, desenvolvido no trabalho de Trivuncevic et al.(2009).....	30
Figura 3-4 Placa de cobre coberta com fita adesiva usada para simular a deposição de partículas.....	31
Figura 3-5 Desenho do recipiente cilíndrico, suporte, escudo de vento e dimensões para coletor de partículas sedimentadas conforme a norma ASTM D 1739 (1998).	32
Figura 3-6 Coletor Cilíndrico baseado na norma ASTM D 1739-98.	32
Figura 3-7 Vista lateral do anel defletor (a). Imagem de um <i>frisbee</i> com anel defletor e bolinhas de vidro(b).....	33
Figura 4-1 Rosa dos ventos da RMGV dos anos 2011 (a), 2012 (b), 2013 (c), 2014 (d).....	47
Figura 4-2 Região Metropolitana da Grande Vitória e distribuição espacial das estações de monitoamento da qualidade do ar RAMQAr	48
Figura 4-3 Estrutura física de uma das estações de monitoramento da qualidade do ar.	50
Figura 4-4 Séries temporais do poluente MP ₁₀ de 2010 a 2014 separadas por município da RMGV: (a)Vitória, (b) Serra, (c) Vila Velha e (d) Cariacica.....	51
Figura 4-5 Séries temporais do poluente PTS de 2010 a 2014 separadas por município da RMGV: (a)Vitória, (b) Serra, (c) Vila Velha e (d) Cariacica.....	52
Figura 4-6 Estrutura e equipamento de amostragem de PM ₁₀ e PTS inlet (a) e TEOM (b).	55
Figura 4-7 Esquema de recipiente cilíndrico, suporte, escudo de vento e dimensões para coletor de poeira sedimentável(a) os quatro coletores (b) e detalhes do coletor (c).....	56
Figura 4-8 Exemplos de perguntas e respostas qualitativas (a) e quantitativas (b)	59
Figura 4-9 Delimitação da área em torno das estações de monitoramento e demarcações da população por regiões censitárias	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Diretrizes de Qualidade do Ar para o material particulado segundo a OMS ..	34
Tabela 3-2 - Padrões nacionais de qualidade do ar – Material Particulado	35
Tabela 3-3- Metas e padrões estado do Espírito Santo – Material Particulado.....	35
Tabela 3-4 - Padrões para taxa de deposição de partículas sedimentadas (PS).....	37
Tabela 4-1 - Parâmetros monitorados nas estações da RAMQAr.	49
Tabela 4-2 - Taxas Médias de emissões de poluentes para as atividades inventariadas.....	53
Tabela 4-3 - Número de habitantes e percentual ao redor das estações de monitoramento da qualidade do ar.....	62
Tabela 4-4 - Tamanho da amostra para pesquisa face a face separado por região e proporções	63
Tabela 4-5 – Planejamento do número de entrevistadores e número de entrevistas face a face por região	64
Tabela 4-6 - Tamanho da amostra pesquisa painel por telefone	64
Tabela 4-7 – Descrição das variáveis de interesse para aplicação da ACM	68

LISTA DE SIGLAS

Sigla	Significado
PM ₁₀	Particulate material – less than 10 µm
MP ₁₀	Material particulado – menor que 10 µm
TSP	Total suspended particles
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SP	Settled particles
PS	Partículas Sedimentadas
RMGV-ES	Região Metropolitana da Grande Vitória – estado do Espírito Santo
WHO	World Health Organization
OMS	Organização Mundial da Saúde
MCA	Multiple Correspondence Analysis
ACM	Análise de Correspondência Múltipla
MP _{2,5}	Particulate material – Less than 2,5µm
PM _{2,5}	Material Particulado – tamanho menor que 2,5 µm
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
EDX	Raios-X por Energia Dispersiva
MGA	Média Geométrica Anual
MAA	Média Aritmética Anual
USEPA	United States Environment Protection Agency
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NE	Nordeste
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEAMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
MPTotal	Material Particulado em fração Total
RAMQAr	Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar

DV	Direção do Vento
VV	Velocidade do Vento
UR	Umidade Relativa
PP	Precipitação Pluviométrica
P	Pressão
T	Temperatura
I	Insolação
SENAC	Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial
TEOM	<i>Tapered Element Oscillating Microbalance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ACP	Análise de Componentes Principais

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras Romanas

Variável	Definição
N	Tamanho da total da população
n	Tamanho da amostra
N_i	Tamanho da população na região i
n_i	Tamanho da amostra na região i
z_α	Número de unidades de desvio padrão
α	Nível de significância
P	Proporção populacional
d	Margem de erro tolerável
Y_i	Variáveis aleatórias i
Y'	Vetor aleatório
X_i	i -ésima componente principal da matriz de covariâncias
a_{ii}	Elementos da matriz diagonal
Y	Variável resposta
k	Combinações lineares principais
i	Observação i
E	Valor esperado
y_i	Valor observado na i -ésima resposta de Y
x'_i	Vetor de valores das variáveis explicativas para a observação i
p_{ij}	Probabilidade de ocorrência de uma categoria de base i e uma categoria j
\underline{x}_i	Variável a ser explicada
x^k	Variável explicativa categórica
d_{ij}	Variável <i>dummy</i>
x^{k*}	Variável explicativa de categoria k^*
x^{k**}	Variável explicativa de categoria k^{**}

Letras gregas

Σ	Matriz de covariância
λ_i	Autovalor i
π	Média da distribuição
β_0	Constante que representa a interceptação da reta com o eixo vertical da função de regressão
β_1	Constante que representa o coeficiente angular da função linear de regressão
β_j^{k*}	Parâmetros a serem estimados de categoria k^*
$\hat{\beta}_j$	Parâmetros a serem estimados pela aplicação da regressão
β_j^{k**}	Parâmetros a serem estimados de categoria k^{**}

SUMÁRIO

1. Introdução.....	18
2. Objetivos	23
2.1 Objetivo geral	23
2.2 Objetivos específicos	23
3. Revisão da Literatura	24
3.1 Material Particulado.....	24
3.1.1 Granulometria e impactos aos seres humanos.....	24
3.1.2 Fontes emissoras e composição do material particulado	26
3.1.3 Processos de remoção das partículas da atmosfera.....	28
3.1.4 Quantificação da taxa de deposição das partículas	29
3.2 Legislação para qualidade do ar relativa ao material particulado	33
3.3 Estudos científicos sobre incômodo causado pela poluição do ar.....	39
4. Metodologia.....	46
4.1 Características da região de estudo.....	46
4.1.1 Aspectos demográficos, econômicos e climáticos.....	46
4.1.2 Monitoramento e qualidade do ar na RMGV	48
4.1.3 Fontes de material particulado na RMGV	53
4.2 Monitoramento e quantificação do material particulado na RMGV	54
4.3 Pesquisas de opinião (face a face) e painel (telefone)	57
4.3.1 Instrumento de coleta de dados	58
4.3.2 Planejamento amostral	61
4.4 Execução da coleta de dados	65
4.5 Aplicação de técnicas estatísticas	66
5. Resultados	72
5.1 Incômodo causado pela poluição do ar em regiões metropolitanas industrializadas .	74
5.2 Investiação de incômodo causado pela poluição do ar através da análise de correspondência múltipla	98
5.3 Parametros relacionados ao incômodo causado por material particulado: Estudo de caso da Região Metropolitana da Grande Vitória – Brasil.....	126

5.4	Diretrizes para limites de taxa de deposição: um estudo baseado em pesquisas de opinião sobre o incômodo percebido e taxa de deposição de partículas	151
5.5	Análise de componentes principais e regressão logística para quantificação do incômodo causado por material particulado	196
6.	Conclusão	217
7.	Trabalhos futuros	223
8.	Referências	224

1. Introdução

A relação entre os níveis de concentração de poluentes e seus consequentes efeitos prejudiciais à saúde, tanto em termos de ocorrência de doenças e morte como, também, pelas perdas de bem estar e qualidade de vida, tem motivado vários estudos, como, por exemplo, os estudos realizados por Leen *et al.*, (2006), Pope & Dockery, (2006), Wong *et al.*, (2008b), Souza *et al.*, (2013) e Qiu *et al.*, (2015). Além de outras pesquisas, as quais indicam que o estado de saúde e bem estar está, também, muito associado à poluição do ar percebida (LERCHER *et al.*, 1995; YEN *et al.*, 2006; PIRO *et al.*, 2008). E, ainda, que a percepção da poluição do ar pode causar *incômodo* (OMS, 1998; CARLSSON *et al.*, 2005; WAKEFIELD, 2006).

Lindvall & Radford (1973) definem incômodo como uma "sensação desagradável", associada a um agente ou condição que pode afetar um indivíduo ou grupo. O incômodo causado pela poluição do ar pode ser associado à percepção visual, como perda de visibilidade causada pela presença de partículas ou gases de exaustão (por exemplo, dióxido de nitrogênio), ou percepção olfativa devido à presença de gases odorantes (por exemplo, amônia e sulfeto de hidrogênio), além da percepção associada a fatores individuais e psíquicos, que podem influenciar na interpretação da poluição do ar percebida.

Poluente atmosférico é definido como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, quantidade, concentração, tempo de exposição ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornam o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA Nº 03/1990).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) sugere que a saúde está diretamente associada ao bem-estar e à qualidade de vida, além da ausência de doenças ou enfermidades” (WHO, 1946). Nesse contexto, o incômodo causado pela poluição do ar está associado ao bem estar e a qualidade de vida, que, por sua vez, define o estado de saúde da população. Ainda, os gases e partículas presentes na atmosfera que promovem o incômodo são considerados como poluentes atmosféricos.

O material particulado (MP) é um poluente atmosférico que pode ocasionar doenças e morte em humanos e de outros animais, causar injúrias em vegetais, degradar materiais, afetar a visibilidade e o clima em escala regional e global, além de causar incômodo quando sedimentado em superfícies de uso cotidiano (COLLS, 2002; WHO, 2006; HU *et al.*, 2006; HYSLOP, 2009; NIKOLOPOULOU *et al.*, 2011).

Além de ser inconveniente ao bem-estar público, o material particulado sedimentado também pode depositar-se sobre a vegetação, ocasionar modificação das propriedades óticas das folhas, com conseqüente diminuição da atividade fotossintética das plantas, assim como atingir objetos, edificações e monumentos, causar descoloração e decomposição de materiais de construção, entre outros efeitos que podem prejudicar o uso e gozo da propriedade e alterar as atividades normais da sociedade (COLLS, 2002; HU *et al.*, 2006; HYSLOP, 2009; NIKOLOPOULOU *et al.*, 2011).

O incômodo causado por material particulado é considerado subjetivo e, portanto, difícil de ser mensurado (VALLACK e SHILLITO, 1998). A intensidade do incômodo percebido pode depender das características: (i) individuais (estado de saúde, nível socioeconômico, entre outras) e (ii) das partículas (coloração e quantidade depositada).

Forsberg *et al.* (1997), Rotko *et al.* (2002; 2004) mostram que características individuais como, por exemplo, gênero, idade, grau de instrução e sintomas de doenças relacionadas ao sistema respiratório são associadas ao incômodo causado pela poluição do ar (MP₁₀ e NO₂). Jacquemin *et al.*, (2006) observam relação significativa entre notas atribuídas ao incômodo e variáveis sociodemográficas, sintomas respiratórios e estilo de vida. Stenlund *et al.* (2009) comparam resultados de pesquisa de opinião conduzida antes e depois do fechamento de uma planta de sinterização e encontram associação significativa entre as variáveis observadas junto aos respondentes: poluição do ar (indicada pela proximidade da residência do respondente à indústria), percepção da poluição pela presença de poeira, percepção de risco, sintomas à saúde e incômodo. Eek *et al.* (2010) mostram a associação entre incômodo causado por fatores ambientais (visibilidade, cheiro, barulho) e as seguintes variáveis: queixas de problemas de saúde, níveis elevados de estresse, tensão, condições socioeconômicas e insatisfação com o trabalho. Esses estudos indicam que há forte relação entre o incômodo percebido e características individuais, que merecem ser consistentemente estudadas e detalhadas. De acordo com Berglund *et al.* (1987) e Egondi *et al.* (2013), o incômodo relatado pela população

e as atitudes dos indivíduos e da comunidade em relação à qualidade do ar percebida constituem fontes de informações importantes para o desenvolvimento de metas e/ou programas de intervenção com fins à mitigação do problema do incômodo causado pela poluição do ar.

A intensidade do incômodo percebido também pode depender da quantidade de poeira ou partículas depositadas. Algumas pesquisas encontradas na literatura científica pesquisaram a relação exposição-efeito, com o intuito de mostrar correlação significativa entre a concentração de poluentes atmosféricos e o incômodo percebido pela população, por meio, por exemplo, de pesquisas de opinião junto à residentes e dados de concentração de partículas inaláveis (MP_{10}) (OGLESBY *et al.*, 2000, KLÆBOE *et al.*, 2008, AMUNDSEN *et al.*, 2008, NIKOLOPOULOU *et al.*, 2011) e finas ($MP_{2,5}$) (ROTKO *et al.*, 2002, AMUNDSEN *et al.*, 2008) medidos em diferentes pontos em regiões urbanas. Entretanto, em nenhuma dessas pesquisas, foram considerados dados de concentração de partículas totais em suspensão (PTS) e partículas sedimentadas (PS) na análise exposição-efeito, o que indica uma oportunidade de contribuição incluir tais poluentes nas análises do presente estudo.

Outro ponto de relevância refere-se aos padrões de qualidade do ar para partículas sedimentadas (adotados por muitos países) que, quando ultrapassados, podem promover incômodo. Vallack e Shillito (1998) realizaram um estudo a fim de propor uma metodologia para definição de padrão de qualidade do ar associado às partículas sedimentadas no Reino Unido. Porém, esses autores não consideram a investigação da opinião da população, que constitui fonte de informações relevantes sobre o grau ou intensidade do incômodo percebido. Assim, identifica-se como necessária uma investigação que contemple a opinião da população sobre o incômodo e as taxas de deposição de partículas, por meio de técnicas estatísticas adequadas, a fim de produzir diretrizes de qualidade do ar para o referido poluente.

No que tange à escolha e aplicação das técnicas estatísticas propostas nos estudos que tratam a relação entre o incômodo percebido (por pesquisa de opinião) e a poluição do ar (indicada por meio da concentração de partículas e gases), é observado o uso de modelos de regressão simples, ordinal e logística. Porém, tais análises consideram a inclusão das covariáveis (concentração de poluentes) individualmente nos modelos, gerando resultados independentes para cada poluente estudado, o que pode não expressar o efeito dos poluentes presentes na atmosfera, especialmente as diferentes frações do material particulado.

Em geral, nos modelos de regressão que envolvem mais de uma variável explicativa, a propriedade de não multicolineariedade (variáveis não correlacionadas) é uma das suposições necessárias para o uso correto da metodologia. Caso contrário, isto é, quando existe dependência entre pelo menos duas covariáveis, o determinante da matriz de covariância será nulo e, conseqüentemente, não será possível obter estimativas dos parâmetros confiáveis para análise da relação entre as variáveis explicativas e a variável resposta. Nessa problemática, pode-se dizer que o modelo está superespecificado (número excessivo de parâmetros postulados) ou, os dados não são adequados para estimar o modelo escolhido.

A independência serial (ou não correlação serial) é outra suposição exigida em um modelo de regressão. Essas suposições são, em geral, não observadas na prática, em especial na área da poluição do ar, onde os poluentes são séries temporais, isto é, possuem dependência serial em função do tempo, e podem apresentar interdependência (correlação entre poluentes). Diante dessa questão, emerge a necessidade de usar modelos multivariados e de séries temporais que possam ser mais flexíveis e garantam os pressupostos básicos do modelo de regressão para obter conclusões inferenciais com precisão probabilística.

Nessa temática, esta tese propõe a investigação e quantificação do incômodo causado à população urbana exposta aos níveis de concentração de material particulado em suspensão na atmosfera e sedimentado em superfícies de uso cotidiano. E resulta nas seguintes contribuições científicas: (i) a investigação dos níveis de incômodo percebido e as variáveis de influência em duas regiões urbanas industrializadas; (ii) estudo da relação entre o incômodo e variáveis qualitativas (como gênero, idade, nível de escolaridade, ocupação, ocorrência de problemas de saúde, percepção da poluição, percepção do risco, importância e avaliação da qualidade do ar, identificação das fontes de material particulado, percepção de mudanças nas condições de tempo e local de residência) por meio da aplicação da técnica multivariada, denominada análise de correspondência múltipla (ACM); (iii) análise da relação entre a percepção do incômodo reportado em cinco pesquisas de opinião e os níveis de concentração dos poluentes PM_{10} e PTS monitorados na estações de qualidade do ar da RGV; (iv) correlação entre a percepção do incômodo e a taxa de deposição, com fins à determinação de diretrizes para a qualidade do ar associada às partículas sedimentadas. (v) a análise do efeito combinado dos poluentes PM_{10} , PTS e PS sobre o incômodo percebido pelos respondentes na pesquisa de opinião, por meio da combinação das técnicas estatísticas, regressão logística múltipla, análise de componentes principais (ACP) e modelos de séries temporais. Esta última, além da contribuição prática e

social, pode ser caracterizada como uma contribuição metodológica de solução para o problema da multicolinearidade (interdependência entre as diferentes covariáveis), e com filtro autorregressivo, a fim de resolver a autocorrelação temporal (independência temporal) entre as séries temporais dos poluentes. Tal aplicação está apresentada em formato de artigo científico, o qual foi merecedor do prêmio “*The best oral presentation*” na conferência internacional *Dust*, realizada na Itália em junho de 2014.

Esta tese está organizada em oito capítulos e sete seções, como se pode constatar no sumário. A Introdução, consolidada no Capítulo 1, apresenta os motivos que justificam a realização deste estudo. O Capítulo 2 é reservado à apresentação do objetivo geral e dos específicos. O Capítulo 3 descreve, com riqueza de detalhes, a revisão da literatura sobre o tema. O Capítulo 4 aborda a metodologia apropriada para a coleta de dados, informações e ferramentas com a finalidade de alcançar os objetivos propostos. O Capítulo 5 discute os resultados obtidos, que estão organizados e condensados em cinco artigos científicos (publicados em revistas internacionais). O Capítulo 6 explicita as conclusões gerais desta tese, enquanto as recomendações para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 7. O Capítulo 8 é dedicado às referências bibliográficas.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Investigar e quantificar o incômodo causado à população urbana exposta à concentração de material particulado em suspensão na atmosfera (PM_{10} , PTS) e depositados (PS) em superfícies de uso cotidiano.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Analisar e comparar resultados de pesquisas de opinião realizadas em duas regiões industrializadas (Dunkerque, França e Vitória, Brasil), que vivenciam problemas semelhantes causado pela poluição do ar;
- ✓ Investigar as variáveis qualitativas associadas à percepção do incômodo causado por material particulado, através da técnica estatística multivariada denominada Análise de Correspondência Múltipla (ACM);
- ✓ Realizar estudo exploratório do incômodo percebido, por meio de pesquisas de opinião face a face e correlacionar com níveis de concentração de PM_{10} e PTS;
- ✓ Estabelecer diretrizes para a qualidade do ar para partículas sedimentadas na Região da Grande Vitória, a fim de subsidiar a escolha de um padrão de qualidade do ar para tal poluente;
- ✓ Modelar a relação entre o incômodo percebido pelos respondentes, por meio de pesquisa painel, e o efeito combinado dos poluentes, PM_{10} , PTS e PS, considerando as características de autocorrelação temporal e intercorrelação dos dados.

3. Revisão da Literatura

Este capítulo tem o propósito de abordar a fundamentação teórica sobre o material particulado presente na atmosfera e sedimentado em superfícies, apresentar a regulamentação vigente sobre qualidade do ar relativa a esse poluente, bem como os trabalhos científicos que contemplaram a análise da relação entre poluição do ar e a percepção do incômodo.

A Seção 3.1 apresenta a definição do material particulado considerando: granulometria, distribuição, tamanho das partículas e impacto nos seres humanos; além das fontes de emissão e processos de remoção do material particulado na atmosfera. A Seção 3.2, expõe as legislações e diretrizes para qualidade do ar relativas ao material particulado. E a Seção 3.3 detalha os principais trabalhos correlatos sobre o incômodo causado pela poluição do ar, e que serviram de base para o desenvolvimento do presente estudo.

3.1 Material Particulado

O aerossol, ou material particulado (MP), é formado por partículas líquidas ou sólidas de granulometria, forma e composição química que variam de acordo com sua fonte de origem e os processos físicos e químicos de transformação aos quais é submetido durante sua dispersão na atmosfera (SEINFELD & PANDIS, 2006).

3.1.1 Granulometria e impactos aos seres humanos

Apesar das diferenças na composição química e na forma, o MP é principalmente classificado por seu diâmetro aerodinâmico que indica o impacto e o local onde a partícula pode chegar no sistema respiratório humano (HOLGATE et al., 1999).

O MP é usualmente classificado como: partículas ultrafinas ($MP_{0,1}$), que possuem diâmetro aerodinâmico inferior a $0,1\mu m$ e cujos efeitos sobre a saúde humana ainda não estão bastante estudados; partículas finas ou respiráveis ($MP_{2,5}$) que possuem diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5\mu m$ e que geralmente se alojam no bronquíolo terminal; partículas inaláveis (MP_{10}) que possuem diâmetro aerodinâmico inferior a $10\mu m$, e que penetram o sistema respiratório, mas podem ficar retidas no nariz e nasofaringe, podendo ainda posteriormente serem eliminadas pelos mecanismos de defesa do organismo humano; partículas totais em suspensão (PTS), que são representadas por todas as partículas em suspensão na atmosfera, com larga faixa granulométrica, e capazes de serem amostradas pelo equipamento de medição em uso

(tipicamente, entre $0,005\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$); partículas sedimentadas (PS), que resultam da sedimentação ou deposição das partículas anteriormente em suspensão na atmosfera, de diferentes tamanhos e origem que se acumulam nas superfícies de ambientes internos e externos.

A *American Society for Testing and Material* (ASTM), traduzida como Sociedade Americana de Testes e Materiais, estabelece, através da norma ASTM- D1739 (1998), que as partículas que se sedimentam recebem o nome de material particulado sedimentável, assim definido:

Qualquer material composto de partículas pequenas o bastante para passar por uma peneira de tela de seleção de 1 mm e grande o suficiente para se sedimentar em um container exposto ao ar ambiente em virtude do seu peso.

Na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – MB3402, as partículas sedimentáveis são definidas como:

Poeira presente na atmosfera, suscetível à coleta por sedimentação livre, composta de partículas sólidas ou líquidas suficientemente grandes para se depositarem no frasco coletor e bastante pequenas para atravessarem a peneira de 0,84 mm.

Quanto maior o diâmetro das partículas, mais próximo à fonte ocorre a sedimentação. As partículas maiores que $10\mu\text{m}$ estão sujeitas à sedimentação em regiões mais próximas à fonte emissora, enquanto as menores tendem a sedimentar em tempo mais longo e mais distante das fontes emissoras (VALLACK & SHILLITO, 1998). Conti (2013), por meio de uma análise da poeira sedimentada coletada em duas estações de monitoramento em Vitória, mostra que cerca de 95% das partículas sedimentadas, em massa, são maiores que $10\mu\text{m}$. Entretanto, em número, cerca de 95% dessas partículas são menores que $10\mu\text{m}$. Por conseguinte, quando essas partículas são ressuspensas e inaladas, podem ocasionar efeitos diretos à saúde humana.

O MP é o poluente atmosférico mais consistentemente associado aos efeitos adversos à saúde humana (WHO, 2006). Nesse contexto, algumas definições são relevantes (ver Figura 3-1): *i*) fração respirável, que representa a faixa de tamanho do material particulado, pequena o suficiente para penetrar no sistema respiratório e atingir os alvéolos pulmonares; *ii*) fração torácica, que é representada pela fração de partículas pequenas o suficiente para passar pela laringe e atingir os pulmões durante a inalação, *iii*) fração inalável, que é formada por partículas que passam pelas narinas e pela boca, atingindo o trato respiratório durante a inalação pelas

vias aéreas. A fração torácica é similar ao PM_{10} . Partículas respiráveis são subconjunto das partículas torácicas, que são mais propensas a atingir a região de troca gasosa do pulmão, os alvéolos, similar ao $PM_{2.5}$ (HOLGATE *et al.*, 1999).

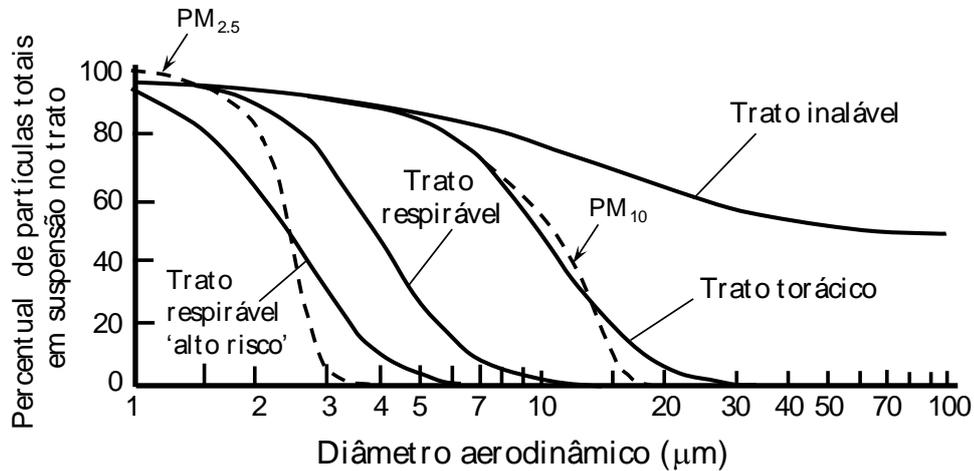


Figura 3-1 Percentual de partículas em função do diâmetro aerodinâmico, observando o trato respiratório.

Fonte: Adaptado de Holgate *et al.* (1999).

Os efeitos e sintomas mais comuns provocados pelas partículas inaláveis em curto prazo de exposição são: reações inflamatórias no pulmão, insuficiência respiratória, efeitos adversos no sistema cardiovascular, aumento do uso de medicamentos, aumento de internações hospitalares, mortalidade. Em longo período de exposição os principais sintomas e efeitos são: diminuição da capacidade de respiração, redução da função pulmonar das crianças, obstrução pulmonar crônica, redução da expectativa de vida, mortalidades por doenças cardiovasculares e respiratórias e contração de câncer nos pulmões (WHO, 2006).

É possível encontrar, em todo o mundo, vários estudos sobre associações entre níveis de concentração de material particulado e ocorrência de efeitos na saúde, morbidade e mortalidade (ver, por exemplo, SALDIVA *et al.*, 2004, 2007; SCHWARTZ *et al.*, 1991, 1994, 1999, 2000; CHEN *et al.*, 2010; WANG e PHAM, 2011; entre outros).

3.1.2 Fontes emissoras e composição do material particulado

As partículas podem ser classificadas como primárias (emissões diretas da fonte sem sofrer alterações na atmosfera) e secundárias (as quais são formadas a partir de reações químicas, conversão gás-partícula) e, em ambas, os compostos precursores podem ser provenientes de fontes naturais ou antropogênicas.

Os processos naturais que dão origem ao material particulado, ocorrem à partir das seguintes fontes:

- i) Ação eólica nos solos, que faz com que as partículas entrem em suspensão, gerando poeira. Esse particulado é constituído principalmente de óxidos metálicos e de aluminossilicatos, além de compostos orgânicos provenientes de restos de vegetais e húmus (HLEIS, 2010).
- ii) Ação do vento no mar, resultando no spray marinho. Em termos de massa, são as partículas mais abundantes da atmosfera. A composição química desses aerossóis é formada praticamente de água, cloro e sódio, mas pode apresentar quantidades significativas de magnésio e sulfatos (sulfato marinho). (HLEIS, 2010; JACOBSON, 2002)
- iii) Processos de origem biogênica (pólen, fungos e bactérias), que são constituídos de hidrocarbonetos de cadeia longa, provenientes de plantas e árvores e da oxidação atmosférica de hidrocarbonetos biogênicos de cadeia mais curta, como os terpenos ou isoprenos, além de fungos, vírus e bactérias (MASCLET & CACHIER, 1998).
Emissões vulcânicas que emitem partículas formadas de elementos presentes no manto terrestre. Os compostos mais abundantes presentes nas partículas vulcânicas são os minerais silicato (JACOBSON, 2002).

O material particulado antropogênico é aquele originado das ações humanas, o qual é constituído de 20 a 30 % de partículas primárias e de 70 a 80% de partículas secundárias. Os aerossóis primários contêm restos de pneus ou de carvão e partículas metálicas, incluindo chumbo, zinco, ferro, cobre, vanádio, etc, além da presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) e policlorobifenilos (PCB), em quantidades pequenas. São emitidas por fontes industriais, escapamento de veículos, desgaste de freios, ressuspensão de solo, construção civil, etc. Os aerossóis secundários são produzidos pela condensação de vapores emitidos para a atmosfera, como H_2SO_4 , NH_3 e COV, que se condensam quando a pressão de vapor excede o ponto de saturação. As partículas secundárias de diâmetro muito pequeno são formadas por coagulação ou fixação de vapor d'água, e são proveniente de rejeitos industriais ou veiculares e de gases emitidos pela queima de madeira e de combustíveis fósseis. Essas partículas são formadas de matéria orgânica e sulfatos, além de compostos oxigenados (CASTANHO 1999).

O impacto antropogênico na formação do material particulado, através da queima de biomassa, combustíveis fósseis e por fontes industriais, tem aumentado significativamente o número de partículas em suspensão na atmosfera, principalmente em regiões urbanas, como as grandes metrópoles (RAES et al., 2000).

O formato e a morfologia das partículas variam conforme a composição química (JACOBSON, 2002). Algumas partículas são lisas, outras são globulares, cúbicas, outras contêm camadas, e outras ainda são fibrosas. Através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) equipada com detectores de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX ou EDS), é possível visualizar as partículas individualmente, fornecendo informações sobre a forma, tamanho, textura, agregação, composição química e outras propriedades. Esta técnica é utilizada em estudos de caracterização de material particulado atmosférico (detalhes em MIRANDA et al., 2002; CONNER & WILLIAMS, 2004; XIE et al., 2005; TASIC et al., 2006; WANG et al., 2008; PIPAL et al., 2011; LI et al., 2011; CONTI, 2013).

3.1.3 Processos de remoção das partículas da atmosfera

Os principais processos de remoção das partículas da atmosfera são a deposição seca e a deposição úmida (TASDEMIR e ESEN, 2007). A deposição seca é um processo pelo qual as partículas são transferidas tanto pela ação gravitacional quanto pelo movimento do ar para a superfície do solo, água e vegetação, quando não há precipitação (SAKATA e MARUMOTO, 2004).

Alguns fatores governam a deposição seca de espécies gasosas ou das partículas, como, por exemplo: i) a turbulência atmosférica, especialmente nas camadas mais próximas ao solo, influencia o fluxo vertical das espécies; ii) as propriedades químicas do poluente, que influenciam as espécies gasosas, como a solubilidade e as reações químicas que afetam a absorção da espécie pela superfície; iii) a natureza da superfície da partícula, que pode permitir a absorção ou adsorção de certos gases e, assim, aumentar seu peso.

O tamanho, densidade e a forma são os principais fatores que determinam a captura da partícula pela superfície. A formulação universal para a deposição seca assume que o fluxo de deposição é diretamente proporcional a concentração da espécie de partícula na atmosfera a uma altura de referência acima da superfície (SEINFELD e PANDIS, 2006). Vale ressaltar que, conforme Zhang et al. (2001), o conhecimento sobre a deposição seca de partículas ainda é bastante

discutido devido às complexas interações entre a deposição e o tamanho da partícula, densidade, terreno, vegetação, condições meteorológicas e espécies químicas.

A deposição úmida considera o processo natural pelo qual partículas ou gases são removidos da atmosfera por meios hidrometeorológicos, exemplificando: i) dissolução de gases atmosféricos em gotículas presentes no ar como, por exemplo, gotículas de nuvem, chuva ou nevoeiro; ii) remoção de partículas atmosféricas quando elas servem como núcleo para a condensação do vapor d'água para formar uma gotícula de nuvem ou nevoeiro, sendo, subsequentemente, incorporadas na gotícula; iii) remoção de partículas atmosféricas quando a partícula colide com uma gotícula, tanto dentro como abaixo das nuvens.

O processo de deposição úmida é complexo devido às diversas fases que estão presentes (gás, partícula e a fase aquosa) e são necessárias três condições: i) as partículas devem estar na presença de água condensada; ii) devem ser removidas por meios hidrometeorológicos; e iii) serem depositadas na superfície (SEINFELD e PANDIS, 2006).

3.1.4 Quantificação da taxa de deposição das partículas

Seinfeld e Pandis (2006) destacam duas abordagens para quantificação da taxa de deposição de partículas: medidas experimentais (técnicas diretas) e cálculos teóricos (técnicas indiretas). O cálculo teórico é assim denominado pois a taxa de deposição é derivada de medidas de quantidades secundárias, tais como as médias das concentrações das partículas atmosféricas (ou o gradiente vertical da média das concentrações) (GOOSSENS, 2005). Muitos trabalhos se dedicaram a calcular a taxa de deposição de partículas por meio de cálculos teóricos (VARDAR, ODABASI e HOTSSEN, 2002; GOOSSENS, 2005; SEINFELD e PANDIS, 2006; TASDEMIR e ESEN, 2007; ALVES, 2011). O presente trabalho opta por detalhar e apresentar exemplos de medidas experimentais, pois são utilizados dados de medidas experimentais nas análises e resultados.

As medidas experimentais requerem a aplicação de superfícies substitutas (que imitam a superfície original) ou de aparelhos coletores. Alves (2011) expõe que a literatura fornece alguns exemplos de superfícies substitutas: plástico (GREGORY, 1961); material absorvedor (toalha) colocado em folhas de alumínio (CHAMBERLAIN, 1967); grama (CHAMBERLAIN, 1967); musgo (RÜHLING e TAYLOR, 1971; CLOUGH, 1975); neve, água ou anticongelantes (MC TAINSH, 1980; BÜCHER, 1986); superfícies pegajosas, tais como papel oleoso

(CLEMENTS et al., 1963) ou parafina líquida (HALL e UPTON, 1988); glass marbles (bolas de gude) (OFFER et al., 1992; SOW, GOOSSENS e RAJOT, 2006); filtro de papel umedecido (GOOSSENS e OFFER, 1993); papel (GOOSSENS e OFFER, 1994); vidro (DAWES e SLACK, 1954; GOOSSENS, 2005); metal (GOOSSENS, 2005).

As superfícies substitutas não são usualmente recomendadas para experimentos de campo, principalmente quando as medições são realizadas por um longo período ou quando a medição é feita no nível do solo (SOW, GOOSSENS e RAJOT, 2006). Encontram-se alguns estudos com emprego de superfícies substitutas em experimentos de campo. Por exemplo, Shannigrahi, Fukushima e Ozaki (2005), que utilizaram placas plásticas e de superfície lisas cobertas com folhas de alumínio e revestidas com graxa do silicone. A Figura 3-2 apresenta a placa utilizada neste experimento com as respectivas medidas e descrições.

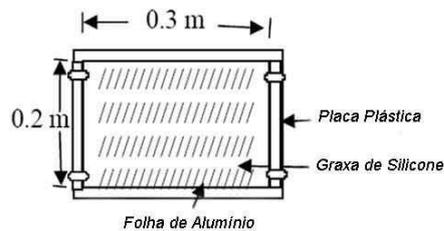


Figura 3-2 Vista superior de uma placa sobreposta adotada no estudo de Shannigrahi Fukushima e Ozaki (2005)

Trivuncevic *et al.* (2009) revestiram uma grande esfera de plástico com um material aderente (vaselina medicinal), e a posicionaram a uma distância de 1,5 e 1,7 metros de distância do solo para amostrar o fluxo vertical e horizontal de partículas. A Figura 3-3 ilustra o dispositivo de amostragem alternativo usado pelos autores para medir a quantidade e a direção do material particulado depositado (TRIVUNCEVIC *et al.*, 2009).

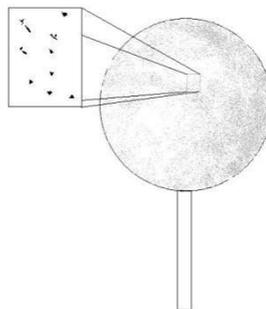


Figura 3-3 Dispositivo de amostragem alternativo, desenvolvido no trabalho de Trivuncevic et al.(2009).

Conti et al. (2009) usaram placas de cobre, cobertas por fitas adesivas, para simular a deposição de partículas sobre superfícies reais expostas à atmosfera (semelhante ao método utilizado por Noll, Jackson e Oskouie, 2001). O cobre foi selecionado por haver baixa concentração deste elemento nas emissões típicas da região de estudo. Cada placa ficou exposta por um período de 10 dias, totalizando 3 placas/mês para cada local de coleta, com o objetivo de minimizar a sobreposição de partículas. A Figura 3-4 apresenta a placa de cobre usado por Conti et (2009).

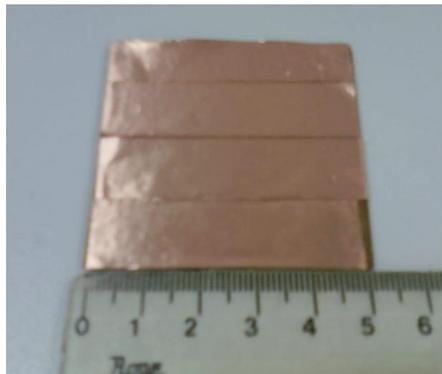


Figura 3-4 Placa de cobre coberta com fita adesiva usada para simular a deposição de partículas
Fonte: Conti et al (2009)

Uma outra opção viável e efetiva para medições em campo é o uso de aparelhos coletores. Existem muitos tipos de coletores, que variam desde equipamentos simples aos complexos instrumentos equipados com dispositivos aerodinâmicos para minimizar a perturbação do fluxo de ar (SOW, GOOSSENS e RAJOT, 2006). Um dos coletores mais comumente utilizados é denominado “Recipiente Cilíndrico”, apresentado nas normas brasileira (ABNT MB3402-91) e americana (ASTM D1739-98).

A norma ASTM D1739-98 define o procedimento de coleta que permite a quantificação de partículas sedimentadas solúveis e não solúveis devido ao armazenamento da água de chuva durante o período de coleta. O recipiente cilíndrico indicado deve ser de aço inoxidável ou plástico resistente à intempérie e deve ser instalado a 2 metros acima do solo. O suporte do coletor deve possuir um anteparo para conter os efeitos aerodinâmicos na sedimentação das partículas em função da velocidade do vento. A Figura 3-5 apresenta o desenho do recipiente cilíndrico, suporte, escudo de vento e dimensões, conforme a norma ASTM 1739-98.

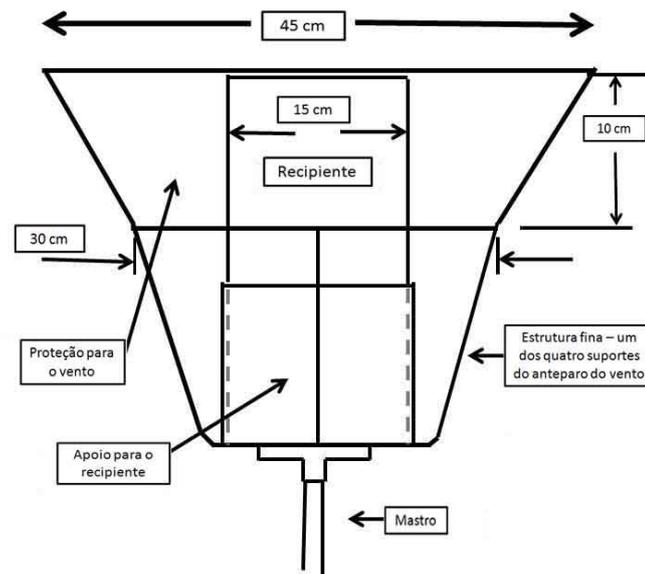


Figura 3-5 Desenho do recipiente cilíndrico, suporte, escudo de vento e dimensões para coletor de partículas sedimentadas conforme a norma ASTM D 1739 (1998).

Figura 3-6) a fim de estudar a variação da concentração sazonal de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH). Qiang et al. (2007) utilizaram três recipientes cilíndricos de vidro para coletar partículas ressuspensas provenientes de tempestades de areia.

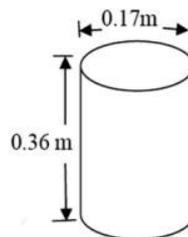


Figura 3-6 Coletor Cilíndrico baseado na norma ASTM D 1739-98.
Fonte: Shannigrahi, Fukushima e Ozaki (2005)

Para diminuir a intervenção do vento, alguns trabalhos (ver por exemplo HALL e WATERS, 1986; HALL e UPTON, 1988) usaram uma versão original, comercializada do Clássico *World Class Frisbee* (objetos em forma de disco/ círculo) para coletar partículas, que mais tarde foi adaptado por meio da adição de um anel de fluxo defletor para melhorar a aerodinâmica da amostragem (HALL, UPTON e MARSLAND, 1994).

Wiggs *et al.* (2002), testaram uma versão levemente ampliada do amostrador original de Hall *et al.* (1994), e Sow, Goosens e Rajot (2006) utilizaram o mesmo tamanho de amostrador que Wiggs *et al.* (2002) conforme apresentado na Figura 3-7.

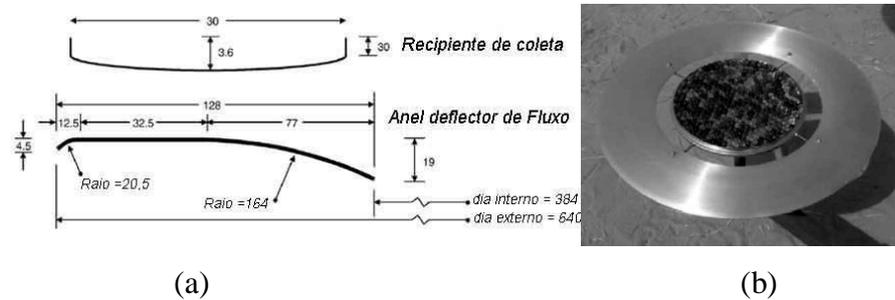


Figura 3-7 Vista lateral do anel defletor (a). Imagem de um *frisbee* com anel defletor e bolinhas de vidro(b).

Fonte: Sow, Goosens e Rajot (2006)

No que tange à confiabilidade das medições, muitos coletores não têm calibrações adequadas, e, para aqueles que foram calibrados, a eficiência tem sido frequentemente determinada em termos relativos, ou baseada em outros coletores (GOOSSENS e OFFER, 1994), ou ainda considerando uma condição bem simplificada (WIGGS *et al.*, 2002). De acordo com Sow, Goosens e Rajot (2006), os fatores que influenciam a confiabilidade das medições estão relacionados: *i*) a forma e o tamanho do coletor; *ii*) sua superfície de deposição interna; *iii*) o fluxo de ar à sua volta (velocidade do vento, direção do vento, intensidade da turbulência); *iv*) e as características do sedimento (como a granulometria). Muitos estudos têm se dedicado a comparar diferentes coletores com o propósito de contribuir para a padronização de um método globalmente adotável para quantificação de partículas sedimentadas (como exemplo, Dasch, 1985; Shannigrahi *et al.*, 2005; Sow, Goosens e Rajot (2006). Contudo, ainda não foi definido nenhum padrão de medição internacional para esse poluente.

3.2 Legislação para qualidade do ar relativa ao material particulado

No âmbito internacional, a Organização Mundial de Saúde (OMS) é o organismo diretor e coordenador nos assuntos relacionados à saúde entre os países participantes do sistema das Nações Unidas. Um dos objetivos da OMS é promover a agenda da pesquisa científica na área da saúde, diagnosticar as tendências mundiais e auxiliar o estabelecimento de normas e diretrizes, entre outros. O relatório da OMS que contém as diretrizes para qualidade do ar foi publicado pela primeira vez em 1987 e foi revisado em 1997 e 2005, com base nas atualizações

científicas vigentes. As diretrizes para qualidade do ar são estabelecidas para oferecer orientações e reduzir os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde.

A Tabela 3-1 apresenta as diretrizes de qualidade do ar para o material particulado (MP₁₀ e MP_{2,5}) segundo a OMS.

Tabela 3-1 - Diretrizes de Qualidade do Ar para o material particulado segundo a OMS

Poluente	Tempo de amostragem	Diretriz
PM ₁₀	Média anual	20 µg/m ³
	Média de 24h	50µg/m ³
PM _{2.5}	Média anual	10µg/m ³
	Média de 24h	25µg/m ³

Fonte: Adaptado de WHO, 2005

No âmbito nacional, conforme previsto na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei no 6.938, de 31/08/81), a Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989 instituiu o Programa Nacional de Qualidade do Ar (PRONAR) como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde, bem-estar e melhoria da qualidade de vida das populações.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e os respectivos métodos de referência para medição da concentração dos poluentes, por meio da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90. Os padrões estabelecidos por essa portaria foram submetidos ao CONAMA e transformados na Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990.

A Resolução CONAMA 03/90 classifica os padrões de qualidade do ar como primários e secundários. O padrão primário diz respeito às concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. O padrão secundário corresponde às concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A Tabela 3-2 apresenta os padrões primários e secundários para os poluentes PTS e MP₁₀ segundo a resolução CONAMA 03/90.

Tabela 3-2 - Padrões nacionais de qualidade do ar – Material Particulado

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas ¹	240	150
	MGA ²	80	60
Partículas inaláveis (MP ₁₀)	24 horas ¹	150	150
	MAA ³	50	50

¹ - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. ² - Média geométrica anual. ³ - Média aritmética anual.

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA n°. 03 de 28/06/90

Recentemente, o Governo do Estado do Espírito Santo estabeleceu novos padrões de qualidade do ar por meio do Decreto n° 3463-R de 16 de dezembro de 2013 publicado em 17/12/2013. O Decreto contempla, além dos padrões específicos contemplados na CONAMA 03/90, os seguintes poluentes: o material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 μm (MP_{2,5}) e as partículas sedimentadas (PS). Além disso, estabelece metas intermediárias (MI1, MI2 e MI3) que são valores temporários a serem cumpridos, visando a melhoria gradativa da qualidade do ar e a implementação de um padrão final (PF), que garanta ao máximo a saúde da população em relação ao danos causados pela poluição atmosférica. A Tabela 3-3 apresenta as metas intermediárias e os padrões finais de qualidade do ar para diferentes frações do material particulado (PM_{2,5}, MP₁₀, PTS, PS) conforme o Decreto n° 3463-R/2013.

Tabela 3-3- Metas e padrões estado do Espírito Santo – Material Particulado

	Curta Exposição				Longa Exposição			
	M1	M2	M3	PF	M1	M2	M3	PF
MP_{2,5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	50 (24h)	37 (24h)	25 (24h)	-	20 (Ano ¹)	15 (Ano ¹)	10 (Ano ¹)
MP₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	120 (24h)	80 (24h)	60 (24h)	50 (24h)	45 (Ano ¹)	33 (Ano ¹)	25 (Ano ¹)	20 (Ano ¹)
PTS [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	80 (24h)	170 (24h)	160 (24h)	150 (24h)	65 (Ano ²)	63 (Ano ²)	62 (Ano ²)	60 (Ano ²)
PS [g/m^2 30 dias]	14	-	-	-	-	-	-	-

¹-Média Aritmética Anual. ²-Média Geometria Anual

Fonte: Adaptado de Decreto no 3463-R de 16/12/2013

As diretrizes e os padrões de qualidade do ar existentes são baseados em estudos científicos que averiguam os efeitos produzidos pelos poluentes e são fixados em limites tais que possam assegurar a saúde e o bem estar das pessoas. No caso do material particulado sedimentável, cujo

impacto está relacionado ao incômodo causado pela sua deposição, torna-se difícil definir um padrão absoluto para minimizar o incômodo percebido, devido à característica subjetiva que pode diferir de indivíduo para indivíduo (VALLACK & SHILLITO, 1998).

Embora não haja uma recomendação internacional instituída para partículas sedimentáveis, muitos países e estados definiram padrões de referência para tal poluente. Na Europa, alguns países, como é o caso da Finlândia, Alemanha e Espanha, estabeleceram padrões de qualidade do ar individuais para partículas sedimentáveis, variando de 6 a 10,5 g/m² 30 dias. Vallack e Shillito (1998) propuseram para Grã-Bretanha padrões para partículas sedimentáveis, conforme as áreas (rural, residencial e comercial), que variam de 2,4 a 5,7 gramas por metro quadrado em trinta (30) dias (média anual).

A Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) não estabelece Padrão Nacional de Qualidade do Ar para partículas sedimentáveis, mas esses padrões são fixados por códigos estaduais e departamentos ambientais de alguns estados americanos, entre os quais se destaca Nova Iorque, que varia de 3 a 6 g/m²30 dias, Montana, de 10 g/m²30 dias e Pensilvânia, de 8 g/m² 30 dias. Alguns estados canadenses também possuem padrões para PS, como por exemplo Alberta, que adota o valor de 5,4 g/m² 30 dias, Manitoba, cujo padrão varia de 4 a 8 g/m² 30 dias, além de Newfoundland, Ontario e Vancouver (VALLACK & SHILLITO,1998). A Austrália também possui padrões para PS que variam de 4 a 10g/m² 30 dias, a Argentina adota o valor de 10g/m² 30 dias.

No Brasil, também não há um padrão nacional para PS. O Estado de Minas Gerais apresenta padrão de qualidade do ar para PS regulamentada pela COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais), que varia de 5 a 10 g/m² 30 dias. O estado do Rio de Janeiro e a cidade de Macapá adotaram os mesmos valores de Minas Gerais. Como já mencionado, o Governo do estado do Espírito Santo, por meio do Decreto no 3463-R, de 16 de dezembro de 2013, estabeleceu os padrões estaduais de qualidade do ar, incluindo para as partículas sedimentadas um valor inicial igual a 14g/m².30 dias.

Na Tabela 3-4 apresenta-se o levantamento dos países/ estados/ cidades que possuem padrões de qualidade do ar para PS, considerando o tempo de médio e valor diário e mensal.

Tabela 3-4 - Padrões para taxa de deposição de partículas sedimentadas (PS).

País/Cidade	Tempo de média	Padrão (mg/m ² /dia)	Padrão (g/m ² /30 dias)
Grã-Bretanha	Média mensal (áreas rurais)	80 (90% percentil) ²	2,4 (90% percentil) ¹
		100 (95% percentil) ²	3 (95% percentil) ¹
	Média mensal (áreas residenciais)	110 (90% percentil) ²	3,3(90% percentil) ¹
		150 (95% percentil) ²	4,5 (95% percentil) ¹
	Média mensal (áreas comerciais em centros urbanos)	150 (90% percentil) ²	4,5 (90% percentil) ¹
		190 (95% percentil) ²	5,7 (95% percentil) ¹
		200 (<i>custom and practice limit</i>)	6 ¹
Finlândia	Média anual	333 ³	10 ¹
Alemanha	Média de longo prazo	350 ^{4,3}	10,5 ¹
	Média de curto prazo	650 ^{4,3}	19,5 ¹
Espanha	Média anual	200 ³	6 ¹
Argentina	Média anual	333 ³	10 ¹
Austrália			4 ^{1,12}
(Oeste da Austrália)	Primeiros incômodos percebidos	133 ³	4 ¹
	Piora inaceitável da qualidade do ar	333 ³	10 ¹
Brasil			
Minas Gerais			10 ^{4,9} (áreas industriais)
			5 ^{4,9} (demais áreas inclusive residenciais e comerciais)
Rio de Janeiro			10 ^{1,4,10} (áreas industriais)
			5 ^{1,4,10} (demais áreas, inclusive comerciais e residenciais)
Amapá			10 ^{1,4,11} (áreas industriais)
			5 ^{1,4,11} (demais áreas, inclusive comerciais e residenciais)
Vitória			14 ^{1,13}
Canadá			
Alberta	Média anual	180 ³	5,4 ¹
Manitoba	Média anual	153 ³	4,6 ¹
	Maximo aceitável	266 ³	8 ¹
	Maximo desejável	200 ³	6 ¹
Newfoundland	Média anual	153 ³	4,6 ¹
	Média mensal	233 ³	7 ¹
Ontário	Média anual	170 ³	5,1
	Média mensal	200 ³	6 ¹
Vancouver		175 (desejável) ⁷	5,25 ¹
		290 (aceitável) ⁷	8,7 ¹

Continua...

...Continuação TABELA 3-4

País/Cidade	Tempo de média	Padrão (mg/m ² /dia)	Padrão (g/m ² /30 dias)
EUA			
Dakota do Norte	Média de três meses	196 ³	9 ⁵ (áreas densamente povoadas, grandes regiões metropolitanas e parque industrial)
Kentucky	Média anual	196 ³	
Louisiana	Media anual	262 ³	
Maryland	Média anual	183 ³	
Mississippi	Média mensal (acima do valor de background)	175 ³	
Montana	Media anual (áreas residenciais)	196 ³	10 ⁶
Pensilvânia	Média anual	267	
	Média mensal	500	8 ^{4,8}
Washington	Média anual	183 ³	15 ^{4,8}
Wyoming	Média mensal	170 ³	
New York	Durante 12 meses consecutivos o padrão não deve ser excedido mais que 50% do período total de 12 meses.	100 ³	3 ⁵ (áreas rurais para agricultura ou recreação)
			3 ⁵ (áreas com baixa densidade populacional, pequenas fazendas e poucos serviços comerciais e industriais)
			4 ⁵ (áreas densamente povoadas, pequenas regiões metropolitanas, indústrias de pequeno porte)
New York	Durante 12 meses consecutivos o padrão não deve ser excedido mais que 84% do período total de 12 meses (ou seja, o padrão não deve ser excedido mais que 2 meses dias durante 365 dias consecutivos)	130 ³	6 ⁵ (áreas densamente povoadas, grandes regiões metropolitanas e parque industrial)
			4,5 ⁵ (áreas rurais para agricultura ou recreação)
			4,5 ⁵ (áreas com baixa densidade populacional, pequenas fazendas e poucos serviços comerciais e industriais)
			6 ⁵ (áreas densamente povoadas, pequenas regiões metropolitanas, indústrias de pequeno porte)

(¹) Calculado para g/m² 30dias (transformação de unidades); (²) Proposto por Vallack & Shillito (1998); (³) Apresentado por Vallack & Shillito (1998); (⁴) Massa combinada de sólidos solúveis e não-solúveis; (⁵) DENVY (2009); (⁶) DEQM (2005); (⁷) METROVANCOUVER (2002); (⁸) PC (1998); (⁹) COPAM (1981); (¹⁰) NT 603.R-4 de 15/03/1978; (¹¹) Lei Ambiental do Município de Macapá n° 948/98, Capítulo V, Seção III, Art. 89; (12)PEPR (2012); (13) Decreto n° 3463-R, de 16/12/ 2013.

Fonte: Adaptado de Vallack e Shillito (1998); Santos e Reis (2011).

3.3 Estudos científicos sobre incômodo causado pela poluição do ar

Oglesby *et al.* (2000) validaram um questionário de avaliação da qualidade do ar e sua aplicabilidade como um indicador de incômodo causado pelos níveis de poluição do ar (NO₂ e MP₁₀). Os dados da opinião das pessoas foram obtidos de um estudo denominado SAPALDIA (estudo suíço sobre poluição atmosférica e doenças pulmonares em adultos), realizado em 1991, com 9651 participantes que relataram incômodo pela poluição ar. Fizeram parte do estudo oito regiões da Suíça, com diferentes condições de clima e fontes de poluição do ar. Dados da concentração média anual do poluente NO₂ foram estimados a partir de medições realizadas durante 4 semanas, com amostradores passivos instalados em ambiente externo. A média anual do PM₁₀ foi obtida do monitoramento fixo em cada uma das oito regiões do estudo.

Os participantes responderam à pergunta, “O quanto você se sente incomodado com a poluição do ar (proveniente do tráfego de veículos e indústrias) em sua casa quando você deixa suas janelas abertas?” A escala de respostas variou de 0 a 10, onde 0 representava nenhum tipo de incômodo e 10 o incômodo intolerável. Foram calculados os parâmetros de média, mediana e percentil das notas atribuídas ao incômodo em todas as regiões e os dados foram agrupados em uma escala categórica do incômodo percebido (baixo, médio e alto). Através da aplicação de regressão linear simples observou-se correlação significativa entre as médias das notas dadas ao incômodo e os níveis de concentração de NO₂ e MP₁₀. Os autores concluíram que notas atribuídas ao incômodo podem servir como um indicador da exposição à poluição atmosférica.

Klaeboe *et al* (2000) estudaram o incômodo causado pela poluição do ar e sonora proveniente do tráfego de veículos em Oslo, na Noruega. Foram realizadas três pesquisas de opinião, em 1987, 1994 e em 1996, com abrangência de 1000 participantes em cada pesquisa. Na pesquisa de 1987, foram feitas entrevistas face a face, e em 1994 e 1996, entrevistas por telefone. Os respondentes foram selecionados aleatoriamente em sub-áreas, escolhidas para representar regiões com aumento, diminuição e estabilidade do tráfego de veículos.

A percepção do incômodo foi mensurada por meio de perguntas sobre ruído e odor de exaustão com as seguintes opções de respostas: forte, fraco ou nenhum incômodo. A concentração média de 3 (três) meses do poluente NO₂ foi utilizada como indicador da poluição do ar e correlacionada com as respostas atribuídas ao incômodo por meio da técnica regressão ordinal logística. Os resultados mostraram correlação positiva significativa entre as variáveis

estudadas. Foi possível observar que se uma pessoa relata alto nível de incômodo por odor, provavelmente também relatará alto nível de incômodo por ruído, e vice-versa. Ao avaliar os diferentes períodos de amostragem (1987, 1994 e 1996), pois a cidade passou por melhorias na localização das vias de tráfego mais intenso, foi observado menores níveis médios de incômodo na terceira campanha. Os autores concluíram que a pesquisa de opinião, consiste numa metodologia viável e eficiente no que se refere a avaliação da percepção da população antes e depois de uma intervenção (nesse caso, antes e depois da implantação de melhorias no tráfego).

Rotko *et al.* (2002) avaliaram a relação entre a média das notas atribuídas ao incômodo e os níveis de concentração de poluentes atmosféricos (NO_2 e $\text{MP}_{2,5}$) através dos dados de um estudo europeu conhecido como EXPOLIS (estudo da exposição à poluição do ar entre a população europeia urbana adulta), conduzido em seis cidades europeias (Atenas, Basel, Helsinki, Milão, Oxford e Praga).

A coleta de dados contemplou uma amostragem de mil setecentos e trinta e seis indivíduos entre 25 e 55 anos, por meio de aplicação de questionário face a face. As 3 perguntas aplicadas foram do tipo “O quanto você se sentiu incomodado em casa/no trabalho/no tráfego durante as últimas 48 horas?”. As respostas contemplavam uma escala de notas de zero (nada incomodado) a dez (extremamente incomodado). Por meio de regressão logística foi avaliada a relação entre o incômodo e as variáveis, local de residência, gênero, idade e nível de escolaridade, nível de tabagismo, sintomas alérgicos, sensibilidade à poluição atmosférica, se possui criança e local de residência (subúrbio ou centro da cidade). Por meio de regressão simples a média de 24h e 48h da concentração de poluentes ($\text{PM}_{2,5}$ e NO_2) foram correlacionadas com as médias das notas dadas ao incômodo percebido obtido por meio das respostas do questionário. Os resultados apresentaram que a percepção do incômodo é influenciada pelo o local da residência (centro da cidade), auto-relato de sensibilidade à poluição atmosférica, sintomas respiratórios e gênero feminino. Foi observada correlação significativa entre os níveis de incômodo em casa e no trânsito com a média da concentração de 48h de $\text{PM}_{2,5}$ e NO_2 . Correlação significativa entre incômodo no trabalho para quem trabalha durante o dia com exposição a níveis de concentração de NO_2 no local de trabalho, e ainda correlação significativa entre incômodo no trânsito com concentrações de NO_2 fora de casa. Os maiores níveis de incômodo foram encontrados no trânsito.

Jacquemin *et al.* (2007) analisaram a relação entre os fatores pessoais e sócio-demográficos com o incômodo causado pela poluição do ar. Os dados foram coletados através de pesquisa de opinião denominada “Levantamento da Saúde Respiratória na Comunidade Europeia”, realizada em 28 centros urbanos de 12 países da Europa Ocidental, no período de 1999 a 2001. A análise teve por base as respostas de sete mil oitocentos e sessenta e sete participantes, que opinaram sobre a percepção do incômodo causado pela poluição do ar.

Os dados sócio-demográficos analisados por meio da regressão múltipla foram: gênero, idade, educação e a classe sócio-econômica. Variáveis classificadas como respiratórias foram: falta de ar, asma, dispnéia, asma, tosse, rinite e alergia. Os fatores sobre estilo de vida foram: frequência de exercícios físicos, fumo e exposição à fumaça em casa ou no trabalho e tráfego de veículos. Dados de média anual dos poluentes $MP_{2,5}$ e SO_2 , foram relacionados com o incômodo percebido no modelo de regressão simples. Os resultados mostraram que cerca 43% dos participantes não estavam incomodados (0 na escala), 43% relataram que estavam moderadamente incomodados (1 a 5 na escala), 14% relataram que estavam muito incomodados (6 a 7) e 6% altamente incomodados (8 a 10) com a poluição do ar. Observou-se mais de 50% dos participantes estavam incomodados com a poluição do ar e, também, que as mulheres são mais incomodadas do que os homens. Os fatores pessoais: gênero, classe socioeconômica, problemas respiratórios, tabagismo e exposição a tráfego de veículos foram correlacionados com incômodo, enquanto idade, educação e prática de exercícios físicos não foram correlacionadas com incômodo. Os autores concluíram que o incômodo por poluição do ar é frequente na Europa, e pode ser uma medida útil da percepção da qualidade ambiental e utilizado como um instrumento complementar para vigilância em saúde.

Llop *et al.*, (2008) investigaram o grau de incômodo causado pela poluição atmosférica e ruído (proveniente do trânsito de veículos) em mulheres grávidas na cidade de Valência (Espanha). Do total de 1650 mulheres selecionadas, apenas 855 (55%) aceitaram participar da pesquisa. A amostra foi distribuída conforme o local de residência (área rural, semiurbana, urbana e metropolitana) e características sociodemográficas. A concentração média de NO_2 foi medida em noventa e três pontos distribuídos na região do estudo nos meses de abril, junho e novembro de 2004 e fevereiro de 2005.

A análise dos dados foi feita por meio do cálculo do coeficiente de *spearman* afim de encontrar a correlação entre o grau de incômodo relatado e os níveis de poluição de NO_2 medido próximo

da residência, em ruas com tráfego de veículos intenso, bem como a frequência de veículos leves e pesados. Os resultados mostraram que cerca de 50% das mulheres grávidas reportaram médio incômodo causado por ruído e poluição sendo que 13% reportaram alto incômodo causado por ruído e 8% alto incômodo pela poluição do ar. Houve diferenças significativas no nível de incômodo relatado em relação ao local de residência e fatores sociodemográficos (por exemplo entre mulheres que trabalham em casa e fora de casa). Os níveis mais elevados de NO_2 foram correlacionados com elevados níveis de incômodo. Os autores concluíram que há um percentual elevado de mulheres grávidas que se sentem incomodadas com a poluição do ar e sonora proveniente do tráfego de veículos. Além de que os poluentes podem causar efeitos psicológicos e fisiológicos, serem prejudiciais à qualidade de vida, e afetar o desenvolvimento pré-natal.

Na Noruega, um estudo conduzido por Amundsen *et al.* (2008) estimou modelos relação-efeito entre exposição a poluentes atmosféricos (MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$ e NO_2) proveniente do tráfego de veículos e a resposta da população sobre os níveis de incômodo percebido em relação, por exemplo, a poeira, sujeira e odores. Os dados da percepção do incômodo foram obtidos a partir de 3 pesquisas de opinião realizadas anteriormente, a primeira na cidade de Oslo (Klaeboe *et al.*, 2000) e as demais em dois estudos realizados em Drammen. Os questionários sobre incômodo, em ambas as cidades, perguntavam: “Você percebe poeira ou sujeira quando está do lado de fora da sua casa?”. As respostas eram “sim”, “não” e “não aplicável”. As perguntas do questionário foram as mesmas nos diferentes anos em que foi aplicado para ambas as cidades (Oslo e Drammen).

Dados de emissões provenientes de tráfego de veículos foram analisados, e todas as vias da área de estudo foram representadas geograficamente. A residência de cada indivíduo entrevistado foi representada em um sistema de coordenadas, definindo o centro da fachada da casa como sendo o ponto receptor. A concentração horária e diária de 3 meses dos poluentes (MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$ e NO_2) foi calculada para cada ponto receptor através do modelo de dispersão EPISODE. Em cerca de 300 trechos de rua, caracterizados com tráfego intenso, foi selecionada amostragem dos respondentes para os quais foram aplicados os questionários. Por meio da regressão logística, foi possível correlacionar os dados de emissão com as respostas atribuídas ao incômodo. Os resultados mostraram que cerca de 30% da população relataram estar altamente incomodados pela presença de partículas, quando exposta aos níveis de concentração da ordem de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} . Quando expostos a níveis de concentração da ordem $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} ,

(limite europeu para esse poluente-média anual), 45% da população se dizem altamente incomodados. O incômodo percebido por partículas foi significativamente correlacionado com as concentrações de MP_{10} e o incômodo por odor foi correlacionado significativamente com as concentrações de $MP_{2,5}$ e NO_2 no trânsito.

Na Suécia, Stenlund *et al.* (2009) investigaram os efeitos da diminuição da poluição atmosférica (predominantemente poeira, fuligem e substâncias odoríferas) em relação à percepção da poluição (distância ou proximidade da fonte industrial), percepção de risco, incômodo e sintomas à saúde. Outro objetivo deste estudo foi testar um modelo que descreve correlações entre poluição atmosférica, percepção da poluição, percepção de risco à saúde, incômodo e sintomas à saúde através da aplicação de análise de caminho (*path analyses*).

A coleta de dados foi feita por questionários aplicados aos residentes da cidade de Oxelosund, antes da intervenção em uma usina de sinterização da região (chamado de pré-teste, realizado em 1995) e após a intervenção ou interrupção das atividades da planta (denominado pós-teste, realizado em 1998). Os participantes foram selecionados aleatoriamente (684 participantes no pré-teste e 684 participantes no pós-teste) e a faixa etária foi de 18 a 75 anos de idade. Por meio da aplicação do teste qui-quadrado e coeficientes de correlação de Pearson, foi possível avaliar a relação existente entre todos os fatores e os níveis de incômodo para pré-teste e pós-teste. Após o encerramento das atividades da planta de sinterização, foi observado que o ambiente se tornou menos sujo e os residentes relataram menos incômodo com a poluição devido à sujeira, poeira e por substâncias odoríferas. Os resultados mostraram que não foi verificada diferença no fator “sintomas à saúde” entre o pré-teste e o pós-teste. Em conclusão, a intervenção na siderúrgica resultou em menor percepção de poeira, fuligem e odor por parte da população e menor nível de incômodo, além de menor percepção de risco.

Nikolopoulou *et al.* (2011) analisaram a percepção individual entre a qualidade do ar e os estímulos do ambiente (ruído, microclima e níveis de concentração de PM_{10}). A coleta de dados foi feita aleatoriamente no verão de 2008, através da aplicação de questionários a 260 pedestres em duas regiões (uma região próxima de canteiros de obras e outra com trânsito intenso de veículos) localizadas na cidade de São Diego, Califórnia. As perguntas do questionário foram formuladas a fim de obter informações da percepção das pessoas no momento da entrevista, considerando também perguntas sobre o local, idade, gênero, faixa etária, tabagismo, ambiente térmico e acústico, qualidade ambiental, saúde e bem estar.

No período das aplicações dos questionários foram monitorados no local os níveis de ruído, micro-clima (radiação solar, temperatura e umidade do ar) e a concentração de material particulado. Para esta última, foi instalado um contador de partículas sensível a partículas maiores que $1\mu\text{m}$ e foram calculadas a partir de um fator de conversão para transformar a contagem de partículas por volume de ar em massa de partículas por volume de ar, que, apesar de serem valores estimados, não afetariam a análise qualitativa dos dados. Para análise estatística, foi usada a regressão ordinal logística, tendo como variável dependente os votos dados à qualidade do ar e a variável independente a concentração de MP medidas no local. Os resultados mostraram que a percepção da qualidade do ar tem correlação positiva significativa com a presença de poeira e negativa com a radiação solar. Os autores explicam que a forma como as pessoas percebem a qualidade do ar está relacionada com os níveis de concentração de material particulado, através do efeito visual das partículas e pela quantidade acumulada de poeira, sujeira, fuligem, fumaça, etc. Os sintomas de saúde foram levantados com o propósito de analisar se a percepção da poluição está relacionada com a sensibilidade, por exemplo, irritação dos olhos, nariz, garganta, etc. No entanto, apenas 25% dos entrevistados relataram sintomas de saúde relativos à poluição do ar. Os autores concluíram que a qualidade do ar está fortemente relacionada com a percepção do ar limpo. Ou seja, à medida que a concentração de material particulado aumenta as pessoas percebem que a qualidade do ar tende a piorar.

Em Paulínia, no estado de S.P., Brasil, Gutjahr e Tarifa (2004) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a qualidade do ar na cidade e os efeitos prejudiciais sobre a saúde e a qualidade de vida da população. Dados de concentração média horária e mensal de SO_2 , PM_{10} e fumaça, além de dados meteorológicos (direção e velocidade do vento), foram analisados, com as respostas da comunidade a uma pesquisa de opinião realizada com aplicação de questionários a 171 pessoas, nos anos de 1994, 1995 e posteriormente em 2002. As perguntas foram elaboradas com o propósito de obter informações sobre sexo, idade, ocupação, tempo de residência na cidade e sensibilidade a odor, pó e fumaça. Os resultados mostraram que o indicador de maior incômodo para a maioria dos entrevistados é o odor, que está associado ao conceito de poluição do ar. Observou-se que 84% das mulheres se mostraram mais sensíveis ao incômodo por maus odores contra 73% dos homens. Apenas 3% das mulheres reclamaram da ocorrência de pó e fumaça. Os autores observaram, também, que as pesquisas de opinião são instrumentos úteis para identificação de problemas ambientais, os quais necessitam de observações mais sistematizadas.

Trindade e Queiroz (2006) estudaram a percepção da qualidade do ar através de uma pesquisa de opinião com aplicação de questionários a 653 indivíduos de três cidades (Vitória, Serra e Vila Velha) do Espírito Santo, Brasil. Dentre as questões aplicadas, perguntou-se sobre o incômodo e a associação da poluição a problemas de saúde. Os resultados mostraram que mais de 50% dos entrevistados afirmaram sentir-se incomodados com a poluição do ar (principalmente poeira), 97% dos entrevistados associaram a poluição do ar a problemas da saúde, e 47% classificaram a qualidade do ar ruim na região aonde moram.

Souza (2011) conduziu um estudo na Ilha do Boi, em Vitória, no estado do E.S., Brasil, com o objetivo de avaliar os níveis de incômodo percebidos pela presença de partículas sedimentadas (PS). Uma pesquisa de opinião com aplicação de questionários foi realizada com 148 pessoas, nos meses de outubro e dezembro de 2010. Adicionalmente, foi feita uma pesquisa de painel, com um grupo de 17 moradores, a fim de observar os níveis de incômodo percebidos diariamente, semanal e mensalmente, durante seis meses. A pergunta elaborada para quantificar a percepção do incômodo apresentou como opções de respostas uma escala quantitativa de 0 a 10, sendo 10 o máximo de incômodo percebido.

Por meio da regressão linear simples, foi verificada correlação significativa entre os níveis de incômodo relatados e variáveis meteorológicas (precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento), bem como entre os níveis de incômodo e a taxa de deposição de partículas monitoradas em duas estações na Ilha do Boi. Os resultados indicaram que 98,6% dos entrevistados se sentem incomodados pela presença de poeira em suas residências, sendo que, destes, 62,3% apresentam nível máximo de incômodo. A pesquisa de opinião permitiu constatar que 79% dos moradores da Ilha do Boi conseguem perceber variações nas taxas de poeira em suas residências ao longo do ano, o que pode ser explicado pelo comportamento sazonal da taxa de deposição de PS das estações da Ilha do Boi, com períodos com picos e quedas. O trabalho mostrou que há correlação significativa entre os níveis de incômodo relatados e a taxa de deposição experimental média monitorada nas estações da Ilha do Boi.

A presente fundamentação teórica constitui fonte de inspiração para aprofundar a investigação, preencher as lacunas identificadas e contribuir com informações relevantes no contexto científico e social em que está inserido o problema do incômodo causado pela poluição do ar.

4. Metodologia

Este capítulo descreve as etapas desenvolvidas para atingir os objetivos gerais e específicos do presente estudo. Para tanto faz uma descrição da região de estudo e uma explicação das técnicas adotadas para quantificar as duas principais variáveis de interesse: o incômodo e o material particulado. A Seção 4.1 apresenta, sucintamente, as características da região de estudo, considerando os aspectos sociodemográficos, econômicos e climáticos, as principais fontes de emissão de material particulado e a qualidade do ar na região de interesse. A Seção 4.2 explicita as técnicas de monitoramento e quantificação adotadas para medição do material particulado (MP₁₀, PTS e PS). A Seção 4.3 expõe as etapas desenvolvidas para coleta de dados por meio de pesquisa de opinião, com fins à quantificação do incômodo. Finalmente, a Seção 4.4 descreve os principais conceitos e técnicas estatísticas adotadas para análise das variáveis coletadas por meio dos passos descritos nas seções 4.1, 4.3. e 4.4.

4.1 Características da região de estudo

4.1.1 Aspectos demográficos, econômicos e climáticos

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), foi criada pela Lei Complementar nº 58 de 21 de fevereiro de 1995 e está localizada na região centro-litorânea do estado do Espírito Santo/ Brasil. A RMGV é formada por sete municípios: Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica, Viana, Fundão e Guarapari, e comporta uma população de cerca de 1,6 milhões de habitantes (IBGE, 2010), o equivalente a aproximadamente 50% da população do estado do E.S., apesar de ocupar apenas 5% do território capixaba (IJSN, 2008).

A RMGV abrange uma área de 1.461 km² e é um dos principais polos de desenvolvimento urbano e industrial do Estado. É formada por uma topografia complexa, onde seu relevo é caracterizado por maciços rochosos, serras e morros, áreas de baixada, além de grandes planícies. A ocupação do solo é variada, com grandes extensões urbanizadas e outras cobertas por vegetação, que é constituída por fragmentos de mata atlântica, restingas, várzeas, manguezais, vegetação rupestre, campos e pastagens. Está localizada na parte central do estado, com fronteiras ao leste, com o oceano atlântico, entre os paralelos de 10° e 23° 26' S, ou seja, na zona tropical litorânea.

Conforme as imagens das rosas dos ventos apresentadas na Figura 4-1 o vento predominante no litoral do estado é NE, sofrendo influência de ventos locais, como brisa marinha e terrestre

(devido à proximidade com o oceano) e brisas de vale e montanha (devido à topografia acidentada) (INMET, 2014).

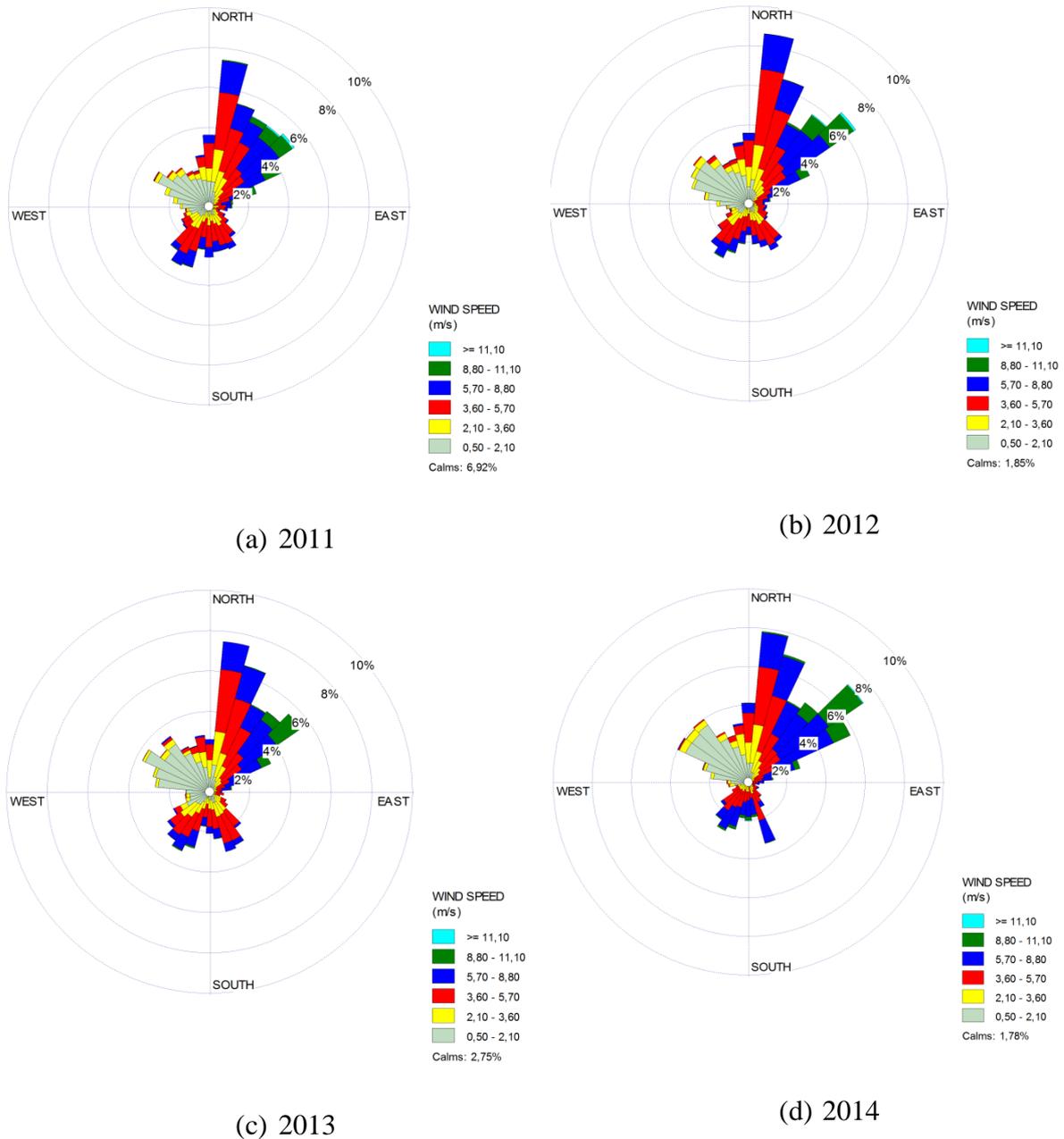


Figura 4-1 Rosa dos ventos da RMGV dos anos 2011 (a), 2012 (b), 2013 (c), 2014 (d)
Fonte de dados: INPE (2015)

A RMGV apresenta clima tropical quente, possuindo inverno ameno e seco, e verão chuvoso e quente. Historicamente, a temperatura média na cidade de Vitória não varia ao longo do ano, sendo a temperatura média anual igual a 24,2°C, com leve queda nos meses do inverno e suave aumento durante o verão. O mês de julho é, climatologicamente, o mais frio (18,8°C) e o mês de fevereiro é o mês, historicamente, mais quente, com média das temperaturas máximas igual a 31,6°C. Em relação à precipitação, nota-se que o inverno é o período mais seco. A partir do

mês de outubro, inicia-se o período chuvoso na região, o qual se estende até meados de abril. O mês de dezembro é o que possui maior ocorrência de eventos de chuva, com média de precipitação acumulada mensal de 175,8 mm. O período quente se estende aproximadamente de outubro a abril, com maior intensidade em dezembro e janeiro. No inverno, a temperatura média mensal mais baixa ocorre em julho, sendo a sensação de frio verificada esporadicamente, quando há ocorrência de frentes frias. (INMET, 2014).

4.1.2 Monitoramento e qualidade do ar na RMGV

De acordo com o relatório de qualidade do ar da RMGV, o monitoramento da qualidade do ar é feito nas estações de monitoramento que se complementam: (i) a rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr); (ii) a rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas. As estações da RAMQAr e da rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas estão localizadas em quatro municípios (Vitória, Vila Velha, Serra e Cariacica), conforme a Figura 4-2.

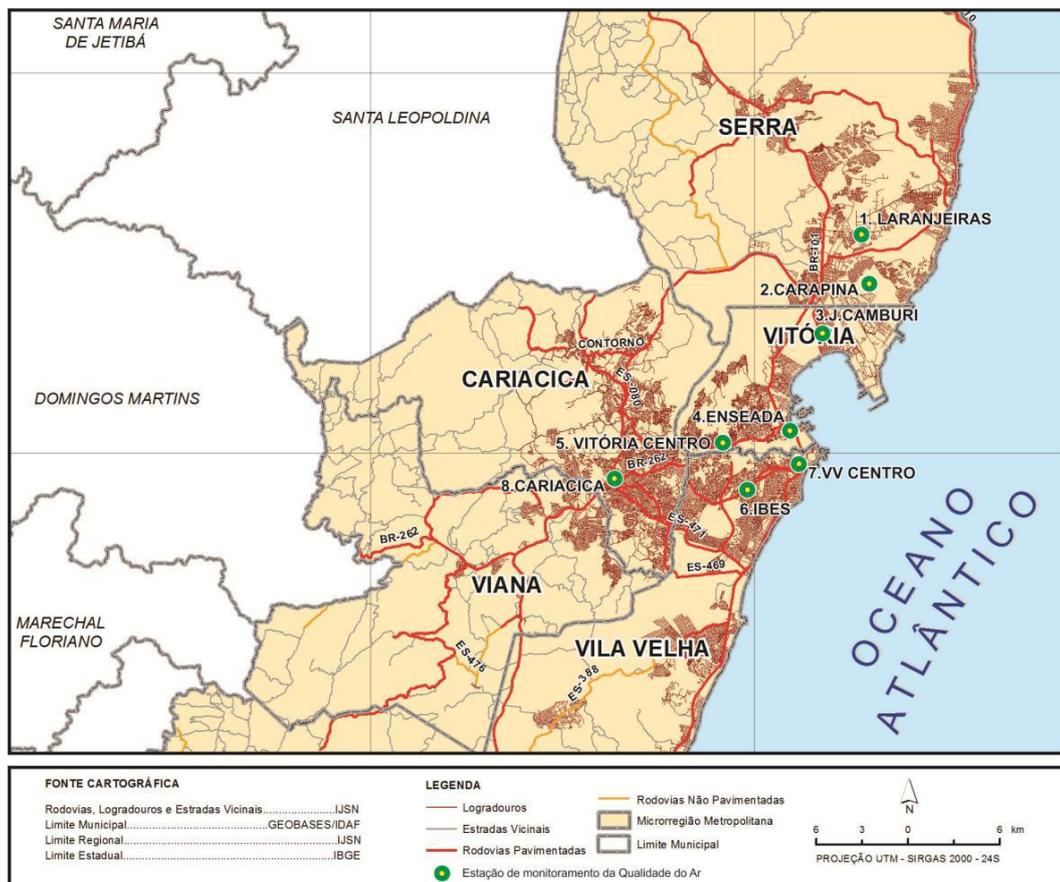


Figura 4-2 Região Metropolitana da Grande Vitória e distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar RAMQAr
Fonte: IEMA (2013).

A Rede Manual de Monitoramento de PS coincide com a localização das oito estações de monitoramento da RAMQAr (Laranjeiras, Carapina, Jardim Camburi, Enseada do Suá, Vitória –centro, Vila Velha Ibes, Vila Velha centro e Cariacica), mais 2 estações localizadas na Ilha do Boi (SENAC e Clube Ítalo Brasileiro). Até fevereiro de 2013, a rede contava com um ponto adicional no centro de Vitória, que foi desativado (a pedido do dono do local).

A Tabela 4-1 apresenta os poluentes (definidos na resolução Conama N° 03/ 90) e os parâmetros meteorológicos monitorados por estação. As análises propostas no presente estudo contemplam dados de PS, MP₁₀ e PTS monitorados no período de 2011 a 2014 nas estações da RAMQAr: Laranjeiras, Carapina, Jardim Camburi, Enseada do Suá, Vitória-centro, Vila Velha-centro e Cariacica.

Tabela 4-1 - Parâmetros monitorados nas estações da RAMQAr.

Estação	PTS	PM ₁₀	PS	SO ₂	CO	NO _x	HC	O ₃	Meteorologia*
Laranjeiras	x	x	x	x	x	x		x	
Carapina	x	x	x						DV, VV, UR, PP, P, T, I
Jardim Camburi	x	x	x	x		x			
Enseada do Suá	x	x	x	x	x	x	x	x	DV, VV
Vitória Centro	x	x	x	x	x	x	x		
Ibes	x	x	x	x	x	x	x	x	DV, VV
Vila Velha-centro		x	x	x					
Cariacica	x	x	x	x	x	x		x	DV, VV, T

DV = Direção do Vento, VV = Velocidade do Vento, UR = umidade Relativa, PP = Precipitação Pluviométrica, P = Pressão, T = Temperatura, I = Insolação. (*) As estações que monitoram NO_x apresentam dados de NO e NO₂.
Fonte: IEMA (2013)

O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) divulga diariamente os índices de qualidade do ar na RMGV nos jornais locais e na página eletrônica <http://www.meioambiente.es.gov.br>.

O objetivo do índice e da classificação da qualidade do ar é indicar o atendimento aos padrões e metas vigentes. No mesmo site, é disponibilizado o relatório anual de qualidade do ar da RMGV, que tem o objetivo de apresentar as principais tendências da poluição do ar e as desconformidades no monitoramento, a fim de propor possíveis ações para a melhoria da qualidade do ar e aprimorar a confiabilidade dos dados monitorados.

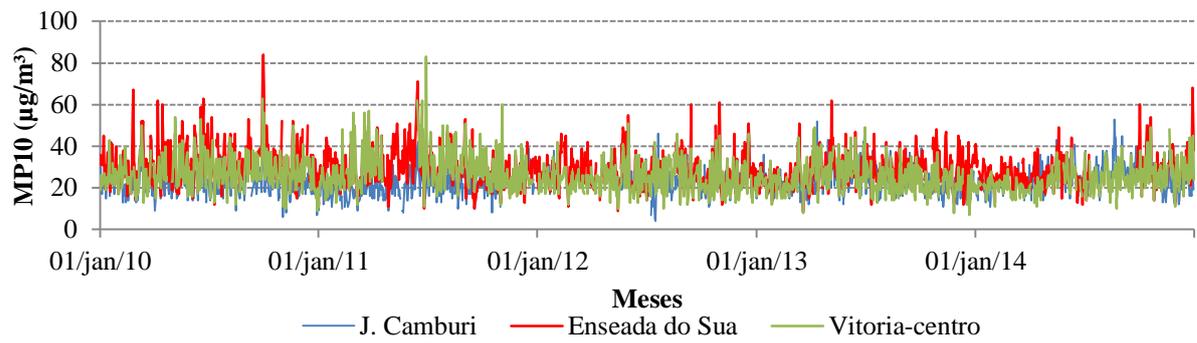
A Figura 4-3 ilustra, como exemplo, as instalações físicas de uma das estações de monitoramento da qualidade do ar, a estação Enseada do Suá, onde estão instalados os equipamentos de monitoramento dos poluentes atmosféricos.



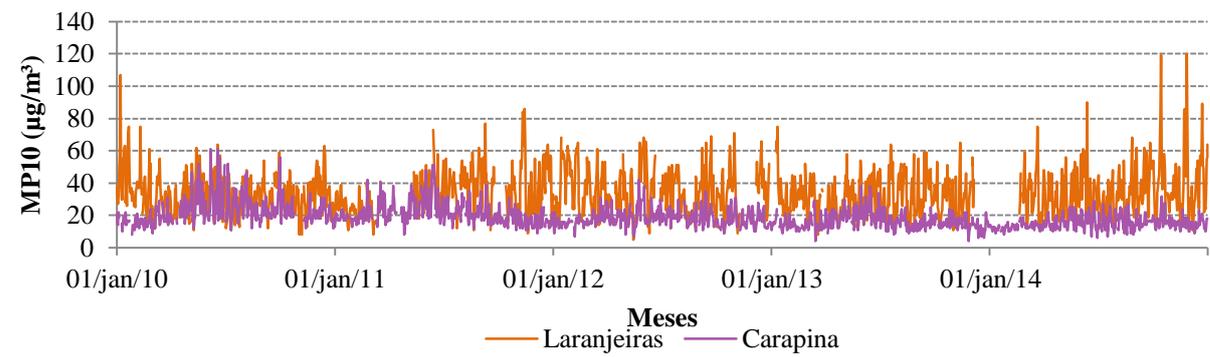
Figura 4-3 Estrutura física de uma das estações de monitoramento da qualidade do ar.
Fonte: Soares (2011)

A Figura 4-4 (a) – (d) apresenta as séries temporais das médias diárias do poluente MP_{10} monitoradas de janeiro de 2010 a dezembro de 2014, separadas por município. De forma geral as séries são estacionárias com presença de sazonalidade. Especificamente, é possível observar a ocorrência de valores diários de MP_{10} superiores a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas estações do município de Vitória. Nas estações da Serra observam-se valores diários de concentração que chegam a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação Laranjeiras. Em Vila Velha vários valores diários e superior a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com ocorrências próximas a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em Cariacica, embora haja ausência de registros num período de 2013 a parte de 2014, constata-se a ocorrência de concentração superior a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e alguns valores próximos de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

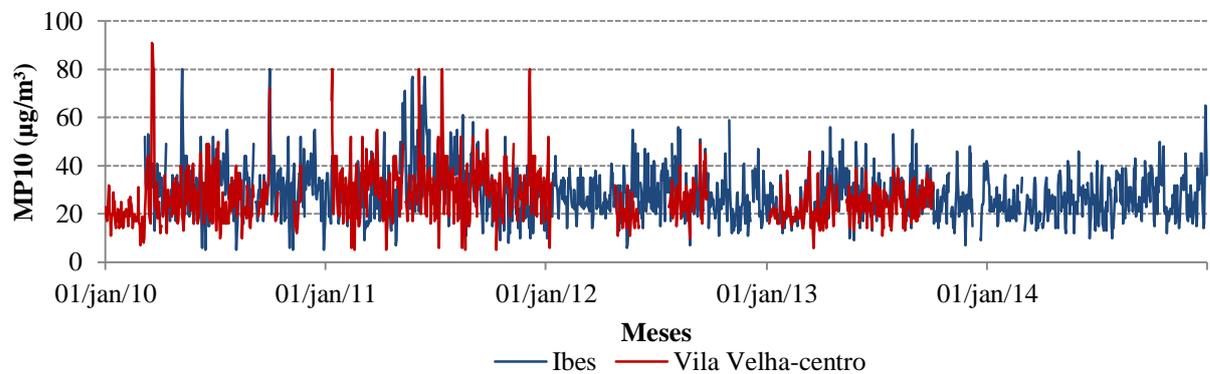
A Figura 4-5 apresenta as séries temporais das médias diárias do poluente PTS, de janeiro de 2010 a dezembro de 2014, medidas nas estações instaladas nos municípios da RMGV. Em Vitória, constata-se a ocorrência valores superiores a $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em todas as estações. Na Serra, valores diários superiores a $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ são frequentes em Laranjeiras. Frequentemente, em Vila Velha, observam-se valores chegando próximos de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. E em Cariacica, embora haja ausência de registros em certos períodos, observam-se concentrações médias diárias superior a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



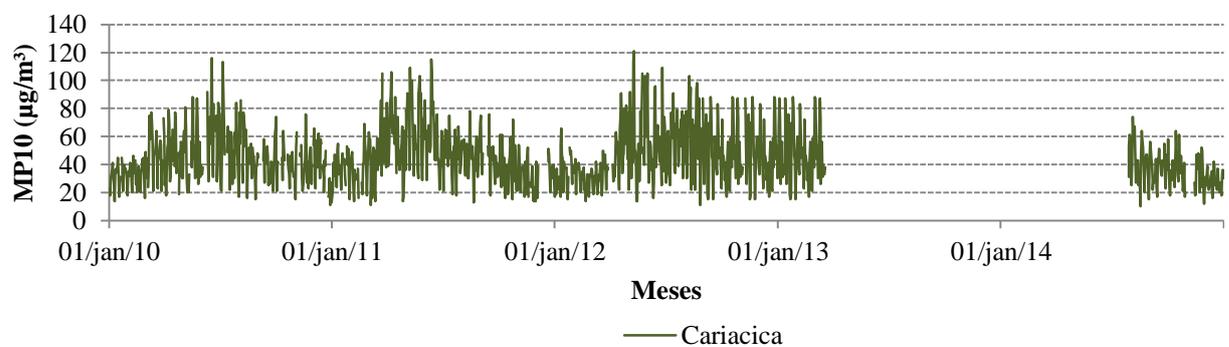
(a) Vitória



(b) Serra

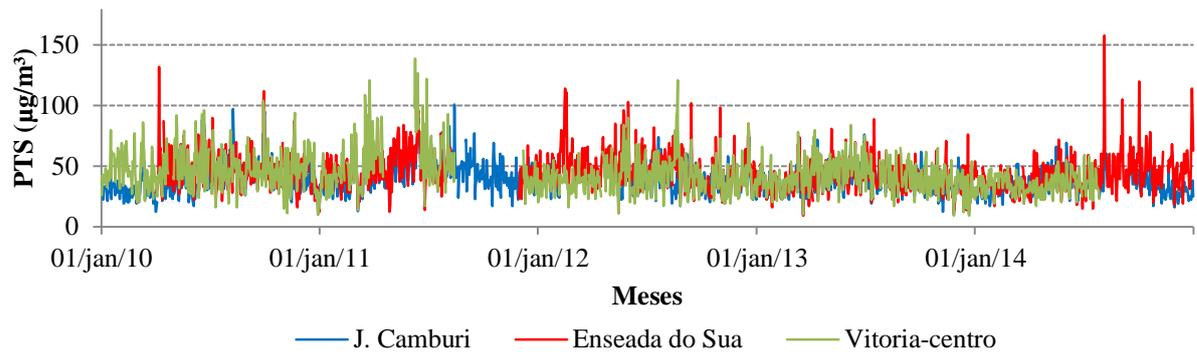


(c) Vila Velha

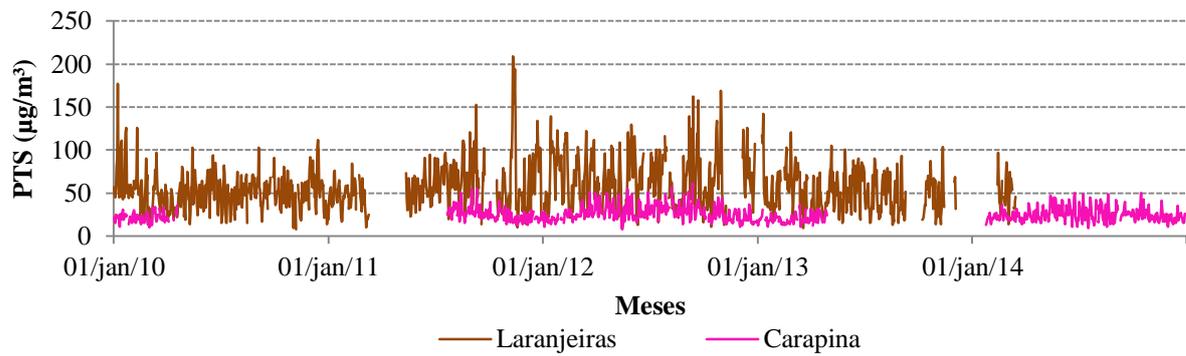


(d) Cariacica

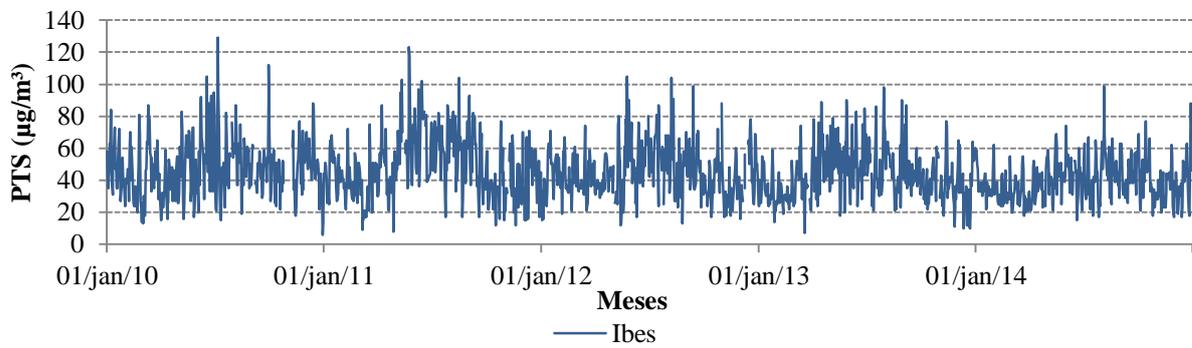
Figura 4-4 Séries temporais do poluente MP_{10} de 2010 a 2014 separadas por município da RMGV: (a) Vitória, (b) Serra, (c) Vila Velha e (d) Cariacica



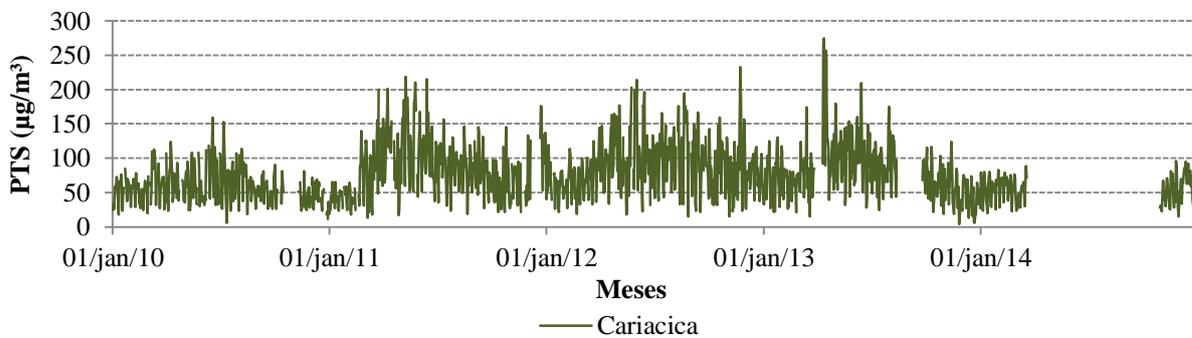
(a) Vitória



(b) Serra



(c) Vila Velha



(d) Cariacica

Figura 4-5 Séries temporais do poluente PTS de 2010 a 2014 separadas por município da RMGV: (a) Vitória, (b) Serra, (c) Vila Velha e (d) Cariacica

4.1.3 Fontes de material particulado na RMGV

Em uma região urbana industrializada em processo de desenvolvimento, como a RMGV, a qualidade do ar é afetada, principalmente, pelas emissões industriais, veículos automotores e por atividades da construção civil. A RMGV está localizada no litoral e conta também com um complexo sistema portuário, que constitui fonte significativa de emissões de material particulado. Os municípios de Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica e Viana concentram 55 a 65% das atividades industriais potencialmente poluidoras instaladas no Espírito Santo, tais como: siderurgia, pelletização, pedreira, cimenteira, indústria alimentícia, usina de asfalto, dentre outras (IEMA, 2011b).

A Tabela 4-2 mostra um resultado geral obtido no Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória (IEMA, 2011a), considerando apenas as emissões de PTS, PM₁₀ e PM_{2.5}. No referido documento foram consideradas as emissões provenientes de vias de tráfego, indústrias de diversos segmentos, portos, aeroportos, as emissões residenciais e comerciais e as emissões de fontes naturais (biogênicas), mas não foi considerada atividades da construção civil. As principais fontes de emissão de material particulado na RMGV são veículos automotores, que representam (70,4%) e as emissões industriais (25,5%). Aproximadamente 95% das emissões veiculares são atribuídas à ressuspensão de partículas das vias, e não à emissão direta dos gases de escapamento, um problema que pode ser minimizado com a diminuição da sujeira das vias. Cerca de 60% das emissões industriais foram atribuídas às indústrias de mineração e siderurgia, concentradas principalmente na Ponta de Tubarão, o que constitui um problema relevante para algumas áreas da RGV quando é considerada a direção predominante do vento NE (IEMA, 2011a).

Tabela 4-2 - Taxas Médias de emissões de poluentes para as atividades inventariadas.

Atividade	Taxa de Emissão [kg/h]		
	PTS	PM ₁₀	PM _{2.5}
Emissões Industriais	1.047,5	594,7	293,8
Emissões Veiculares	2.891,6	2.053,1	1.093,1
Logística (Portos e Aeroportos)	98,6	97,3	96,8
Emissões Residenciais e Comerciais	2,0	1,1	1,1
Aterros Sanitários	0,5	0,5	0,5
Outras Emissões	3,0	2,6	2,1
Total	4.043,1	2.749,3	1.487,5

Fonte: Adaptado de IEMA (2011a).

Santos e Reis (2011) identificaram a origem do material particulado sedimentado, por meio do modelo matemático denominado Balanço Químico de Massa, e análises da composição química das partículas coletadas nos meses de abril de 2009 a março de 2010 e novembro de 2010. Os autores encontraram que, na região de Laranjeiras, a maior contribuição de PS refere-se ao conjunto de fontes “pedreira, ressuspensão e solos” (de 37% a 78% no período analisado). Na região do Ibes, as contribuições de PS são mais significativas no conjunto de fontes “pedreira, ressuspensão, solos e construção civil” (entre 41% e 60%) e a fonte veicular contribuiu com cerca de 15%. Em Jardim Camburi, o conjunto de fontes “construção civil, ressuspensão e solos” representou, em média, 68% da contribuição de PS, seguido de veículos, com cerca de 13%. As fontes “construção civil e ressuspensão” são predominantes na região do Centro de Vitória (67%), seguidas da fonte veicular (17%). Na região da Enseada do Suá, as fontes predominantes são “construção civil e ressuspensão” (48%), seguidas em importância pelo conjunto de fontes “siderurgia e carvão/coque” (40%). Na região de Cariacica, o conjunto de fontes “pedreira e solos” correspondeu a cerca de 70% da contribuição de PS, seguido de veículos, com cerca de 18%. Na região de Vila Velha Centro, o conjunto de fontes “construção civil e ressuspensão” apresentou contribuições entre 47% e 77%, seguido das fontes “siderurgia e coque/carvão” (cerca de 22%).

O trabalho de Santos e Reis (2011) é de grande relevância para melhor entendimento do problema do incômodo, pois a partir dos resultados encontrados por tais autores é possível comparar com a opinião da população sobre a percepção e identificação das fontes de material particulado predominantes na região aonde residem.

4.2 Monitoramento e quantificação do material particulado na RMGV

Nas estações da RAMQAr, a quantificação do PTS e MP₁₀ é realizada por meio de um analisador de partículas contínuo com regulagem de vazão, denominado TEOM (*Tapered Element Oscillating Microbalance*) da fabricante *Termo Fisher Scientific*. O TEOM foi desenvolvido nos Estados Unidos como um analisador automático de PM₁₀, e hoje é amplamente utilizado para monitorar PTS e MP_{2,5}, além do próprio MP₁₀. O método de medição das partículas consiste na amostragem do ar ambiente que passa por um filtro, que faz parte de um sistema vibrador, com frequência medida. A frequência de vibração depende da massa do sistema. Assim, à medida que o peso do material acumulado no filtro vai aumentando, a frequência de vibração muda. Um detector de frequência da vibração envia sinais a um

microprocessador que calcula a concentração das partículas no ar com base na massa acumulada no filtro e a vazão do sistema. O método de referência é o USEPA EPPM-1090-079 (SOARES, 2011).

A diferença no mecanismo de medição do MP_{10} e PTS está na entrada da amostra de ar. A amostra de ar para medição PTS chega ao equipamento de medição sem processos intermediários, enquanto que a amostra para medição de MP_{10} , antes de chegar à micro balança, passa por um ciclone, que retém as partículas maiores que $10\ \mu\text{m}$. O TEOM fornece valores horários das concentrações de PTS e MP_{10} expressos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A Figura 4-6 mostra a estrutura do amostrador de MP_{10} e PTS inlet (a) e TEOM (b).



(a)

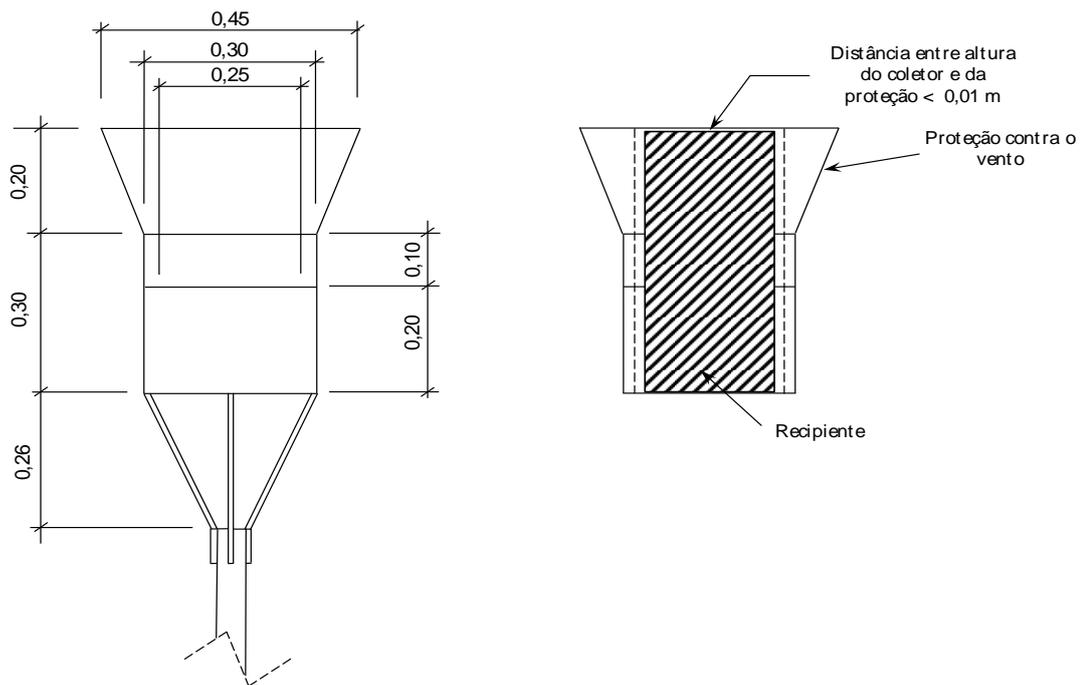


(b)

Figura 4-6 Estrutura e equipamento de amostragem de PM_{10} e PTS inlet(a) e TEOM(b).
Fonte: Adaptado de Soares (2011).

O método de amostragem de PS adotado nas estações de monitoramento da RMGV está descrito na norma americana da ASTM – D 1739-98 (*Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall - Settleable Particulate Matter*). Suscintamente, a ASTM estabelece um procedimento para a coleta e quantificação de partículas sedimentadas, incluindo as frações solúvel e insolúvel em água. O método determina que o recipiente de coleta seja cilíndrico, com diâmetro maior que 150 mm,

e com a altura duas vezes maior que o diâmetro. A sua capacidade volumétrica deve ser compatível com o índice pluviométrico da região. A Figura 4-7 apresenta o coletor de partículas sedimentadas, adotados nas estações da RMGV, que consiste basicamente de um recipiente de coleta de 25 cm de diâmetro e 50 cm de profundidade protegido por uma barreira para minimizar a influência da velocidade do vento sobre as medições (IEMA, 2013).



(a)



(b)



(c)

Figura 4-7 Esquema de recipiente cilíndrico, suporte, escudo de vento e dimensões para coletor de poeira sedimentável(a) os quatro coletores (b) e detalhes do coletor (c).
Fonte: IEMA, (2013).

Os recipientes coletores são higienizados e preparados em laboratório com solução específica para evitar o crescimento de fungos, microorganismos e larvas de mosquitos e, em seguida, são selados em laboratório, para posterior alocação nas estações de monitoramento, onde permanecem por um período de 30 dias. Após esse período, os recipientes são fechados e levados para laboratório, para determinação das massas dos componentes solúveis e insolúveis do material coletado. Os resultados são expressos em gramas por metro quadrado em 30 dias (g/m^2 30dias). Trata-se de um método simples e útil no estudo de tendências de longo prazo, bem como para a obtenção de amostras de partículas sedimentáveis para posterior análise química (ASTM, 1998).

Nas estações, são posicionados 4 recipientes (para permitir que as amostras sejam rejeitadas se necessário) sobre um suporte a uma altura de 2 m acima do solo. O suporte inclui uma barreira contra o vento, que consiste em um anteparo construído de acordo com dimensões específicas estabelecidas pela norma, a fim de proteger o recipiente (ASTM, 1998).

O cálculo da taxa de deposição (D) em g/m^2 30 dias de partículas utilizado para a quantificação do material particulado sedimentado, tanto solúvel quanto insolúvel, é realizado conforme a equação 4-1 a seguir:

$$D = \frac{W}{A} \quad \text{Eq. 4-1}$$

onde (W) é a massa determinada do material particulado solúvel e insolúvel em gramas, normalizada usualmente para um período de 30 dias de coleta e (A) é a área de abertura da tampa do recipiente em m^2 .

4.3 Pesquisas de opinião (face a face) e painel (telefone)

A pesquisa de campo “é realizada com o objetivo de obter informações e/ou conhecimentos sobre o problema para o qual se procura uma resposta [...]” (MARCONI & LAKATOS, 1999, p. 85). A pesquisa de campo permite a observação de diversas características/ opiniões dos elementos da população ou amostra, utilizando-se de questionários (aplicados face a face e por telefone), de forma organizada e sem a interferência do entrevistador (BARBETTA, 2008). Neste estudo, a pesquisa de campo é caracterizada como do tipo levantamento ou *perquisa de opinião* (BARNETT, 1991) e será realizada sob duas abordagens: face a face e por telefone.

Na pesquisa de opinião face a face, o objetivo é estabelecer o primeiro contato com o respondente e coletar informações sobre práticas ou opiniões atuais, dados pessoais e relatos da percepção, ocorrência e consequências do problema do incômodo, entre outros. Para tanto, a aplicação do questionário é realizada para uma amostra aleatória representativa da população no período de uma semana, incluindo todos os dias da semana nos turnos manhã, tarde e noite. E, na pesquisa de opinião por telefone, caracterizada como painel, o objetivo é avaliar, mensalmente, ao longo de um período de tempo superior a um ano, a opinião dos respondentes sobre a percepção do incômodo em cada mês.

4.3.1 Instrumento de coleta de dados

O instrumento de coleta de dados é o questionário estruturado não disfarçado, onde o respondente conhece o objetivo da pesquisa (MARCONI & LAKATOS, 1999). Conforme Barbeta (2008), a elaboração de um questionário deve ser executada com muita cautela tendo os objetivos da pesquisa e a população alvo claramente definidos. Para tal, algumas etapas importantes são consideradas no presente estudo: *i*) levantamento bibliográfico sobre o assunto; *ii*) definição da forma de mensurar as variáveis de interesse; *iii*) elaboração de uma ou mais perguntas sobre a variável incômodo; *iv*) verificação sobre a objetividade e clareza da pergunta; *v*) observar se a forma da pergunta não está induzindo a alguma resposta; *vi*) conferir se as respostas das perguntas são suficientes para responder às indagações da pesquisa.

Para elaboração das perguntas do questionário da pesquisa face a face utilizou-se como referência o questionário sobre “Meio Ambiente e Qualidade de Vida” desenvolvido e aplicado na pesquisa de opinião conduzida na Comunidade Urbana de Dunkerque (CUD), França (CALVO-MENDIETA *et al.*, 2008) no ano de 2008, com propósito de investigar o incômodo além de outras variáveis sobre meio ambiente e qualidade de vida.

Ao estudar e adaptar o questionário de Dunkerque para a realidade de RMGV todo o cuidado sobre a seleção das questões de interesse, bem como os objetivos do presente estudo foram consideradas, incluindo a linguagem das perguntas e opções de resposta. As perguntas selecionadas para compor o questionário aplicado na RMGV consideram obter informações e dados que permitam: *i*) avaliar a percepção das pessoas sobre o incômodo causado pela poluição do ar; *ii*) identificar as principais formas de poluição percebidas; *iii*) identificar fatores que influenciam no incômodo; *iv*) consequências da poluição da qualidade de vida; *v*) identificação das fontes de emissão de poluentes; *vi*) quantificar a intensidade do incômodo; *vii*) acesso à

informações sobre a qualidade do ar; *viii*) conhecimento sobre o órgão ambiental; *ix*) dados pessoais como sexo, faixa etária, nível socioeconômico, etc.

Todas as perguntas selecionadas e adaptadas apresentam uma linguagem simples e direta, de forma a facilitar tanto a aplicação pelo entrevistador como o entendimento do respondente. De acordo com Whittle (2014), a elaboração das opções de respostas é tão importante quanto a elaboração das perguntas. Conforme Barbetta (2008), para definição das opções de resposta, deve-se definir a escala (ou unidade) em que a variável pode ser mensurada, no caso de variáveis quantitativas, e as categorias (possíveis respostas) para variáveis qualitativas.

Neste estudo a variável principal é a percepção do incômodo causado pela poluição do ar, e pela presença de poeira. Para medir o incômodo algumas muitas perguntas foram elaboradas, por exemplo: “O sr. (a) se sente incomodado com a poluição do ar?” ou ainda “Durante esse último mês, o sr.(a) se sentiu incomodado com a presença de poeira em sua residência?”. As opções de respostas foram elaboradas conforme o contexto de cada pergunta em formato de escala categórica e numérica, como por exemplos na Figura 4-8.

Exemplo pergunta XX: O sr.(a) se sente incomodado com a poluição do ar?

Nada incomodado	Pouco incomodado	Moderadamente incomodado	Muito incomodado	Extremamente incomodado
-----------------	------------------	--------------------------	------------------	-------------------------

(a)

Exemplo pergunta YY: Que nota o sr. (a) dá ao incômodo causado pela poeira no ultimo mês, numa escala de 0 a 10? (onde 10 é o máximo de incômodo percebido).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

(b)

Figura 4-8 Exemplos de perguntas e respostas qualitativas (a) e quantitativas (b)

O questionário da pesquisa face a face foi testado e adaptado, de forma que a versão final contempla cerca de 50 perguntas, dentre elas fechadas e abertas. A última pergunta desse questionário é: “O Sr.(a) concorda em participar de outras entrevistas mensais?” e as opções de resposta eram “sim” ou “não”. Esta pergunta foi elaborada com o propósito de selecionar os respondentes voluntários e interessados em dar continuidade à pesquisa mensalmente por meio da pesquisa painel por telefone.

A pesquisa por telefone foi planejada com o intuito de obter informações para avaliar a opinião dos respondentes sobre a percepção mensal do incômodo causado por partículas sedimentadas e, ao mesmo tempo, observar se a percepção dos respondentes sofre alterações ao longo de um período de tempo, ou conforme as mudanças ocorridas entre um certo mês e o seguinte.

O questionário da pesquisa por telefone contempla 4 perguntas, com objetivo de avaliar a percepção mensal do incômodo causado pela presença de partículas sedimentadas durante o mês que se passou (perguntas 1 e 2) e quantificar a intensidade incômodo percebido no mês e no dia da pesquisa (perguntas 3 e 4). As opções de respostas tanto para as perguntas 1 e 2 quanto para as perguntas 3 e 4 consideraram os exemplos das escalas qualitativa e numérica respectivamente conforme explícito na Figura 4-8. Vale ressaltar que a análise exposição resposta considera os dados obtidos por meio da pergunta 2 do questionário da pesquisa por telefone (dados das demais perguntas não são utilizados nos resultados deste estudo). Os questionários aplicados nas pesquisas face a face e por telefone estão disponíveis nos Apêndice A e B, respectivamente.

Conforme Barbetta (2008), somente com a aplicação efetiva do questionário é possível detectar falhas que tenham passado despercebidas em sua elaboração, como, por exemplo: ambiguidade de alguma pergunta, resposta não prevista, não variabilidade de respostas em alguma pergunta etc. Assim, antes do início da pesquisa, foi realizado um pré-teste (teste piloto) junto à comunidade acadêmica dentro do campus da UFES, para analisar a eficiência do questionário como meio de obtenção dos dados, bem como avaliar a capacidade de respostas às perguntas do questionário, por parte dos respondentes, além do conteúdo das mesmas e tempo de aplicação de todo o questionário.

O pré-teste consistiu na aplicação do questionário a 50 pessoas que não conheciam o conteúdo da pesquisa. Ao final do pré-teste, os dados foram tabulados, a fim de verificar a efetividade das opções de respostas, bem como a aplicação das técnicas estatísticas no âmbito dos objetivos da pesquisa. Por meio dos resultados do pré-teste, foi possível identificar algumas falhas em termos de formulação de perguntas e respostas, bem como a inclusão ou exclusão de perguntas. As correções contemplaram a formatação do questionário, uso de termos e palavras, alteração da sequência de questões, a fim de evitar possíveis tendências nas respostas. Através do pré-teste, foi possível estimar o tempo médio de 15 minutos para aplicação do questionário da pesquisa face a face.

4.3.2 Planejamento amostral

Pesquisa de opinião face a face

O planejamento amostral considera a identificação da população (N) para a qual se deseja que as conclusões da pesquisa sejam válidas. Para cálculo do tamanho de uma amostra representativa da população (N) considerou-se o número total de residentes em torno das áreas de abrangência das estações de monitoramento da qualidade do ar da RMGV, uma vez que o objetivo é correlacionar a opinião dos respondentes com as medidas de concentração de poluentes monitorados nas respectivas estações de qualidade do ar.

Para identificar a população (N) de interesse utilizou-se um método de análise de imagem, o qual consiste em combinar o uso de um pacote computacional de sistema de informações geográficas (Software ArcGIS) e informações da população de cada região censitária, conforme o último censo (realizado em 2010) disponíveis no site do IBGE. A Figura 4-9 apresenta a delimitação da população ao redor de cada estação pertencente à RAMQAr bem como as regiões censitárias gerada pelo software ArcGIS. Neste trabalho, as áreas de abrangência são as sub-regiões ao redor de 1,5 km de cada estação de monitoramento da qualidade do ar, a fim de minimizar as intersecções entre as mesmas.

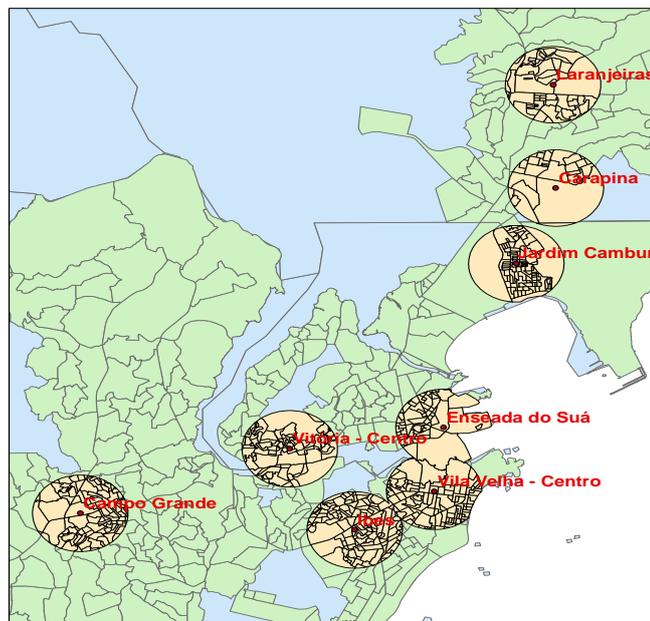


Figura 4-9 Delimitação da área em torno das estações de monitoramento e demarcações da população por regiões censitárias

O tamanho de cada população (N) em torno das estações de monitoramento de qualidade do ar foi calculado por meio da soma do número de residentes em cada área censitária, conforme mostrado na Figura 4-9. Os valores obtidos e os percentuais proporcionais de cada sub-região estão apresentados na Tabela 4-3. Vale ressaltar que, os dados de habitantes das regiões censitárias pertencentes às Ilhas do Boi e do Frade foram considerados pertencentes à sub-região no entorno da estação Enseada do Suá.

Tabela 4-3 - Número de habitantes e percentual ao redor das estações de monitoramento da qualidade do ar

Região de Monitoramento	População (N)	Percentuais (%)
Laranjeiras	37.509	8,13%
Carapina	34.158	7,40%
Jardim Camburi	36.504	7,91%
Enseada do Suá	41.504	9,00%
Centro de Vitória	59.638	12,93%
Centro de Vila Velha	85.563	18,54%
Ibes	95.052	20,60%
Cariacica	71.473	15,49%
<i>Total</i>	<i>461.401</i>	<i>100,00</i>

Barbetta (2008) ressalta que em grandes populações, como ocorre no presente estudo, é recomendável realizar uma amostragem, ou seja, a seleção de uma parte da população para ser observada e que garanta sua representatividade. Devido a diferenças proporcionais na composição da população alvo, utilizou-se a técnica denominada amostragem estratificada simples com alocação proporcional (BARNETT, 1991), cujas equações são apresentadas na sequência - Eq. 4-2 e Eq. 4-3.

$$n \geq N \left[1 + \frac{(N-1)}{P(1-P)} \left(\frac{d}{z_{\alpha}} \right)^2 \right]^{-1} \quad \text{Eq. 4-2}$$

$$n_i = \frac{N_i}{N} \times n \quad \text{Eq. 4-3}$$

Nas Eq. 4-2 e Eq. 4-3, n é o tamanho da amostra; N é o tamanho total da população; N_i é o tamanho da população na região i ; n_i é o tamanho da amostra na região i ; z_{α} é o nº de unidades de desvio padrão de acordo com a probabilidade e nível de confiança, neste caso 95%; α é o nível de significância; P é a proporção populacional; d é a margem de erro tolerável definida como 0,05.

Assume-se $P = 0,5$, para garantir a maior variância na população. A escolha do erro $d = 0,05$ considerou que a região da pesquisa é homogênea e de tamanho delimitado, além de garantir a representatividade espacial. Assim, o tamanho mínimo da amostra (respondentes), calculado e distribuído proporcionalmente para cada sub-região em torno das estações de monitoramento da qualidade do ar, é apresentado na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 - Tamanho da amostra para pesquisa face a face separado por região e proporções

Região de Monitoramento	Amostra (n)	Percentuais (%)
Laranjeiras	31	8,13
Carapina	28	7,40
Jardim Camburi	31	7,91
Enseada do Suá	35	9,00
Centro de Vitória	50	12,92
Centro de Vila Velha	71	18,54
Ibes	79	20,60
Campo Grande	59	15,49
<i>Total mínimo</i>	<i>384</i>	<i>100,00</i>

Conforme Barbetta (2008), quando a população em estudo é a humana, é comum não conseguir a resposta de alguns elementos da amostra, pois nem sempre todos os selecionados se dispõem a responder o questionário. Como não havia conhecimento prévio do interesse da população em participar da pesquisa, decidiu-se por ser mais conservador e aumentar o tamanho da amostra. Esta decisão foi previamente planejada para garantir o maior número de respondentes nas entrevistas por telefone, pois final da entrevista face a face o respondente poderia aceitar ou não participar da pesquisa mensal por telefone.

O planejamento considera também o número de entrevistadores por cada sub-região, o número de entrevistas por dia e o total de entrevistas por semana. A Tabela 4-5 apresenta o resultado final dos cálculos planejados para metas diárias e semanais por região, e o tamanho total de entrevistas realizadas em cada pesquisa face a face.

Ao todo 2638 respondentes participaram de cinco pesquisas face a face, sendo que a primeira aconteceu em julho de 2011, a segunda em janeiro de 2012, a terceira em janeiro de 2013, a quarta em julho de 2013 e a quinta em novembro de 2013.

Tabela 4-5 – Planejamento do número de entrevistadores e número de entrevistas face a face por região

Região de monitoramento	Número de Entrevistadores	Número de entrevistas por dia	Total de entrevistas na semana
Laranjeiras	1	7	49
Carapina	1	6	42
Jardim Camburi	2	10	70
Enseada do Suá	1	7	49
Centro de Vitória	1	8	49
Centro de Vila Velha	2	12	84
Ibes	2	12	84
Cariacica	2	12	84
<i>Total planejado</i>	12	73	518

Pesquisa de opinião por telefone (painel)

Na pesquisa painel por telefone a variável de interesse é o incômodo causado pela poluição do ar (uma vez que o objetivo do painel é obter dados da percepção mensal do incômodo causado pela poeira e correlacionar com a taxa de deposição de partículas).

Para cálculo do tamanho mínimo da amostra, foram considerados os resultados das pesquisas face a face, onde cerca de 90% dos respondentes reportaram sentir-se pelo menos um pouco incomodados e apenas 10% relataram nada incomodados (detalhes em Barbetta, 2008). Conseqüentemente, nas Eq. 4-2 e Eq. 4-3 adotou-se $P=0,9$ (90% da população incomodada), fixou-se o nível de confiança em 95%, o erro amostral tolerável foi mantido em $d=0,05$. A Tabela 4-6 apresenta o tamanho da amostra mínima necessária para as pesquisas por telefone (painel), separado proporcionalmente para cada sub-região.

Tabela 4-6 - Tamanho da amostra pesquisa painel por telefone

Sub-regiões	n	Percentual (%)
Laranjeiras	11	7,71%
Carapina	8	5,73%
Jardim Camburi	20	14,44%
Enseada do Suá	11	8,17%
Centro de Vitória	15	10,79%
Centro de Vila Velha	23	16,63%
Ibes	26	18,66%
Cariacica	25	17,87%
<i>Total mínimo</i>	138	100,00%

Na prática, foi considerado o número de respondentes interessados em dar continuidade à participação na pesquisa, cerca de 80% do total de respondentes da pesquisa face a face. Entretanto, com o passar dos meses o tamanho da amostra sofreu alterações ou perdas, causadas

por troca do número do telefone do respondente, desistência de participar da pesquisa ou mudança de endereço do respondente. Tais perdas foram por sua vez supridas por meio da aceitação de novos respondentes nas outras pesquisas face a face realizadas posteriormente.

4.4 Execução da coleta de dados

As pesquisas (face a face e painel por telefone) foram executadas pela UFES e pela empresa Qualitest, que atua no segmento de pesquisas e estatística. Foram realizadas cinco pesquisas face a face, em julho de 2011, janeiro de 2012, janeiro de 2013, julho de 2013 e novembro de 2013. As pesquisas de julho de 2011, janeiro de 2012 e novembro de 2013 foram executadas por estudantes dos cursos de Engenharia Ambiental, e Estatística da UFES e as pesquisas de janeiro de 2013 e julho de 2013, pela Qualitest. A pesquisa por telefone foi realizada no período de agosto de 2011 a agosto de 2014, pela UFES e Qualitest. Os entrevistadores foram selecionados por três critérios principais: interesse pela pesquisa, conhecimento prévio da sub-região e experiência. Este último foi considerado apenas um critério classificatório, pois muitos alunos dos cursos de Engenharia Ambiental e Estatística da UFES tiveram interesse, mas não tinham experiência.

Todos os entrevistadores selecionados receberam treinamento sobre a aplicação dos questionários, as técnicas de abordagem, o uso e manuseio das escalas de respostas de cada pergunta, o preenchimento correto do questionário, e sobre a digitalização dos dados em planilhas do Excel. Todos os entrevistadores foram orientados a escolher aleatoriamente os logradouros, respeitando a distribuição e o raio de abrangência de cada sub-região, ter o cuidado de não entrevistar mais do que dois residentes em um mesmo edifício, evitar vizinhos de lado na mesma rua, afastar-se circularmente nas ruas em torno das estações de forma a garantir a distribuição espacial. Antes da execução da pesquisa de opinião face a face, todos os entrevistadores visitaram às áreas de abrangência da sub-região na qual atuaria. Durante o período de aplicação dos questionários fizeram uso de mapas das ruas e avenidas ao redor das sub-regiões, bem como uso de celular e ou telefone público, caso tivessem dúvidas.

Ao final de cada pesquisa face a face, 20% de questionários respondidos foram selecionados aleatoriamente a fim de confirmar a participação dos respondentes na pesquisa. Não foi identificada qualquer irregularidade no que se refere à validação dos respondentes nas

pesquisas. E, ainda, 100% dos questionários foram conferidos quanto ao preenchimento e lançamento das respostas nos bancos de dados.

A coleta de dados da pesquisa por telefone (painel) foi realizada sempre na última semana de cada mês, no período de agosto de 2011 a outubro de 2014. Os entrevistadores foram treinados sobre as técnicas de abordagem por telefone e foram orientados a sempre reforçar a importância de participação do respondente, para que o mesmo não desistisse de participar das entrevistas. Ainda assim, foi registrada ocorrência de perdas no tamanho da amostra, causadas principalmente por dificuldades em contatar o respondente, mudança de número de telefone, mudança de endereço, desistência de participar da pesquisa e ligações interrompidas. Todas as perdas foram registradas e reposições foram feitas, com a inclusão de novos participantes após as pesquisas face a face realizadas posteriormente. Para as análises, meses com dados insuficientes ou não representativos foram desconsiderados.

Do total de respondentes em cada pesquisa face a face, aproximadamente 80% aceitaram dar continuidade à pesquisa painel por telefone, dos quais foi estabelecido contato com cerca de 319 nos meses seguintes ao fim de cada pesquisa (detalhes das notas mensais atribuídas ao incômodo estão disponíveis no Apêndice C).

4.5 Aplicação de técnicas estatísticas

Esta seção tem o propósito de apresentar alguns conceitos e técnicas estatísticas aplicados aos dados do presente estudo. A aplicação das técnicas estatísticas foram planejadas conforme a obtenção dos dados e, como já mencionado, no capítulo da introdução, todos resultados das técnicas aplicadas, análises e discussões estão apresentados em formato de artigos científicos no capítulo de Resultados.

As análises estatísticas consideram, por exemplo, cálculos de estatísticas descritivas (média, mediana, máximos, mínimos, desvio padrão, variância, percentis) a fim de sumarizar e organizar a apresentação dos resultados. Além da aplicação de técnicas como teste qui-quadrado, análise de correspondência múltipla, regressão logística simples e múltipla e análise de componentes principais (Encontra-se disponível no Apêndice D detalhes teóricos das técnicas adotadas).

A aplicação do teste qui-quadrado de associação tem o propósito de verificar a relação entre variáveis sociodemográficas obtidas nas pesquisas de opinião face a face conduzidas em Dunkerque (França) e em Vitória (Brasil). Bussab e Morettin (2010) definem o teste Qui-quadrado como sendo uma medida que quantifica por meio de um número, a associação entre duas variáveis.

O cálculo do valor da razão de chance (*odds ratio*) possibilita comprovar a relação entre as variáveis, isto é, o quanto as variáveis selecionadas contribuem para a explicação dos níveis de incômodo (pouco e muito incomodados) relatados pelos participantes das pesquisas face a face. Como exemplo de interpretação, para o valor de *odds ratio* maior do que 1 indica que, a cada uma unidade de aumento na variável independente (concentração do material particulado, por exemplo) aumentaria a chance/possibilidade de ocorrência de relatos de incômodo percebido. Para *odds ratio* menor do que 1, indica que a cada aumento de uma unidade na concentração do poluente iria diminuir as chances de incômodo e, no caso do valor de *odds ratio* igual a 1 não há qualquer relação entre as variáveis.

A aplicação da técnica Análise de Correspondência Múltipla foi conduzida como um diferencial para análise das variáveis qualitativas e as associações com os níveis de incômodo percebido pelos respondentes. A análise de correspondência múltipla (ACM) é uma técnica da análise multivariada para se examinar relações entre dados categóricos (GREENACRE, 2007). Dados categóricos são decorrentes de variáveis categóricas, ou seja, aqueles que identificam para cada caso uma categoria de resposta (por exemplo, nada, pouco, moderado, muito). O objetivo da técnica ACM é analisar graficamente as relações existentes entre os dados, por exemplo as similaridades entre as categorias de uma variável, associações com categorias de diferentes variáveis, e com as categorias e os indivíduos. Assim, pode-se estudar as categorias representando as variáveis e grupos de indivíduos.

Para aplicação da ACM o banco de dados é organizado em planilha formada pelos respondentes (linhas) *versus* as perguntas (colunas). Cada respondente pôde escolher uma e somente uma categoria de resposta para cada variável (pergunta do questionário) e o mesmo critério de codificação foi adotado para todas as variáveis de interesse para análise através da ACM (Tabela 4-7).

Tabela 4-7 – Descrição das variáveis de interesse para aplicação da ACM

Variável	Descrição	Categorias de resposta
ANNOY	Incômodo	ANNOY 1: Nada incomodado ANNOY 2: Pouco incomodado ANNOY 3: Moderado incômodo ANNOY 4: Muito/ extremamente incomodado ANNOY 9/99: Não sabe/Não respondeu
IMP	Importância da qualidade do ar	IMP 1: Nada importante IMP 2: Pouco importante IMP 3: Moderadamente importante IMP 4: Muito/ extremamente importante IMP 9/99: Não sabe/Não respondeu
RISK	Percepção do risco industrial	RISK 1: Nada exposto RISK 2: Pouco exposto RISK 3: Moderadamente exposto RISK 4: muito / extremamente exposto RISK 9/99: Não sabe/Não respondeu
AIRQ	Avaliação da qualidade do ar	AIRQ 1: Excelente AIRQ 2 : Boa AIRQ 3 : Ruim AIRQ 4 : Péssima AIRQ 9/99 : Não sabe/Não respondeu
PPOL	Percepção da poeira	PPOL 1: Nunca PPOL 2: Às vezes PPOL 3: Frequentemente PPOL 4: Sempre PPOL 9/99: Não sabe/Não respondeu
HEFE-	Ocorrência de problemas de saúde causados pela poluição do ar	HEFE-1: Não HEFE-2: Sim HEFE-9/99: Não sabe/Não respondeu
HPROB	Problemas na saúde	HPROB-1: Dificuldade respiratória/ tosse HPROB-2: Câncer HPROB-3: Alergias HPROB-4: Bronquites HPROB-6: Asma HPROB-7: Irritação nos olhos HPROB-8: Stress HPROB-9: outros HPROB-9/99: Não sabe/Não respondeu
SOURCE	Identificação das fontes de poluição predominantes em sua região	SOURCE-1 : Vehicular SOURCE-2 : Industrial SOURCE-3 : Suspensão do solo SOURCE-4 : Construção civil SOURCE-5 : Brisa do mar SOURCE-6: Outros SOURCE-9/99: Não sabe/Não respondeu
METEO	A poluição depende de fatores meteorológicos	METEO-1: sim METEO-2: não METEO-9/99: Não sabe/Não respondeu
SEASON	Estação do ano em que a poluição é pior	SEASON-1: Verão SEASON-2: Outono SEASON-3: Inverno SEASON-4: Primavera SEASON-9/99: Não sabe/Não respondeu
DN	A poluição pior de dia ou de noite	DN-1: sim DN-2: Não DN-99: Não sabe/Não respondeu

A implementação da ACM é feita por meio de tabelas multidimensionais e com o uso do software XLSTAT-2015, onde cada célula preenchida representa uma categoria de resposta, que foi a resposta atribuída pelo respondente para cada questão. As perguntas são, portanto, as

variáveis de interesse, enquanto as opções de resposta são as categorias. Por exemplo, para a pergunta “O quanto o Sr(a). se sente incomodado com a poluição do ar?”, a variável incômodo possui as seguintes categorias de resposta: nada, pouco, moderado, muito e extremamente incomodado. Cada categoria de resposta foi codificada e cada célula da tabela foi preenchida com o código da categoria escolhida pelo respondente, como por exemplo: nada incomodado (ANNOY-1); pouco incomodado (ANNOY-2); moderadamente incômodo (ANNOY-3); muito e extremamente incomodado (ANNOY-4) com a possibilidade de considerar respostas “em branco” ou a opção “não sabe/não respondeu” (ANNOY-9/99).

Os resultados gerados pela aplicação da ACM são apresentados por meio dos mapas de correspondência e tabelas de parâmetros, os quais serão melhor descritos e explicados no decorrer do presente estudo.

Outra ferramenta adotada para análise dos dados é modelagem por meio da regressão logística que tem o objetivo de analisar a relação entre o incômodo relatado pelos respondentes das pesquisas (face a face e painel) e os níveis de concentração de material particulado (MP_{10} , PTS e PS) medidos em casa sub-região de interesse.

A Regressão logística é uma técnica estatística usada para modelagem de dados, principalmente quando a variável dependente é qualitativa e expressa por meio de duas ou mais categorias. Ou seja, quando admite-se dois ou mais valores ou categorias, como acontece no caso do incômodo. As categorias (ou valores) que a variável dependente assume pode possuir natureza nominal ou ordinal. Detalhes encontram-se descritos em Agresti (1990), Hosmer, Lemeshow e Sturdivant (2000) e Abraham e Ledolter (2006).

Foram amostrados, independentemente, n_1 indivíduos que relataram se sentir pelo menos um pouco incomodados com a poluição do ar ($x=1$) e n_2 indivíduos que relataram sentir-se nada incomodados ($y=0$). Considere $\pi(x)$ a probabilidade de sentir-se pelo menos um pouco incomodado quando exposto a níveis gradativos de concentração de material particulado (MP_{10} , PTS e PS). De acordo com Abraham e Ledolter (2006), assume-se que a variável resposta y_i para os casos i tem distribuição de Bernouilli, com probabilidade de “sucesso” (incomodado) e “fracasso” (nada incomodado), dado o valor x de uma variável explicativa qualquer.

O parâmetro π define a média da distribuição $E(y_i) = \pi$.

No modelo de regressão logística a probabilidade de sucesso é função de (x) . Assim, $\pi = \pi(x)$ então para todo i em x_i , $\pi_i = \pi(x_i)$ a probabilidade de sucesso é,

$$P(Y_i = y_i) = f(y_i) = \binom{n_i}{y_i} [\pi(x_i)]^{y_i} [1 - \pi(x_i)]^{n_i - y_i}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Eq. 4-4}$$

com média $E(y_i) = n_i \pi(x_i)$. Assim, a probabilidade $\pi(x_i)$ pode ser parametrizada como (Eq. 4-5):

$$\pi(x_i) = \frac{e^{x_i' \beta}}{1 + e^{x_i' \beta}} = \frac{1}{1 + e^{-x_i' \beta}} \quad \text{e} \quad 1 - \pi(x_i) = \frac{e^{-x_i' \beta}}{1 + e^{-x_i' \beta}} = \frac{1}{1 + e^{x_i' \beta}} \quad \text{Eq. 4-5}$$

onde $x_i' \beta = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip}$. As probabilidades são funções não lineares dos parâmetros β .

A função logística é perfeitamente aplicável ao problema do incômodo causado pela poluição do ar e expressa a probabilidade do efeito (Eq. 4-6):

$$P(y = 1) = \pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \quad \text{Eq. 4-6}$$

Assim, a probabilidade $P(y=1)$ fornece a estimativa do percentual de indivíduos incomodados quando expostos a certo nível (x) de concentração de material particulado.

A aplicação da regressão logística múltipla tem o propósito de investigar o efeito combinado de mais de um poluente (no caso definiu-se pode avaliar as diferentes frações de medir o material particulado, pela concentração de MP_{10} , PTS e PS). Para viabilizar a referida aplicação é necessário atender aos pressupostos de independência do modelo de regressão. Assim, para satisfazer propõem-se a aplicação da técnica denominada análise de componentes principais (ACP), além do uso do filtro autoregressivo de ordem 1 (VAR-1) por tratar-se de séries temporais autocorrelacionadas (como será exposto no capítulo de resultados).

Conforme Johnson e Wichern (2006) a análise de componentes principais (ACP) é uma técnica estatística multivariada que se preocupa em explicar a estrutura de variância-covariância de um conjunto de variáveis, por meio de poucas combinações lineares dessas variáveis. Considerando que haja p componentes requeridas (no caso cinco formas de medir o material particulado) para reproduzir a variabilidade total de um sistema, a maior parte dos dados originais pode ser contabilizada por um número menor de k componentes principais.

As componentes principais são combinações lineares de p variáveis aleatórias X_1, X_2, \dots, X_k (MP₁₀ e PTS média e máxima mensal, e PS). Geometricamente, estas combinações lineares representam a seleção de um novo sistema de coordenadas, pela rotação do sistema original, com X_1, X_2, \dots, X_p . Os novos eixos rotacionados possuem as direções com máxima variabilidade e fornecem uma estrutura de covariância mais simples e mais parcimoniosa. Para desenvolvimento da ACP não requer a suposição de normalidade multivariada, e depende unicamente da matriz de covariância (Σ) ou da matriz de correlação (ρ) de X_1, X_2, \dots, X_p (Johnson e Wichern, 2006).

Em continuidade às análises estatísticas, esse trabalho apresenta o cálculo do risco relativo de incômodo. Assim como o *odds ratio* (OR), o risco relativo (RR) também é uma medida de associação entre o fator de risco e o desfecho.

O RR é calculado para estimar a magnitude entre a exposição ao fator de risco (a concentração de material particulado) e o desfecho (percepção do incômodo). O RR é aqui definido como a razão entre os respondentes incomodados expostos à poluição do ar dividido pela razão dos respondentes incomodados não expostos à poluição do ar (BAXTER et al., 1997; WAGNER e JACQUES, 1998; SOUZA, 2013). No capítulo de resultados será apresentado os valores do RR de incômodo para cada forma de material particulado considerada MP₁₀, PTS e PS.

5. Resultados

Este capítulo está organizado em forma de cinco artigos científicos. O primeiro artigo, intitulado “*Annoyance caused by air pollution in urban industrialized regions*”, examina os níveis de percepção do incômodo causado pela poluição do ar e percepção de risco à saúde em duas diferentes regiões urbanas e industrializadas. O propósito é estabelecer associações entre o incômodo percebido e a influência de alguns fatores tais como, as características geográficas, sociodemográficas e climáticas. Este artigo reforça estudos que exploram fatores determinantes do incômodo causado pela poluição do ar e contribui no sentido da importância em considerar a opinião da população para investigação do problema.

O segundo artigo, intitulado “*Deconstruction of annoyance due to air pollution by multiple correspondence analyses*”, explora o problema do incômodo causado pela poluição do ar e sua relação com variáveis categóricas de interesse. O artigo apresenta como contribuição a análise das variáveis qualitativas associadas ao incômodo percebido por meio da aplicação da técnica denominada análise de correspondência múltipla como um diferencial em estudos sobre incômodo causado pela poluição do ar.

O terceiro artigo, intitulado “*Investigation of parameters related to annoyance due air pollution: A survey study em Vitória region- Brasil*”, apresenta um estudo de caso sobre o incômodo causado por material particulado através de uma análise exploratória em oito sub-regiões da região metropolitana da Grande Vitória. Este artigo contribui com uma análise das variáveis sociodemográficas e fatores de interesse, observados por meio da aplicação de questionários, além de estimar um modelo exposição-resposta entre níveis de concentração de MP₁₀ e PTS e o incômodo percebido pelos respondentes.

O quarto artigo, “*Development of a survey for study of annoyance caused by settled dust: The Guideline threshold*”, apresenta um guia de boas práticas adotadas para quantificação da relação entre o incômodo percebido e a taxa de deposição de partículas. O propósito é sugerir diretrizes de qualidade do ar para partículas sedimentadas e contribuir com informações relevantes para definição de padrão de qualidade do ar na Região Metropolitana da Grande Vitória. Os resultados obtidos foram também apresentados e entregue ao órgão ambiental local, Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES).

Finalmente, o quinto artigo, “*Application of principal component analysis and logistic regression to investigate annoyance caused by particulate matter*”, apresenta uma análise das séries temporais dos poluentes, partículas sedimentadas (PS), MP_{10} e PTS monitorados na região da grande Vitória. O objetivo é investigar a relação combinada dos poluentes (PM_{10} , PTS e PS) com a percepção do incômodo observada mensalmente por meio de entrevistas mensais realizadas por telefone. O artigo contribui em termos práticos e metodológicos uma vez que apresenta a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas como, a modelagem de séries temporais e a aplicação de análise de componentes principais (ACP) a fim de garantir a independência das covariáveis requerida no modelo de regressão logística múltipla.

5.1 Incômodo causado pela poluição do ar em regiões metropolitanas industrializadas

O desenvolvimento do presente artigo se dá por meio de uma análise comparativa entre duas regiões de interesse, a comunidade urbana de Dunkerque, na França e a região da grande Vitória, no Brasil. Como já mencionado no capítulo da metodologia, o questionário desenvolvido e aplicado em Dunkerque no ano de 2008 foi analisado, adaptado e reformulado à realidade da RMGV e, aplicado pela primeira vez na pesquisa de opinião realizada em julho de 2011.

Por meio da seleção das principais perguntas e respostas do questionário, definiu-se como objetivo específico comparar os resultados obtidos entre as duas regiões (Dunkerque na França e Vitória no Brasil). A proposta considera relevante identificar fatores geográficos, hábitos do cotidiano, características socioeconômicas e climáticas, que podem influenciar a percepção dos níveis incômodo causado pela poluição do ar.

Tal investigação resultou no artigo intitulado “*Annoyance caused by air pollution in urban industrialized regions*”. A contribuição consiste na análise multivariada de variáveis determinantes dos níveis de incômodo (pouco/moderado e muito/ extremamente) mensurados por meio de pesquisas de opinião conduzidas em duas regiões metropolitanas industrializadas, localizadas em contextos geográficos, socioeconômicos e climáticos distintos, mas que vivenciam os mesmos problemas causados pela poluição do ar.

Os resultados mostram que as variáveis determinantes da percepção dos elevados níveis (muito/extremamente) de incômodo foram: importância da qualidade do ar, percepção da poluição pela presença de poeira, exposição ao risco e gênero feminino. As diferenças observadas foram atribuídas às características econômicas e hábitos do cotidiano, que se diferem entre as duas regiões.

O abstract expandido desse artigo foi já publicado no “*International Journal of Medical, Health, Biomedical and Pharmaceutical Engineering Vol:9, No:2, 2015*”. E o artigo completo, a seguir, foi submetido ao jornal “*Environmental Science and Pollution Research*” e encontra-se em análise pelos revisores.

ANNOYANCE CAUSED BY AIR POLLUTION IN URBAN INDUSTRIALIZED REGIONS

Milena Machado de Melo^{1,*}, Jane Meri Santos², Severine Frere³, Phillippe Chagnon³, Valderio Anselmo Reisen⁴, Ilias Mavroidis⁵, Neyval Costa Reis Junior²

Instituto Federal do Espírito Santo, Guarapari, Brazil⁽¹⁾

Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Environmental Engineering, Vitoria, Brazil⁽²⁾

Université du Littoral Côte d'Opale, Maison de la Recherche en Science de l'homme, Dunkerque, France⁽³⁾

Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Statistic, Vitoria, Brazil⁽⁴⁾

Hellenic Open University, Patras, Greece⁽⁵⁾

Abstract

The adverse health effects of atmospheric pollutants such as airborne particulate matter are well documented during the last two decades. The World Health Organization defines health as a “state of complete physical, mental, and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity”. Therefore, annoyance caused by air pollution is a public health problem as it can be an ambient factor causing stress and disease and affect the quality of life. The aim of this paper is to examine the levels of perceived air pollution annoyance and health risk in two different industrialised urban areas and to establish associations between the perceived annoyance and specific factors associated to air quality and demographic characteristics. Surveys were conducted in two industrialized regions where the populations often report feeling annoyed by air pollution, namely Dunkirk in France and Vitoria in Brazil. The results show that women reported feeling more annoyed than men, while people more than 55 years old and employed respondents also reported high levels of annoyance. The qualitative variables that were identified as determinants of perceived high levels of annoyance are the importance of perceived air quality, the perceived exposure to industrial risk, the perceived air pollution by dust and gender, with women feeling more annoyed than men. The differences observed between the two urban areas, with the reported occurrence of health problems and the age being significant annoyance determinants in Vitoria but not in Dunkirk, are mainly attributed to cultural and economic characteristics of the two populations and could be the subject of further investigation.

Keywords: air pollution, annoyance, industrial risk, public health, perception of pollution, settled dust.

1.Introduction

Complaints about air pollution are usually related to visible or odorant pollutants (Vallack and Shillito, 1998, Klæboe et al., 2000, Rotko et al., 2002, Jacquemin et al., 2007, Amundsen et al., 2008, Blanes-Vidal et al., 2012), regardless to their chemical composition or toxic effects. Reactions to the presence and the effects of air pollution may differ among individuals depending on the intensity of odour/smell, dirtiness in household and presence of symptoms that cause annoyance, such as eye irritation, sore throat, cough and allergic reaction (Klæboe et al., 2008).

The concept of environmental annoyance is complex and subjective; it can be experienced as a perception, an emotion, an attitude or a mixture of these (Berglund et al., 1987). Lindvall and

Radford (1973) defined annoyance as “a feeling of displeasure associated with any agent or condition known or believed by individuals or groups to adversely affect them” and annoyance may be associated with other negative emotions (e.g., anger, disappointment, dissatisfaction, helplessness, anxiety, agitation) and behavioural/social changes (e.g., interference with intended activities) (Blanes-Vidal et al., 2012). The World Health Organization (WHO) defines health as a state of complete physical, mental, and social well-being, and not merely as the absence of disease or infirmity (WHO, 2006). According to this, annoyance caused by air pollution can be considered as a health problem and an ambient stressor that affects the quality of life.

Perceived annoyance is likely to be influenced by several factors, such as risk perception (Petrie et al., 2001) and health symptoms, like pulmonary, eye, nose and throat irritation (Stenlund et al., 2009), occurrence of health problems (Oglesby et al., 2000), psychological effects (Llop et al., 2008), location of residence (Rotko et al., 2002), socio-demographic situation (Jacquemin et al., 2007), access to information about air pollution levels (Klaeboe et al., 2008), perception of dust levels and assessment of air quality (Hyslop, 2009; Kim, et al., 2012; Blanes-Vidal et al., 2012).

Although there are some studies correlating annoyance levels and concentration of air pollutants, to have a better understanding of this relation it is important to consider individual characteristics, attitudes and locality context. Elliott et al. (1999) assessed levels of annoyance and health concerns associated with perception of air pollution, particularly due to black soot. Oglesby et al. (2000) reported strong association between levels of annoyance and concentration of an air pollutant (NO₂). Klaeboe et al. (2000) indicated that the higher the road traffic noise levels people are exposed to, the more likely they are to be highly annoyed by exhaust gas smell at a specified air pollution level. Rotko et al. (2002) found significant associations between levels of annoyance caused by air pollution due to traffic and home outdoor concentrations of air pollutants (PM_{2.5} and NO₂) but they also found that the levels of annoyance were not correlated with average exposure levels of NO₂ in a city. The main reason for the low correlation between perceived annoyance and air pollutant concentrations may be explained by the differences in individual characteristics (Kim et al., 2012). Forsberg et al. (1997) showed that heavy traffic is an important predictor for perceived air pollution.

Jacquemin et al. (2007) showed that annoyance can be related to gender, socioeconomic status, respiratory problems, smoking, and exposure to vehicular traffic. According to Hyslop (2009), the annoyance caused by air pollution is also related to the perception of the amount of dust in urban and residential areas. According to Österberg et al. (2007) and Eek et al. (2010), people

who report environmental annoyance may also report higher degree of dissatisfaction with respect to their employment status situation, more frequent fatigue after work, and a greater, often unfulfilled, need for recovery. Egondi et al. (2013) found that the level of education, the lack of information about air quality and the polluted work locations are determinant factors for perceived air pollution.

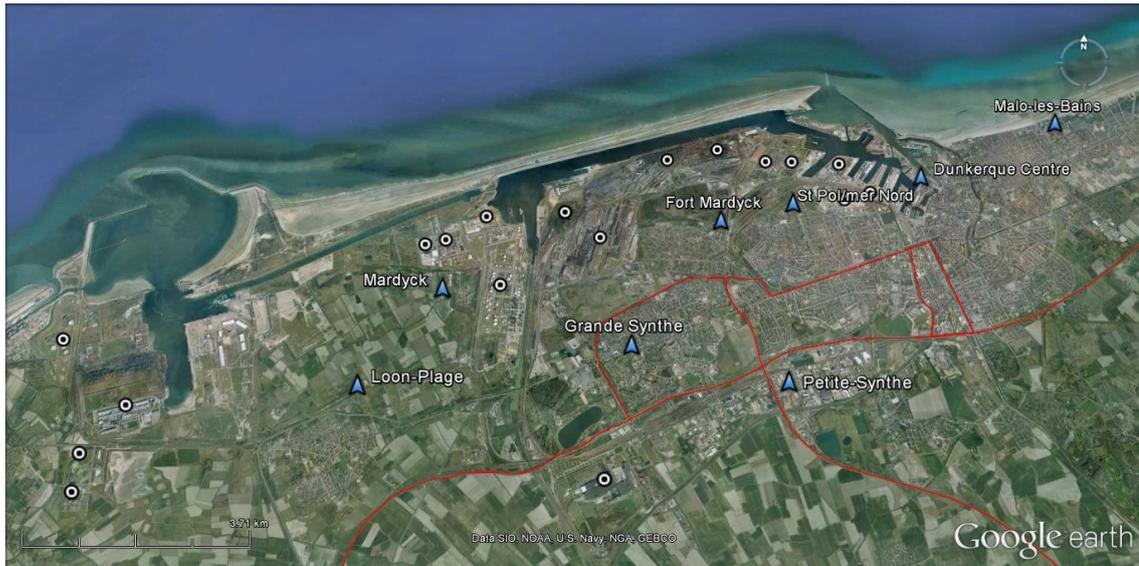
The objective of this work is to examine the perceived annoyance caused by air pollution in two urban industrialized regions and to investigate the sociodemographic characteristics and other variables (such as industrial risk perception, air quality perception, perceived importance of air quality, perception of dust and odour, perceived sources of air pollution, reported health effects caused by air pollution and perceived influence of season/weather conditions) as possible determinants of annoyance. The study also allows comparisons of the examined parameters in the two study areas.

2. The study areas: Dunkirk and Vitoria

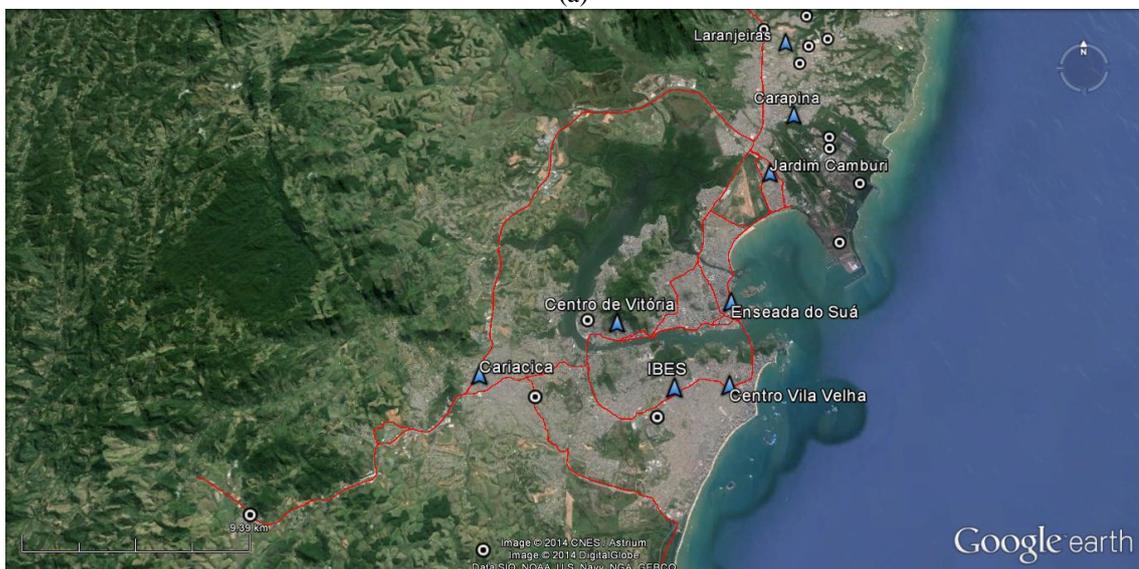
This study is set in two urban and industrialized metropolitan regions, namely Dunkirk (France) and Vitoria (Brazil). Figure 1 shows the maps of Dunkirk (Figure 1a) and Vitoria (Figure 1b) regions and the location of the larger industrial sources, main roads and air quality monitoring stations (Calvo-Mendieta et al., 2008; Santos and Reis, 2011). These are two port-cities that developed due to their hinterland's wealth. Vitoria's port, originally settled inside the bay, spreads itself along a coastline and adapted itself to the oilfields, whereas Dunkirk's port expands towards its hinterland with river and train connections. Mining industry in the hinterland, corporate groups and the other companies inside their territories, creating or redefining inter-city strategy, territorial solidarity, city-port synergy, an urban dynamic that's based on the ports moving and on old city-centers that are affected by the port's evolution: Vitoria and Dunkirk's development is very similar. Since 2009 the two cities signed an international cooperation in order to develop a variety of events, organizing projects in the realm of culture, economy, port activities, urban development and universities (Les ateliers, 2010).

The metropolitan area of Dunkirk has approximately 210,000 inhabitants and is located on the northern coast of France in the Nord-Pas-de-Calais region. Dunkirk is a densely populated area (2,503.7 hab/km²) with the third largest port in France and has many industrial sites, such as an oil refinery, a steel plant, food, pharmaceutical and chemical industries as well as a nuclear power station for electricity production.

The metropolitan area of Vitoria, with approximately 1,500,000 inhabitants, is located on the south-eastern coast of Brazil. This region is very density populated (3,539.6 hab/km²), comprises the third largest port system in Latin America and has many industrial sites including a steel plant, an iron ore pellet mill, stone quarrying, cement, food, pharmaceutical and chemical industries, an asphalt plant, etc. In recent years, the region of Vitoria has experienced a process of economic growth and increased industrial production as well as urban development.



(a)



(b)

Figure 1. Geographic location of main highways, main sources of particulate matter (circle) and air quality monitoring stations (triangle) in metropolitan area of (a) Dunkirk and (b) Vitoria regions.

The population in both regions often report being annoyed by air pollution (mainly airborne particles and settled dust) mainly emitted by similar industrial sources. According to a report concerning the industrial risk perception in Dunkirk (Calvo-Mendieta et al., 2008), air pollution is cited as the first environmental problem by its inhabitants, followed by water and soil

pollution. Despite significant efforts to improve air quality in Dunkirk, citizen associations and residents complain of dust accumulation in their gardens and homes (Atmo Nord-Pas-de-Calais, 2009, 2010). In Vitoria, according to Souza (2011), more than 24% of the complaints to the environmental agency refer to air pollution. Another study by Trindade et al. (2006) for the region of Vitoria, showed that a significant part of its inhabitants (i.e. more than 83% of respondents) reported annoyance due to settled dust in their homes.

3. Materials and methods

In Dunkirk, the survey was conducted in 2008 (late April to early July) with a representative sample of 518 people (over 18 years old) interviewed using face-to-face questionnaires. For this survey, the urban community was grouped into 10 zones in which the sample size was proportionally distributed according to three criteria: sex, geographic location (near or far from industries), and socio-professional category. The questionnaire consisted of 249 questions concerning different themes, but only 105 concerning the perceived industrial risk and perceived air pollution. From these 105 questions, 50 were selected to be applied in the survey conducted in Vitoria region.

In the present study, only the main closed-ended questions, which were common to both study areas, are examined. Closed-ended questions can be answered by choosing an option, for example, not annoyed, annoyed, very annoyed. Interviewers were instructed to register the answers using the exact words spoken by each respondent, to ensure their opinion was recorded accurately (De Singly, 2008, Fenneteau, 2002). In the Vitoria region the survey was conducted in July 2011, the sample size was determined by using a simple random sampling with proportional allocation method (Cochran, 1977) totaling 515 individuals (over 16 years old), which were distributed proportionally in the areas around the air quality monitoring stations.

The perceived annoyance was evaluated using questions such as: "Do you feel annoyed by air pollution?" with the following response options in a Likert-type scale: not annoyed, slightly annoyed, moderately annoyed, very annoyed and extremely annoyed. The perceived annoyance is a qualitative variable, but the qualitative answers were then recorded in a numerical 3-point scale (1 for not annoyed; 2 for slightly and moderately annoyed; and 3 for very and extremely annoyed) to facilitate the interpretation of results. In addition to perceived annoyance, the following variables were evaluated in the same manner: perceived air pollution, perceived industrial risk, importance of air quality, assessment of air quality, occurrence of health effects, perceived weather conditions, perceived sources of air pollution and, finally, sociodemographic aspects (gender, age, level of education, occupation, number of children).

The results will be presented using descriptive statistics to compare the both survey's data. In some cases, we applied the chi-square test to determine the difference or similarities in the responses in both studies (Lehman, 2005) with a significance level of 0.05. The multivariate logistic regression model (Abraham and Ledolter, 2006) was performed to verify the correlation between determinants variables and levels of annoyance.

4. Results

Levels of airborne particle concentrations and dust deposition rates

The local environmental agencies in both regions provide real-time ambient air quality data for PM₁₀ and monthly data for the deposition rate of particles. One-year average concentrations in Dunkirk (for 2008) and Vitoria (for 2011), i.e. for the years when the surveys were conducted in the two cities, were calculated using the 24-hour mean measurements and the box-plots for PM₁₀ concentrations are shown in Figure 2(a) and 2(b), respectively. Mean PM₁₀ concentration levels are quite high in both urban regions, ranging between approximately 15 and 40 µg/m³. Overall, PM₁₀ levels appear somewhat higher in Vitoria than in Dunkirk.

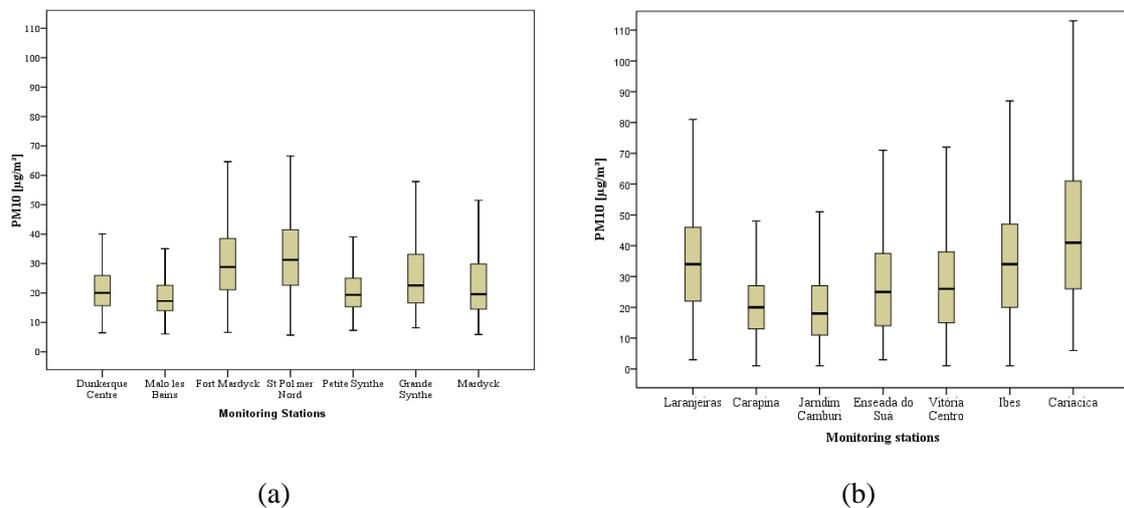


Figure 2. Box-plot 24-h mean of PM₁₀ concentration in (a) Dunkirk region in 2008 and (b) Vitoria region in 2011.

Figure 3 presents the monthly rate of particles deposition from Enseada do Suá (2011) station in Vitoria and Fort Mardyck (2008) station in Dunkirk. Both stations are influenced from industry and from vehicular sources of dust. The deposition rates of particles are clearly higher in Vitoria (almost all examined months the rate of particles deposition is over 10g/m² per month) as compared to Dunkirk (where the rate of particles deposition is less than 6g/m² per month for almost all examined months).

In addition, the data series suggest certain trends over time: in Vitoria (Enseada do Suá station) concentrations present a peak in autumn and spring (March and November, respectively) and a minimum in winter (July), while in general deposition rates do not fluctuate as much as in Dunkirk (ranging between 9-14g/m² per month). In Dunkirk, the time series of deposition rates show a much more fluctuating behaviour during the examined period (ranging between 1-7g/m² per month). Deposition rate peaks were observed in March, June, September and November. It should be noted that in July (winter in Brazil), the Enseada do Suá station registered the lowest rate of dust deposition for 2011 (9 g/m² per month), while in Fort Mardyck in June (summer in France) the highest rate of dust deposition for 2008 was registered (7 g/m² per month).

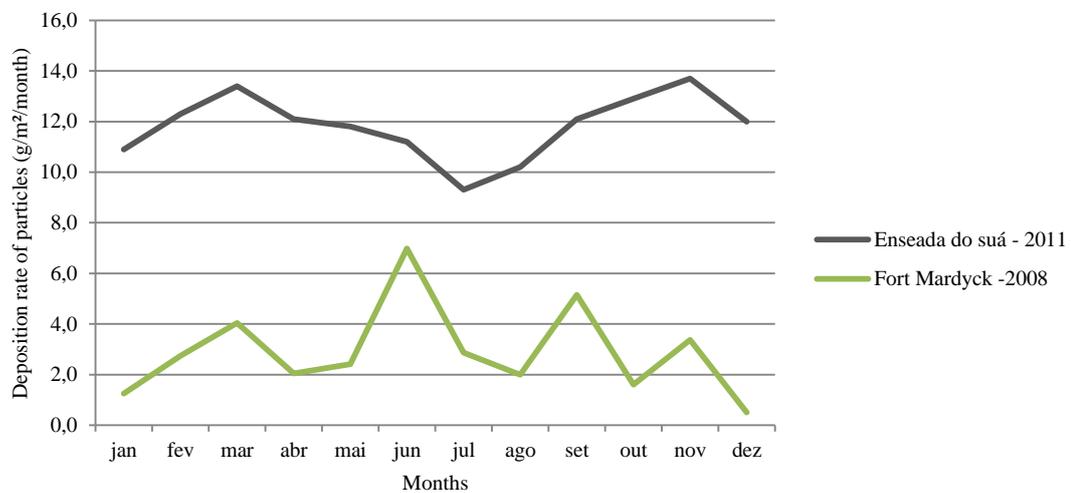


Figure 3. Deposition rate of particles in Enseada do Suá (Vitoria) and Fort Mardyck (Dunkirk) for 2011 and 2008 respectively.

Profiles of the respondents

Table 1 summarizes the sample distribution by each examined sociodemographic characteristic of the respondents in both surveys. Approximately 40% of the respondents are male and 60% are female in both sites. This result represents the reality of both regions, where the percentage of women is higher than men (IBGE, 2010; INSEE, 2008). There are slight differences in the age distribution: the percentage of respondents aged between 16 and 24 years old is about 15% in Dunkirk and 27% in Vitoria, while the percentage of respondents aged between 35 and 44 years old is 20% in Dunkirk and approximately 10% in Vitoria. This difference also reflects the age distribution in these countries: in Brazil, 28.5% of the total population age from 15 to 29 years old (IBGE, 2010), whereas in France, the people in the same group age represent 18% (INSEE, 2008).

The education level of respondents in Dunkirk indicates that 9.2% did not complete primary school while 32% have university degree, whereas in Vitoria these percentages are 1.4% and

27%, respectively. Furthermore, 25% and 46% of the respondents have completed, respectively, primary and high school levels in Vitoria, while in Dunkirk these percentages are 18% and 41%, respectively. There is no significant difference between the two regions concerning the percentage of respondents who are employed, unemployed, retired or studying. Although the percentage of unemployed respondents is higher in Vitoria than in Dunkirk, according to INSEE (2009) the unemployment rate in Dunkirk in 2008 was around 10% while in Vitoria the same rate was about 7% (IJSN, 2009). The number of respondents that have children in Vitoria is higher than Dunkirk, as expected, since the birth rate in Brazil is 16.3 for 1000 inhabitants (IBGE, 2010), while in France it is 12.8 for 1000 inhabitants (INSEE, 2008).

TABLE 1
FREQUENCY (%) OF SOCIODEMOGRAPHIC VARIABLES IN BOTH SURVEYS.

	Dunkirk	Vitoria
Gender		
Male	211(40.7%)	204 (39.6%)
Female	307 (59.3%)	311 (60.4%)
Age		
16-24	77 (14.8%)	140 (27.1%)
25-34	83 (16%)	71 (13.8%)
35-44	107 (20.7%)	51 (9.9%)
45-54	84 (16.2%)	94 (18.3%)
55-64	75 (14.5%)	73 (14.2%)
>65	92 (17.8%)	86 (16.7%)
Highest level of education		
None / incomplete primary school	48 (9.2%)	7 (1.4%)
Primary school	92 (17.8%)	131 (25.4%)
High school	213 (41.1%)	238 (46.2%)
University	165 (31.9%)	139 (27%)
Occupation		
Employed	247 (47.7%)	226 (44%)
Unemployed	107 (20.7%)	113 (21.9%)
Retired	108 (20.8%)	100 (19.4%)
Student	56 (10.8%)	76 (14.7%)
Have children		
No	324 (62.5%)	208 (40.4%)
Yes	194 (37.4%)	307 (59.6%)

Perceived annoyance, air quality and industrial risk

Table 2 shows that in both regions, more than 80% of respondents reported being annoyed by air pollution, while less than 17% reported not being annoyed. More than 90% of respondents claim to feel exposed to industrial pollution risk and the majority of respondents consider air quality as important. Their opinions about air quality levels in their neighbourhood present some differences between the two regions: in Dunkirk only 4% of the respondents consider air

quality good, while 56% and 19% consider it bad and terrible, respectively. On the other hand, in Vitoria 15% of the respondents consider air quality in their neighbourhood good, while 23% and 25% of the respondents consider air quality bad and horrible respectively.

TABLE 2
RESPONSE FREQUENCIES (%) REGARDING PERCEIVED ANNOYANCE, PERCEIVED RISK, IMPORTANCE AND ASSESSMENT OF AIR QUALITY, PERCEIVED AIR POLLUTION AND SOURCES OF SETTLED DUST IN DUNKIRK AND VITORIA

	Dunkirk	Vitoria
Do you feel annoyed by air pollution?		
Not annoyed	85(16.5%)	83(16.1%)
Slightly/Moderately Annoyed	172 (33.4%)	218 (42.3%)
Very/Extremely annoyed	258 (50.1%)	214 (41.6%)
How do you feel regarding industrial pollution risk?		
Not exposed	38 (7.4%)	44 (8.5%)
Slightly exposed	97 (18.8%)	208 (40.4%)
Very exposed	380 (73.8%)	263 (51.1%)
NA/NK		
Is air quality important to you?		
Not important	14 (2.7%)	7 (1.3%)
Slightly important	24 (4.7%)	25 (4.9%)
Very important	477 (92.6%)	483 (93.8%)
NA/NK		
How do you rate air quality in your neighbourhood?		
Horrible	97 (18.8%)	129 (25%)
Bad	288 (55.9%)	121 (23.5%)
Moderate	110 (21.4%)	192 (37.3%)
Good	20 (3.9%)	73 (14.2%)
How often do you perceive air pollution due to dust / odour / opacity of the air?		
Never	20 (3.9%)	10 (1.9%)
Rarely	70 (13.6%)	79 (15.3%)
Always	425 (82.5%)	426 (82.7%)
What is the main source of settled dust in your neighbourhood?		
Industries	452 (87.3%)	236 (45.8%)
Vehicular	51 (9.8%)	139 (27%)
Construction work	6 (1.2%)	79 (15.3%)
Sea breeze	-	21 (4.1%)
Soil suspension	6 (1.2%)	16 (3.1%)
Others	3 (0.6%)	24 (4.7%)

In both regions (Table 2), more than 80% of the respondents replied that they “always” perceived air pollution from dust, odour and air opacity. Industrial emissions were mentioned as a source of dust more often among the respondents in Dunkirk (87%) than among those in Vitoria (45%), while vehicles were more often mentioned as the main source of dust by respondents in Vitoria (27%), as compared to Dunkirk (10%). Construction works were mentioned as sources of dust by more respondents in Vitoria (15%) as compared to only 1% in Dunkirk. Soil suspension was mentioned as a source of settled dust by 3% of the respondents

in Vitoria and by 1% in Dunkirk, while sea breeze was only mentioned by respondents in Vitoria (4%) as a source of dust. According to IEMA (2013) the prevailing wind direction north-east, has a significant influence of sea breeze in Vitoria region. And, Conti (2013) found particles of NaCl in a sample of dust collected in Vitoria. Thus, it explain why people cited sea breeze as a source of dust in Vitoria.

Occurrence of health problems and perceived seasonal effects

Table 3 summarizes the response frequencies of reported occurrence of health problems and perceived influence of seasons/weather conditions on perceived air pollution. The majority of respondents in both surveys reported that they – or someone in their household - had health problems caused by air pollution. In Dunkirk the respondents reported mainly cough, lung and respiratory problems (62%), cancer (18%), allergies (7%) and asthma attacks (3%), while in Vitoria they reported allergies (31%), cough, lung and respiratory problems (25%), bronchitis (5%) and asthma attacks (5%). In Vitoria, there were no reports on the occurrence of cancer, while over 30% of respondents did not know or did not answer the question.

**TABLE 3
RESPONSE FREQUENCIES (%) PERTAINING TO REPORTED HEALTH PROBLEMS AND
PERCEIVED INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON AIR QUALITY IN DUNKIRK AND
VITORIA.**

	Dunkirk	Vitoria
Do you or someone in your household have (or have had) health problems caused by air pollution?		
No	193 (37.5%)	133 (25.8%)
Yes	322 (62.5%)	382 (74.2%)
What are the main health problems caused by air pollution?		
Lung, cough and respiratory problems	323 (62.4%)	131 (25.4%)
Allergies	38 (7.3%)	159 (30.9%)
Cancer	96 (18.5%)	-
Asthma attacks	18 (3.5%)	28 (5.4%)
Bronchitis	6 (1.2%)	29 (5.6%)
Headache	4 (0.8%)	1 (0.2%)
Others	17 (3.3%)	6 (1.2%)
Not answered	16 (3.1%)	161 (31.3%)
Do you think that air pollution changes according to seasons?		
Yes	345(67%)	363(70.5%)
No	129(25%)	122(23.7%)
Not answered	41 (8%)	30 (5.8%)
If yes, in which season is air pollution worse?		
Summer	229 (44.5%)	160 (31.1%)
Autumn	23 (4.5%)	24 (4.7%)
Winter	39 (7.6%)	150 (29.1%)
Spring	31 (6.0%)	18 (3.5%)
Not answered	193 (37.4%)	163 (31.7%)

Approximately 70% of the respondents in both surveys linked air pollution to seasonality. Summer is the season linked to the worse air pollution levels (44% of respondents in Dunkirk and 31% in Vitoria). A large percentage of the respondents (more than 30%) in both regions responded that they did not know or they did not answer the question. It should be noted that in Vitoria, although 31% of the respondents perceived summer as the season when air pollution is worse, 29% have also named winter (while in Dunkirk this percentage was much smaller, approximately 8%).

Sociodemographic factors related to levels of perceived annoyance

Table 4 summarises the levels of perceived annoyance by air pollution in relation to the sociodemographic characteristics of respondents for the two examined urban areas. Initially a chi-square test of association was performed to examine the relation between gender and perceived annoyance. The relation between these two variables was statistically significant in Vitoria ($\chi^2 = 14.98$, $df = 2$, $p = 0.001$), with more women reporting higher levels of perceived annoyance in relation to men. In Dunkirk on the other hand this relation is not statistically significant ($\chi^2 = 0.72$, $df = 2$, $p = 0.70$). The results of Table 4, suggest that in general women represent the gender reporting higher levels of annoyance, although this is much clearer in Vitoria, as noted above.

Regarding the relation between age and perceived annoyance, it was not possible to do a chi-square test using the initial age categories, since due to the small number of responses in some cells a basic precondition of the chi-square test was not fulfilled. The results of Table 4 suggest that the respondents aged between 55-64 and the respondents older than 65 years old reported higher levels of annoyance in both localities (both in absolute and relative terms). An interesting observation is the high percentage of respondents that reported high levels of annoyance observed for the three age groups ranging from 25 to 54 years old in Dunkirk, while in Vitoria there people older than 55 years old are clearly the ones more annoyed.

Regarding the relation between level of education and perceived annoyance, the chi-square test showed a statistically significant relation in Vitoria ($\chi^2 = 22.80$, $df = 4$, $p = 0.000$), suggesting that as the level of education increased the levels of perceived annoyance also increased. In Dunkirk on the other hand this relation is not statistically significant ($\chi^2 = 1.97$, $df = 4$, $p = 0.741$).

TABLE 4
PERCENTAGE OF SOCIODEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS ASSOCIATED WITH
PERCEIVED LEVELS OF ANNOYANCE IN DUNKIRK AND VITORIA.

	Dunkirk			Vitoria		
	Not annoyed	Slightly/moderately annoyed	Very/extremely annoyed	Not annoyed	Slightly/moderately annoyed	Very/extremely annoyed
Gender						
Men	6.8%	14.3%	19.6%	7.6%	19.8%	12.4%
Women	9.3%	18.9%	31.1%	8.3%	22.5%	29.4%
Age range						
16-24	-	0.4%	0.4%	1.2%	3.7%	0.6%
25-34	1.4%	4.3%	8.5%	4.1%	13.2%	4.5%
35-44	2.1%	5.4%	8.5%	2.7%	5.2%	5.8%
45-54	2.7%	9.3%	8.7%	1.6%	3.5%	4.9%
55-64	2.5%	4.7%	9.3%	2.3%	6.2%	9.6%
>65	7.4%	9.3%	15.1%	4.1%	10.5%	16.3%
Education level						
Incomplete primary	1.7%	1.9%	5.6%	0.6%	0.0%	0.8%
Primary school	2.7%	6.2%	8.9%	5.6%	10.5%	9.3%
High school	7.1%	13.5%	20.6%	6.2%	23.5%	16.5%
University	4.6%	11.6%	15.6%	3.5%	8.3%	15.2%
Current occupation						
Employed	7.1%	15.6%	24.9%	9.3%	25.4%	27.0%
Unemployed	4.0%	6.8%	9.7%	0.4%	1.7%	1.9%
Retired	3.3%	6.8%	11.0%	3.1%	6.4%	9.9%
Student	1.7%	4.1%	5.0%	3.3%	8.7%	2.9%
Children at home						
No	11.2%	22.6%	28.8%	6.8%	22.3%	11.3%
Yes	5.2%	10.6%	21.6%	9.1%	20.0%	30.5%

The results of Table 4 confirm this finding and suggest that in Dunkirk the four education categories reported relatively similar levels of perceived annoyance. In Vitoria, a high percentage of respondents corresponding to the high school level reported being little/moderately annoyed, while the lowest percentage of respondents reporting high levels of annoyance corresponded to the “Incomplete primary level” and the highest percentage to the “University” level.

Regarding the relation between current occupation and perceived annoyance, it was not possible to do a chi-square test using the initial age categories, since due to the small number of responses in some cells a basic precondition of the chi-square test was not fulfilled. The results of Table 4 suggest that higher levels of annoyance were reported by employed and retired respondents in both surveys, while in Vitoria unemployed respondents also reported – in

relative terms – high levels of annoyance. The responses of students did not show a clear trend in Vitoria, while in Dunkirk students also reported higher levels of annoyance.

Finally, regarding the relation between the presence of children and perceived annoyance, the chi-square test showed a statistically significant relation in Vitoria ($\chi^2 = 29.63$, $df = 2$, $p = 0.000$), suggesting that respondents with children perceived higher annoyance levels. A similar, but weaker, statistically significant relation was also observed in Dunkirk ($\chi^2 = 6.34$, $df = 2$, $p = 0.042$). The results of Table 4 confirm this suggestion and also that this relation is stronger in Vitoria than in Dunkirk.

Determinants of perceived air pollution annoyance

A multivariate logistic regression was applied to identify the determinant variables of perceived annoyance, considering as a result of the model the levels of “slightly/moderately annoyed” and “very/extremely annoyed” and using as reference the level “not annoyed”. For each of the two study areas, all the selected variables were added into to the model at the same time and the odds ratio for each variable related to the levels of annoyance was used to compare the relative odds of occurrence of the outcome of interest (e.g. multinomial levels of annoyance) in relation to the influence of the variable of interest (e.g. opinions about importance of air quality, perceived industrial risk, assessment of air quality, perceived air pollution due to dust/odour/opacity, frequency of health problems, respiratory symptoms, perceived dust source [industry], seasons/weather conditions, current employed status, gender [feminine], age [> 55 years old], education level, children). In this case, the odds ratio (OR) was used to determine whether a particular variable is a determinant factor for perceived annoyance and to compare the magnitude of influence of the variables of interest on the outcome variable (perceived annoyance). For example, i) $OR=1$, indicates that the variable does not affect odds of annoyance; ii) $OR>1$ indicates that the variable is associated with higher odds of annoyance; iii) $OR<1$ indicates that the variable is associated with lower odds of annoyance (Domínguez-Almendros et al., 2011).

The odds ratio values provided by the multivariate logistic model are summarized in Table 5. It can be observed that there are more variables associated to the level “very/extremely annoyed” as compared to the level “little/moderate annoyed”. In both study areas, the outcome “very/extremely annoyed” is determined by the variables “importance of air quality”, “perceived industrial risk”, “perceived air pollution by dust” and “gender [feminine]”. More specifically, for the variable “importance of air quality” the odds ratio value being approximately equal to 4 means that respondents who considered air quality important have 4

times the odds to be “very/extremely annoyed” by air pollution than those who did not consider air quality important. The results also suggest that, for the variable “perceived industrial risk”, in Dunkirk those who perceived industrial risk as important have 1.8 times the odds to be “very/extremely annoyed”, while in Vitoria they have 3.5 times the odds do be “very/extremely annoyed” as compared to respondents who did not perceive being exposed to industrial risk.

TABLE 5
DETERMINANTS OF PERCEIVED ANNOYANCE LEVELS

Determinant variables	Odds Ratio			
	Dunkirk		Vitoria	
	Slightly/ Moderately annoyed	Very/ Extremely annoyed	Slightly/ Moderately annoyed	Very/ Extremely annoyed
Importance of air quality	1.868**	3.909**	1.837**	4.339**
Perceived industrial risk	1.199	1.836**	2.330*	3.513**
Assessment of air quality	1.101	1.010	.733	0.334
Perceived air pollution due to dust	1.778**	2.636*	1.074**	2.819*
Frequency of health problems	0.836	1.140	1.555	3.620**
Respiratory symptoms	0.855	0.814	1.001	1.006
Perceived industrial source	0.996	1.003	0.921	1.001
Weather conditions	0.996	0.995	0.938	0.854
Season	0.990	0.985	1.052	1.095
Occupation (employed)	1.040	1.030	0.975	0.885
Gender (feminine)	0.987	1.119	0.994	1.722***
Age >55 years	0.834	0.864	1.122	1.393**
Education level	1.037	0.903	1.003	1.084
Children in the household	1.021	1.229	0.756	0.818

*P<0.001; **P<0.05; ***P<0.1;

For the variable “perceived air pollution due to dust”, in both study areas, the odds ratio being approximately equal to 2.5 means that respondents who “always” perceived air pollution due to dust have 2.5 times the odds to be “very/extremely annoyed” by air pollution than respondents who did not. And the variable gender [feminine] is associated to the outcome “very/extremely annoyed” in both study areas. Furthermore, in Vitoria people who reported having health problems caused by air pollution, appear to have 1.8 times the odds to be “very/extremely annoyed” by air pollution than people who did not report having health problems. Finally, in Vitoria, respondents in the age group “> 55 years” have 1.4 times the odds to be “very/extremely annoyed” than the age group “< 55 years”.

The variables “assessment of air quality in their neighbourhood”, “health problems (respiratory symptoms)”, “perceived sources (industrial)”, “weather conditions”, “season”, “occupation

(employed)”, “education level” and “children” were not statistically significant determinants in relation to the outcome of being “annoyed” and “very annoyed” by air pollution, for the respondents living in the two urban areas. As noted above, the results suggest that some variables (“frequency of health problems”, “gender” and “age”) are determining annoyance levels only in Vitoria and not in Dunkirk, a finding that can be related to social and cultural characteristics, but that could have been also influenced by the local area of residence of these people.

5. Discussions

The main goal of this paper is to establish the perceived levels of annoyance due to air pollution and to identify the variables of interest that can be used as determinants of individual levels of perceived annoyance. This study also compared results between the surveys realized in two different industrialized cities, namely Dunkirk in France and Vitoria in Brazil. It was found that in both study areas the majority of respondents reported that they were annoyed by air pollution. They also perceived that they were exposed to industrial pollution risk and considered air quality as very important. According to Kim et al. (2012), the perceived importance of air quality is an important measure for evaluating the impact of atmospheric pollution on quality of life in environmental studies and a key factor influencing the public acceptance of environmental policies.

In both areas, Dunkirk and Vitoria, respondents perceived dust as the main form of air pollution. In general, respondents perception show that they acknowledge that the sources of particulate matter can be of natural (e.g. sea breeze, volcanoes) or anthropogenic origin (e.g. industrial sources, vehicle exhaust, combustion processes) as shown in previous studies (Hleis, 2010; Jacobson, 2002), but they also highlight the importance of anthropogenic sources and especially industry, which is identified as the main source of air pollution in both cities. In Vitoria industry is closely followed by traffic as a perceived air pollution source. This result is consistent with the reality of both regions. In fact, in Dunkirk, industries have the greatest impact on air quality (PPA, 2002). In Vitoria, as pointed out by the study of Santos & Reis (2011), industries, vehicle traffic and construction works are sources of particulate matter, as is the suspension of soils that occurs because of the prevailing wind direction (northeast).

In both study areas, people reported that they have (or have had) health problems caused by air pollution. It should be noted that many studies suggest that the self-reported health status is associated with perceived air pollution more than with measured air pollution (Kim et al., 2012). The reported occurrence of lung, cough, respiratory problems and allergies was quite high in

Dunkirk and Vitoria, as compared with other diseases such as asthma attacks, bronchitis and headache. Rotko et al. (2002) in their study involving inhabitants of six European cities, suggested that the significant determinants of air pollution annoyance were the city, the self-reported sensitivity to air pollution, the respiratory symptoms, the downtown residence and the gender. Although the effects of air pollution on mortality due to cancer, cardiovascular diseases and pulmonary diseases are well documented (Theophanides, 2007), according to Stenlund et al. (2009) health related symptoms vary depending on the type of pollutant, such as gaseous pollutants and particulate matter. In this respect, particulate matter typically consists of dust and soot, which cause upper respiratory and pulmonary symptoms (Kampa & Castanas, 2008). As also suggested by the measurements shown in Figure 3, the high concentration levels of PM_{10} in both areas (which often exceed the 24-h level of $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ defined by WHO air quality guideline) are generally in agreement with the results of the survey and also with the main type of pollution sources identified in both regions.

The majority of respondents in the two study areas reported that perceived air pollution can be influenced by weather conditions (season). In Dunkirk, 45% of respondents reported that air pollution is worse during the summer (and only 8% in winter), whereas in Vitoria 29% and 31% of the respondents reported that air pollution is worse during the winter and summer periods respectively. This difference in the responses between the two areas can be explained by the differences in climate which directly affects people's perception. In Dunkirk, freezing/negative temperatures are reached in winter and thus people stay indoors longer, keep the windows closed and do not spend time in open spaces such as gardens, parks and beaches. During the summer on the other hand, the conditions are more favourable for outdoor activities, for keeping windows open, drying clothes outside the houses and visiting public spaces, which in turn favours the perception of settled dust and reduced sky visibility. In Vitoria on the other hand, there are no significant differences between the average temperature in winter ($18\text{ }^\circ\text{C}$) and in summer ($23\text{ }^\circ\text{C}$) (INMET, 2013) that would affect life habits, and as a consequence, the perception of settled dust seems not to be affected by the seasons, considering also the fact that summer in Vitoria is characterised as the rainy season and winter as the dry season. Albuquerque et al. (2012) showed that meteorological conditions have a major influence on the concentrations of suspended particles, with significant differences in the particle mass concentrations between different periods of the year, under different prevailing meteorological conditions. The results of the survey are also in agreement with the seasonal variation of the deposition rates of particulate matter shown in Figure 4, which suggest that in Dunkirk monthly deposition rates fluctuate much more during the year than in Vitoria.

The results suggested that in both study areas women reported higher levels of annoyance than men. According to Jacquemin et al. (2007) women are both more annoyed by environmental degradation and more sensitive to environmental risks. Despite the fact that differences between genders are in general small, normally, women are more sensitive than men (Fischer et al., 1991) and the explanation is related to the social roles that women play in society, roles that are most often oriented towards health and children. Gustafson (1998) links this difference to the roles that women and men have in society and the power relations that exist between them (Hellequin, 2010). Furthermore, the statistical analysis (chi-squared and logistic regression) showed a statistically significant relation of perceived high levels of annoyance with gender in Vitoria, with women being more annoyed than men, and not in Dunkirk. This could be – partly at least - attributed to the different social/cultural profile of the population in the two cities, with Vitoria being a more conservative, typical patriarchal society, where women stay at home and look after the household and the children.

In both study areas, respondents over 55 years old as well as employed and retired respondents reported high levels of annoyance. The fact that employed respondents provide the higher percentage of the “very/extremely annoyed” response, followed in both areas by the retired respondents, may be related to a number of reasons, such as that (a) unemployed respondents have – to a greater extent - other important concerns related to their economic situation, (b) that employment status can be related to the education level which is in turn also related to the perceived annoyance from air pollution, and (c) that retired people correspond to the older age group, which is shown to show higher levels of perceived annoyance. Furthermore, in Dunkirk younger population (25-34 years old) and students reported relatively high levels of annoyance, appear to be more aware about environmental issues and are more conscious of air pollution, as compared to the same groups in Vitoria. Young people in Vitoria did not show the same level of awareness about environmental issues as in Dunkirk. This can be partly related to the fact that the industries located in the Vitoria region are undergoing a growing process, so young people see them as real opportunities for employment in the near future. On the same time, it is more common for young people to live with their parents in Brazil and therefore they do not have to do all the domestic work related to cleaning the house or removing dust at home, which would render them more aware of air pollution by particulate matter and its impacts in the household. In European countries such as France on the other hand, it is more common for children to reside with their parents just until adulthood and after that they move to their own house. In general, on the issue of age, there are different results presented in different studies depending on the specificities of the study and of the population involved. Fischer et al. (1991)

conducted a study in USA and found that young people were more concerned about environmental issues, while older respondents were more likely to emphasize health and safety issues. On the other hand, the results of the study of Kim et al. (2012) conducted in the Republic of Korea suggested that young people were more likely to rate air quality as low as compared to older age groups.

The results also suggest that in Vitoria, as the level of education increases the levels of perceived annoyance also increase, while in Dunkirk this relation is much looser. This result indicates that as their education level increases, respondents in Vitoria are more aware of the air pollution problem and more responsive, possibly because they have more access to information/knowledge. It may also reveal that respondents with lower level of education are not as much concerned about annoyance. Previous studies have reported higher levels of education to be associated with higher annoyance level (Jacquemin et al., 2007; Kim et al., 2012). Klæboe et al. (2000) also indicated that a higher education level was positively associated with annoyance by exhaust smell and road traffic noise. The differences observed here between Vitoria and Dunkirk may be related to social and economical differences between the two populations, and merit further examination. Finally, as expected, respondents with children reported higher levels of annoyance than those who did not have children at home, with this relation being much stronger in Vitoria. The greater sensitivity of respondents with children in Vitoria is supported by the findings of a recent study by Souza et al. (2014), which showed a significant correlation between concentrations of air pollutants and the number of admissions due to respiratory diseases in children less than 6 years old in the Vitoria region. This is also in line with the results of the multivariate regression analysis indicating that the variable “frequency of health problems” is a determinant of annoyance from air pollution in Vitoria, but not in Dunkirk.

It is important to note that the perception of air quality and the specific influence of different factors differ in the two study areas, indicating that perception in general depends on an area's characteristics, such as the overall setting and number/type/location of industries, other pollutant sources or daily activities, as well as on the social, cultural and economical characteristics of the population. Socioeconomic variables have been shown to be associated to high levels of annoyance, reinforcing the findings in other studies (e.g. Rotko et al., 2002; Jacquemin et al., 2007; Kim et al., 2012) and highlighting that these are important factors to be considered when examining perceived levels of annoyance caused by air pollution. It should be noted that despite the differences in the sociodemographic characteristics observed in the samples from the two localities, overall trends are in general similar. A better understanding of

environmental annoyances in urban areas and of the factors that influence them can assist decision-makers at all levels, from the central government to municipality level, when designing environmental policies in order to positively influence the health and the quality of life of people. This can be done, for example, by giving priority to certain city-planning options (Robin et al., 2007).

6. Conclusions

Face-to-face surveys were conducted in two different cities, namely Dunkirk in France and Vitoria in Brazil, to assess the perceived annoyance caused by air pollution and to examine specific factors that may affect it. To analyse this issue, a group of variables was selected, including: perceived annoyance by air pollution, air pollution perception, industrial risk perception, air quality perception, importance of air quality, assessment of air quality, perceived sources of air pollution, health effects, season/weather conditions, and sociodemographic factors (gender, age, level of education, occupation, children).

Even though there are geographical and cultural differences between the two examined regions, it was found that majority of the population reported increased levels of annoyance caused by air pollution. Regarding air pollution perception, most of the people responded that they “always” perceived air pollution due to dust. In addition, respondents reported to perceive being exposed to industrial pollution risk. The largest percentage of the population in both cities considered air quality to be bad in their area/neighbourhood, while most of the respondents stated that air quality is an important issue for their lives. Measurements of PM₁₀ are similar between Dunkirk and Vitoria and are quite high in both regions, while in Dunkirk monthly particle deposition rates fluctuate much more during the year than in Vitoria. Regarding the main emission sources that respondents perceived as important, in both cities the origin of dust was mainly attributed to industrial sources; however, in Vitoria vehicles and construction works were also identified as important sources of settled particles.

Respondents in both urban areas believe that air pollution has caused health problems to someone in their household and the occurrence of respiratory problems was the health effect mostly cited by respondents in both study areas. Furthermore, people reported that they believe air pollution changes according to the season. Considering also the climatic differences among these two regions, the results suggest that the annoyance caused by air pollution can be influenced by weather; this is especially pronounced in the case of Dunkirk where respondents consider that summer is by far the season when air pollution is worse. This is in line with monthly deposition rates of particles measured in both urban areas during the year of each

survey. With respect to the influence of the sociodemographic variables on reported annoyance levels, the results show that women are in general more annoyed than men, with this difference being more significant in Vitoria. Furthermore, higher levels of annoyance are reported by employed and retired respondents and by those who are more than 55 years old.

The multivariate logistic model used in this study showed a significant association between perceived high levels of annoyance and (a) perceived importance of air quality, (b) perceived exposure to industrial pollution risk, (c) perceived air pollution due to dust/odour/opacity. The differences between the two cities regarding the reported occurrence of health problems, gender and the age (old) – which appear to be significant determinants of annoyance by air pollution for Vitoria but not for Dunkirk - can be explained by the different cultural and economic contexts of the two countries and cities, which can affect the relationship between these parameters and the levels of perceived annoyance.

Considering that the annoyance caused by air pollution is very much linked to the quality of life and that self-reported health conditions are associated with perceived air pollution possibly more than with measured air pollution, it is very important for policy makers to consider the interrelations of these parameters and to better understand the socioeconomic factors that affect the annoyance caused by air pollution. Therefore, the environmental management authorities need on one hand to direct efforts on reducing exposure to atmospheric pollutants in urban areas such as the two examined regions and on the other hand to better understand and address, including through further research, the determinant factors shaping peoples' perception on air pollution problems, considering also the economic, social and cultural specificities of each country and its population. Reducing both the air pollution levels and the perceived annoyance by air pollution will help maximizing the benefits of environmental policies for urban populations and improve their quality of life.

7.Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support of FAPES, CAPES (Brazilian governmental agencies for technology development and scientific research) and COFECUB. They would also like to acknowledge Irénée Zwarterook and a research group studying industrial risk and the urban environment in the TVES laboratory, Université du Littoral Côte d'Opale - France. This group brings together researchers in geography, sociology, economics and political science: Iratxe Calvo-Mendieta, Philippe Chagnon, Hervé Flanquart, Christophe Gibout, Anne-Peggy Hellequin, Antoine Le Blanc, Caroline Rufin-Soler, Julien Bernard, Frédéric Gonthier, Mylène Chambon and Constantin Napoléon.

8. References

- Abraham B. & Ledolter J. *Introduction to Regression Modeling*. Thomson Brooks/Cole, 2006.
- Albuquerque T.T.A., Andrade M.F. & Ynoue R.Y. Characterization of atmospheric aerosols in the city of São Paulo. Brazil: comparisons between polluted and unpolluted periods. *Environ. Monit Assess.*, 84(2), 969-984, 2012.
- Amundsen A.H., Klaeboe R. & Fyhri A. Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for Norway. *Atmospheric Environment*. 42, 679-688. 2008.
- Berglund, B., Berglund, U., & Lindvall, T. (1975). A study of response criteria in populations exposed to aircraft noise. *Journal of Sound and Vibration*, 41, 33–39.
- Atmo Nord-Pas-de-Calais (2009). Bilan 2008 des poussières sédimentables sur le Dunkerquois. Rapport d'études 01 – 2009- LC. Available at: <http://www.atmo-npdc.fr>
- Atmo Nord-Pas-de-Calais (2010). Bilan 2009 des mesures de la station de Mardyck. Rapport d'étude N°04-2010-MD. Available at: <http://www.atmo-npdc.fr>
- Blanes-Vidal V., Suh H., Nadimi E. S., Løfstrøm P., Ellermann T., Andersen H. V., Schwartz J. (2012) Residential exposure to outdoor air pollution from livestock operations and perceived annoyance among citizens. *Environment International*, 40, 44-50.
- Calvo-Mendieta I., Flanquart H., Frere S., Gonthier F., Hellequin A.P., Le Blanc A.. 2008. Perception du risque industriel par les populations du Dunkerquois. Rapport intermédiaire. contrat de recherche pour la « Fondation pour une Culture de la Sécurité Industrielle » (FonCSI).
- Cochran W.G. (1977). *Sampling techniques*. 3.ed. New York: John Wiley & Sons.
- Conti M.M. (2013). Caracterização química e morfológica de partículas sedimentadas na região metropolitana da grande Vitoria-E.S. Tese Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFES, Vitoria E.S..
- De Singly F. (2008). *Le questionnaire*. Paris. A. Colin.
- Domínguez-Almendros S., Benítez-Parejo N., Gonzalez-Ramirez A.R. (2011) Logistic Regression Models. *Allergologia et immunopathologia (Madr)*, 39(5), 295-305.
- Dunkerque, une agglomération maritime transfrontalière, actrice d'un développement métropolitain . SYNTHÈSE. Atelier international d'urbanisme 3-17 Juillet 2010. Available at: www.ateliers.org
- Eek F.; Karlson B., Osterberg K., Otergren P. (2010) Factors associated with prospective development of environmental annoyance. *Journal of Psychosomatic Research*, 69, 9 – 15
- Egondi T., Kyobutungi C., Ng N., Muindi K., Oti S., De Vijver S. V., Ettarh R., Rocklov J. Community perceptions of air pollution and related health risks in Nairobi Slums. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2013, 10, 4851-4868.
- Elliott S.J., Cole D.C., Krueger P., Voorberg N., Wakefield S. The power of perception: Health risk attributed to air pollution in an urban industrial neighbourhood. *Risk Anal*. 1999, 19, 621–634.
- Fenneteau H. (2002). *Enquête : entretien et questionnaire*. Paris. Dunod.
- Fischer G.W., Morgan M.G., Fischhoff B., Nair I. & Lave L.B. 1991. What risk are people concerned About ? *Risk Analysis*, 11, 303-314.
- Forsberg, B., Stjernberg, N., Wall, S. 1997. People can detect poor air quality well below guideline concentrations: a prevalence study of annoyance reactions and air pollution from traffic. *Occup Environ Med.*, 54, 44-48

- Gustafson E. 1998. Gender differences in Risk perception: theoretical and methodological Perspectives. *Risk Analysis*, 18(6), 805-811.
- Hellequin A.P., Zwarterook I. Mauvais air : vivre au quotidien près d'usines polluantes et dangereuse. In II eme colloque international UMR 5600-ENTPE « Le risque industriel : une question de sciences humaines » 24-25 mars 2010. Lyon .
- Hleis D. Evaluation de la contribution d'émissions industrielles à la teneur en particules fines dans l'atmosphère à une échelle locale. L'Universite du Littoral Côte D'opale. Tese de Doutorado, 2010.
- Hyslop N.P. Impaired visibility: the air pollution people see. *Atmospheric Environment*, 43, 182-195. 2009.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) – Senso 2010– disponível em www.ibge.gov.br acesso em 10 de julho de 2011.
- INSEE (Institut National de la Statistique at des Éduces économiques) – Bilan Démographique 2008. Available in: www.insee.fr . Retrieved on 25 October 2013.
- INSEE (Institut National de la Statistique at des Éduces économiques) – Communauté Urbaine de Dunkerque Grand Littoral. Available in: www.insee.fr . Retrieved on 27 October 2014.
- IJSN (Instituto Jones dos Santos Neves). Perfil Regional - Região Metropolitana da Grande Vitória. (2009). Retrieved on 08 April 2013 from: www.ijsn.es.gov.br
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Retrieved on 22 March from: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>
- Instituto Estadual de meio ambiente – IEMA. Relatório de Qualidade do Ar da Grande Vitoria 2013. Available in www.iema.gov.br.
- Jacobson M.Z. *Atmospheric Pollution – History, science and regulation*. Cambridge University Press. 2002.
- Jacquemin B., Sunyer J., Forsberg B., Gotschi T., Oglesby L., Ackermann-Liebrich U., De Marco R., Heinrich J., Jarvis D., Toren K., Kunzli N. 2007. Annoyance due to air pollution in Europe. *International Journal of Epidemiology*, 36, 809–820.
- Kampa M. & Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ. Pollut.* 2008, 151, 362–367.
- Kim M., Yi O., Kim H. (2012). The role differences in individual and community attributes in perceived air quality. *Science of the Total Environment*, 425, 20-26.
- Klæboe R., Kolbenstvedt M., Clench-Aas, J., Bartonova, A. (2000). Oslo traffic study - part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. *Atmospheric Environment*, 34, 4727-4736.
- Klæboe R., Amundsen A.H., Fyhri A. (2008). Annoyance from vehicular air pollution: A comparison of European exposure–response relationships. *Atmospheric Environment*, 42, 7689-7694.
- A. Lehman, (2005) "JMP for Basic Univariate and Multivariate Statistics: A Step-by-step Guide" Local: Campus Drive, Cary, North Carolina, Editora SAS Institute.
- Lindvall T., Radford E. Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. *Environ. Res.* 1973, 6, 1-36.
- Llop S., Ballester F., Estarlich M., Esplugues A., Fernández-Patier R., Ramón R., Marco A., Aguirre A., Sunyer J., Iñiguez C., on behalf of INMA-Valencia cohort. Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women. *Atmospheric Environment*, 42, 2982-2992, 2008.

- Oglesby L, Kunzli N., Monn C., Schindler C., Ackermann-Liebrich U., Leuenberger P. Validity of annoyance scores for estimation of long term air pollution exposure in epidemiologic studies: The swiss study on air pollution and lung diseases in adults (SAPALDIA). *Am. J. Epidemiol.*, 2000, 152, 75–83.
- Österberg K., Persson R., Karlson B., Carlsson Eek F., Orbaek P. Personality, mental distress, and subjective health complaints among persons with environmental annoyance. *Hum Exp Toxicol.* 2007; 26, 231 – 41.
- Petrie K.J., Sivertsen B., Hysing M., Broadbent E., Moss-Morris R., Eriksen H.R., Ursin H. Thoroughly modern worries: the relationship of worries about modernity to reported symptoms, health and medical care utilization. *J. Psychosom. Res.* 2001; 51, 395–401.
- PPA (2002) Plan de Protection de L'Atmosphère de L'agglomération Dunkerquoise. Retrieved on 28 April 2013 from: <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dunkerque.pdf>
- Robin M., Matheau-Police A., Couty C. (2007). Development of a scale of perceived environmental annoyances in urban settings. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 55-68.
- Rotko T., Oglesby L., Kunzli N., Carrer P., Nieuwenhuijsen M.J., Jantunen M. Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM2.5, NO2) concentrations in the European EXPOLIS study. *Atmospheric Environment* 36 (2002). 4593–4602.
- Santos. J. M., Reis JR. N.C. (2011) Caracterização e quantificação de Partículas Sedimentáveis na Região da grande Vitória. Relatório Técnico Final elaborado para o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- Souza. L. B. Estudo de correlação entre a percepção do incômodo causado pelas partículas sedimentadas e os níveis de concentração na atmosfera em uma região impactada. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2011.
- Souza J.B., Reisen V.A., Santos J.M., Franco G.C. Principal components and generalized linear modeling in the correlation between hospital admissions and air pollution. *Rev Saúde Pública* 2014; 48(3), 451-458.
- Stenlund T., Lidén E., Andersson K., Garvill J., Nordin S. Annoyance and health symptoms and their influencing factors: A population-based air pollution intervention study. *Public Health*, 123, 339-345, 2009.
- Theophanides M., Anastassopoulou J., Vasilakos C., Maggos T., Theophanides T. Mortality and pollution in several greek cities. *J Environ Sci Health Part A* 2007, 42, 741–746.
- Trindade C. C., Queiroz R. S. et al. Análise da Percepção Ambiental da População da Grande Vitória à Poeira Sedimentável. VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.
- Vallack H. W., Shillito D. E. (1998) Suggested guidelines for deposited ambient dust. *Atmospheric Environment*, 32(16), 2737-2744.
- WHO - World Health Organization. WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide. Global update 2005. Summary of Risk Assessment. Geneva. 2006.

5.2 Investiação de incômodo causado pela poluição do ar através da análise de correspondência múltipla

Em continuidade ao artigo anterior, é alvitada uma investigação mais profunda das variáveis qualitativas associadas ao problema do incômodo percebido. O resultado de tal investigação é apresentado por meio do artigo denominado *“Deconstruction of annoyance due to air pollution by multiple correspondence analyses”*.

A contribuição científica do presente artigo está na proposta de aplicação da técnica multivariada denominada análise de correspondência múltipla (ACM) análise das relações existentes entre as variáveis qualitativas e o incômodo, como diferencial em problemas de poluição do ar. Até onde se investigou, não foi encontrado na literatura de referência a aplicação da técnica ACM em estudos de poluição do ar. O abstract desse artigo foi apresentado no evento “Dust 2014” realizado na Itália, em junho de 2014.

DECONSTRUCTION OF ANNOYANCE DUE TO AIR POLLUTION BY MULTIPLE CORRESPONDENCE ANALYSES

Milena Machado de Melo^{1,*}, Jane Meri Santos², Severine Frere³, Phillipe Chagnon³, Valderio Anselmo Reisen⁴,
Ilias Mavroidis⁵, Neyval Costa Reis Junior²

Instituto Federal do Espírito Santo, Guarapari, Brazil⁽¹⁾

Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Environmental Engineering, Vitoria, Brazil⁽²⁾

Université du Littoral Côte d'Opale, Maison de la Recherche em Science de l'homme, Dunkerque, France⁽³⁾

Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Statistic, Vitoria, Brazil⁽⁴⁾

Hellenic Open University, Patras, Greece⁽⁵⁾

Abstract

The objective of this work is to investigate the annoyance caused by air pollution and the variables affecting it using Multiple Correspondence Analysis (MCA). Annoyance caused by air pollution is an important public health issue as it can cause stress and ill-health, affect the quality of life and increase mortality. A cross-sectional study was conducted in two different industrialized urban areas, namely Dunkirk (France) and Vitoria (Brazil). The populations of these cities often report feeling annoyed by air pollution. The results of the study suggest that in Dunkirk people perceive that the main sources of air pollution causing annoyance are related to industry, while in certain parts of Vitoria, construction works and vehicle sources affect the perception of annoyance. Other differences existing between the results of the two city surveys are mainly related to socio-demographic parameters. The MCA analysis showed a positive progressive correspondence between the levels of perceived annoyance from air pollution and the variables: importance of air quality, perceived exposure to industrial risk, assessment of air quality and perceived air pollution. Although the locations of maximum particle concentration measurements in the two cities do not coincide spatially with the maximum reported levels of perceived annoyance, concentration measurements can provide a useful insight to the behaviour of respondents. Finally, the results of the analysis also suggest that variables such as socio-demographic aspects, perceived air pollution, occurrence of health problems, sources of air pollution and meteorological conditions play an important role in the annoyance perceived by the population of Dunkirk and Vitoria, affecting therefore their quality of life.

Keywords: air pollution, perceived annoyance, multivariate analysis, Multiple Correspondence Analysis.

1. Introduction

There is evidence that air pollution can cause various health impacts, such as hospital admissions, respiratory, cardiovascular, hypertension, cancer and mortality (WHO, 2005; Lercher et al., 1995; Llop et al., 2008). Recent estimates from the World Health Organization (WHO) suggest that in 2012 approximately 7 million premature deaths were linked to air pollution (WHO, 2014). Although there is already a significant number of studies linking air pollution and human health risks (e.g. Oglesby, et al., 2000; Klæboe et al., 2000; Llop et al.,

2008, Stenlund et al, 2009; Egondi et al., 2013), comparatively, there are few studies exploring the perceived annoyance caused by air pollution in urban industrialized areas.

The term "annoyance" is presented by Michaelis (2000) as: "1. That offers no comfort; 2. That causes discomfort; 3. What bores, annoys; 4. What bothers dislike or intrusive; 5. Disorder, disturbance; 6. Mild disease, unwell...". Furthermore, WHO defines health as a "state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity". Therefore, annoyance caused by air pollutants can be considered as a significant public health problem.

Some studies have investigated annoyance caused by air pollution by exploring correlations between annoyance and concentrations of air pollutants, such as PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, NH₃ (Vallack & Shillito, 1998, Klæboe et al., 2000; Rotko et al. 2002; Amundsen et al., 2008; Blanes-Vidal et al., 2012) and identified factors that may influence the quantitative results of the exposure - response relationship, particularly with regard to the determinant variables of the perceived annoyance. In such studies, standard techniques were in general applied, - for example correlation-based methods such as regression models - while more complex multivariate methods have not been used, especially for the analysis of qualitative variables (such as sociodemographic factors) that are determinants of the perceived annoyance reported by people.

Annoyance is an extremely subjective variable (Berglund, Berglund & Lindvall, 1987), so the first step in identifying how the different factors and variables affect the perception of annoyance, is to study the relationship between the variable of annoyance and those factors or groups of variables. One way to better understand this relationship is through the analysis of correspondence. Multiple correspondence analyses is a multivariate analysis technique for categorical data that allows to graphically assess the differences, similarities and relationships between variables and their response categories (Benzécri et al., 1973; Greenacre & Blasius, 2006).

The objective of the present work is to investigate a number of variables that can explain the perception of annoyance caused by air pollution, using a multivariate method, i.e. Multiple Correspondence Analysis (MCA). Such a technique has not been applied before in relation to air pollution annoyance, and therefore, the analysis of correspondence through specific concepts and parameters presented here, can contribute to the dissemination of the technique in studies of exploring air pollution and health problems. The technique is developed and evaluated using datasets from two surveys conducted in different urban and industrialized

regions, namely Dunkirk (France) and Vitoria (Brazil) so as to allow comparison of the results and to enable further insight in the parameters affecting perceived annoyance from air pollution.

2. Materials and Methods

Characteristics of the regions

The study was conducted in two distinct urban industrialized regions: Dunkirk (France) and Vitoria (Brazil), thus allowing comparison of the annoyance levels observed in two cities with similar characteristics and providing further insight on the relationship between annoyance and air pollution parameters. It should be noted that both cities are located in coastal, port and industrial areas with potential sources of air pollutants (Figure 1 and Figure 2). Despite the geographic and socioeconomic differences between these regions, both are exposed to air pollution and their populations often report to local authorities that they are annoyed by air pollution.

Dunkirk

The metropolitan area of Dunkirk (Figure 1) has about 210,000 inhabitants and is located on the northern coast of France in the region of Nord-Pas-de-Calais, 10 km from the border with Belgium. The topography of the area is flat, with natural alluvial plains drained by waterways.

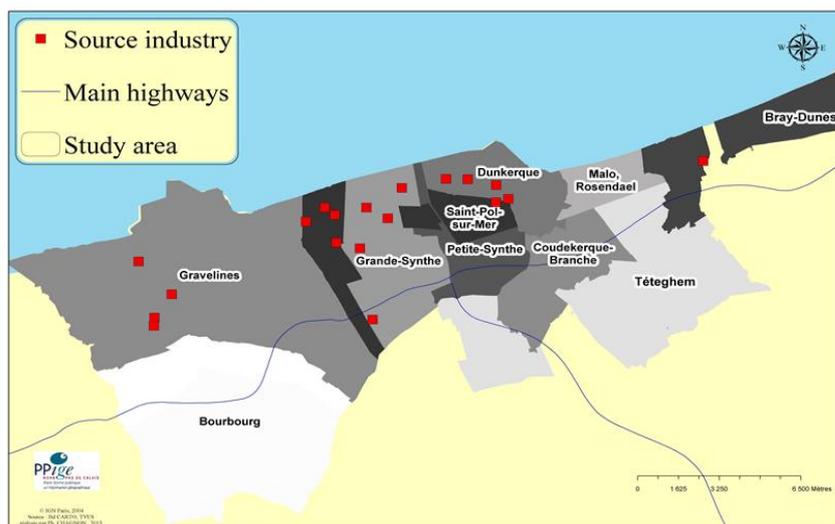


Figure 1. Sub-regions of interest and the main emission sources in Dunkirk

This region is marked by the presence of an industrial port area, which stretches for almost 20 km, and includes a high density of industrial facilities, most of which are large emitters of air pollutants. The climate in Dunkirk region is oceanic. The flatness clearly explains the high level of precipitation, but with a distinct maximum in the fall, typical of a coastal climate. The coastal

climate is strongly influenced by the wind: summer breeze sometimes contributes to increased sunshine, but there are also episodes of "squalls" accompanied by penetrating winter rains. Marine winds from the north-east sector are quite common. These conditions are favorable, in general, for the quality of the air when the winds disperse pollutants towards the sea. However, sea breezes and northerly winds, which is fortunately a rarer wind direction sector, often result to pollution episodes (PPA, 2002).

Vitoria

The metropolitan region of Vitoria has about 1,500,000 inhabitants (IBGE, 2010) and is located on the south-eastern coast of Brazil (Figure 2). The topography is characterized by mountain ranges in the north and western portions, plains and highlands in the northern part and lowlands in the southern part. The land use is also variable, including large areas with vegetation cover and large paved areas and surrounding towns. The proximity to the ocean and the topography are factors that control the weather conditions, such as sea breeze and the formation of rain.

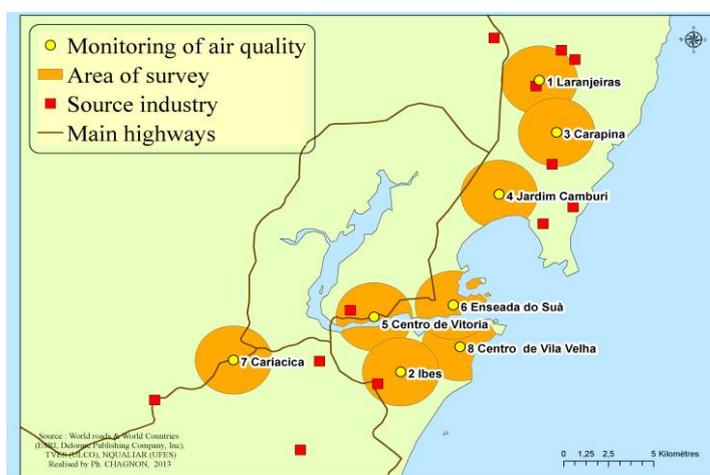


Figure 2. Sub-regions of interest (yellow) and the main emission sources (red) in Vitoria.

The climate in the Vitoria Region is classified as tropical hot and humid. This climate type is characterized by long summers (usually October to April) and high temperatures, with maximum temperatures occurring usually in December and January. Winter is weak, with average temperature of the coldest month about 18°C, the cold sensation existing occasionally when there is occurrence of cold fronts. The prevailing wind direction is north-easterly (IEMA, 2011b, IEMA, 2013) and it contributes to the dispersion of pollutants emitted from industry towards the city.

The surveys

A face to face survey has been conducted in the Dunkirk region in 2008. In total, 519 people (over 18 years) were interviewed in the Dunkirk region. For the survey purpose the region was divided into 10 sub-regions: Bourbourg, BrayDunes/Leffrinckoucke, Téteghem, Coudekerque Branche, Gravelines, St Pol sur Mer, Grand Synthe, Petite-Synthe, Dunkirk and Malo/Rosendael.

The questionnaire used in the Dunkirk 2008 survey was adapted and applied in the Vitoria region in 2011. In the Vitoria region, 515 individuals (over 16 years) were interviewed in total. The individuals questioned in Vitoria were proportionally distributed in the region around the 8 air quality monitoring station areas: Laranjeiras, Ibes, Jardim Camburi, Vitoria-Centre, Enseada do Sua, Cariacica and Vila Velha-Centre.

The surveys contained questions concerning socioeconomic and demographic factors such as age, level of education, occupation, habits, gender and place of residence. The main questions of the surveys were related to the perceived annoyance caused by air pollution, to the risk associated to air pollution, to the importance and the assessment of air quality, to claimed health problems, to air pollution sources and to the meteorological conditions/season of the year. Table 1 presented the questions from both surveys selected for this work, the variable from each question and the factor groups of variables.

TABLE 1
THE QUESTIONS OF THE TWO SURVEYS AND THE FACTOR GROUPS **FOR THE VARIABLES REPRESENTED BY THESE QUESTIONS**

Question	Variable	Factor groups
Do you feel annoyed by air pollution?	Annoyance	Air pollution
Is air quality important to you?	Importance or air quality	
How do you feel regarding industrial risk	Industrial risk perception	
How do you rate air quality in your	Assessment of air quality	
How often do you perceive air pollution due to	Air pollution perception	
Where do you live?	Dunkirk-locals	Local
	Vitoria- locals	
What is your gender?	Gender	Socio-demographic
Who old are you?	Age	
What is your occupation?	Occupation	
What is your level of education?	Level of education	
Do you or someone in your household have (or	Health problems	Health
What are the main health problems caused by	Health effects	
What is the main source of settled dust in your	Source	Cause
Do you think that air pollution/settled	Meteorological conditions	
If yes, in which season is air pollution/settled dust	Season	
Do you think air pollution is worst during the day	Day/ Night	

3. Measured air quality levels

Dunkirk

Dunkirk is the third largest port in France and an industrialized city containing steel, food, pharmaceutical and chemical industries and an oil refinery and also a nuclear power station for electricity production. These anthropogenic activities present potential sources of particulate matter, which is the main cause of complaints by the resident population in this region. Measurement of air pollutant concentrations have been carried out by air quality monitoring stations distributed according to the French national guidelines (ADEME, 2002), which implement European Union Directives 96/62/EC and 99/30/EC.

According to the protection plan of the atmosphere (PPA, 2002) the inventory of emissions for Dunkirk clearly shows that the industrial sector is the largest emitter of pollutants. For particulate matter less than 10 micrometers in diameter (PM₁₀) the main sources in the region are, industries, incineration plants, collective and individual heating, road transport. The same sources are responsible for settled particles that are larger than 10 micrometers in diameter, which settle more quickly and are associated with fumes, loss of visibility and dirt, therefore causing annoyance. There is no air quality standard for this pollutant in this region. In PPA (2002) there are measures established for local industries, to prevent and reduce the dispersion of settled particles, such as spraying water on stock piles, watering paths and storage areas, changing the conditions of discharge.

Table 2 shows the descriptive statistics of 24-hour-mean concentrations of PM₁₀ measured in all the air quality stations during 2008 (Atmo Nord-Pas-de-Calais, 2009), i.e. the year that the survey took place.

TABLE 2
DESCRIPTIVE STATISTICS OF PM₁₀ CONCENTRATIONS (µg/m³) AT THE DUNKIRK MONITORING STATIONS IN 2008

Stations	Minimum	Maximum	Percentile 90%	Percentile 95%	Mean	Std. deviation
Dunkerque Centre	6.476	84.875	31.768	34.988	21.510	8.954
Malo-les-Bains	6.042	63.208	27.667	31.442	19.104	8.036
Fort-Mardyck	6.625	158.810	50.683	56.561	31.597	16.895
StPol/merNord	5.652	143.087	54.322	64.404	34.194	17.029
Petite-Synthe	7.292	80.250	31.438	36.488	21.442	9.709
Grande-Synthe	8.174	114.250	46.604	57.496	27.694	16.712
Mardyck	5.870	101.143	47.414	61.165	25.390	16.991

Concentrations measured differ greatly among the stations, for example at Fort Mardyck and St Pol Mer Nord presented the largest maximum values and the largest variability (as the standard deviation and the difference between the minimum and maximum values suggest) and

in Malo-les-Bains and Petite-Synthe happen the opposite. In all locations, 24-hour-mean concentrations of PM₁₀ have maximum values higher than the respective WHO annual air quality guideline for PM₁₀ (WHO, 2005). Furthermore, although the mean values are less than 50 µg/m³ in all stations, the other statistical parameters (standard deviation, 90% and 95% percentile values, maximum) show the occurrence of high concentration peaks during the period.

Vitoria

The metropolitan region of Vitoria comprises a large port system, heavy vehicular traffic and an industrial park that includes, among others, steel production, pelletizing, quarry, cement and food industries, chemical industries and an asphalt plant (IEMA, 2011a) that are potential sources of air pollution. To monitor the air quality in the Vitoria region, eight air quality monitoring stations set in different locations are managed by the local environmental agency (IEMA). According to IEMA (2011a), the major contributor sources of total particles in Vitoria are vehicular emissions (emission of particles from heavy traffic arteries) followed by industrial emissions (mainly the mining and steel industries). As in Dunkirk, also in this region there is no air quality standard for settled particles. A recent study by Souza (2011) suggests that most of the complaints received by the local environmental agency are related to nuisance from dust. Table 3 presents the descriptive statistics of 24-hour-mean concentrations of PM₁₀ measured during 2011 at the eight air quality monitoring stations located in the Vitoria region (IEMA, 2011b), except to Vila Velha-centro station, which in 2011 did not register enough data (min70%) for analysis.

TABLE 3
DESCRIPTIVE STATISTICS OF PM₁₀ CONCENTRATIONS (µg/m³) AT THE VITORIA MONITORING STATIONS.

Stations	Minimum	Maximum	Percentile 90%	Percentile 95%	Mean	Std. deviation
Laranjeiras	8.292	85.583	50.580	57.083	33.600	12.606
Carapina	2.889	84.769	31.018	35.410	21.514	7.861
Jardim Camburi	7.750	76.667	29.123	32.385	21.444	7.176
Enseada do Suá	9.708	71.286	41.146	46.136	29.445	8.774
Vitória Centro	11.130	83.125	41.458	47.458	29.265	9.316
Vila Velha-Ibes	6.417	76.750	46.875	52.292	31.229	12.094
Cariacica	11.167	115.208	73.042	85.016	46.678	19.454

The data show that the largest mean concentration value as well as the largest variability (as suggested by the standard deviation and the difference between the minimum and maximum values) occurred at the Cariacica station. In all air quality stations, the maximum value is higher

than the WHO annual air quality guideline for PM₁₀ (WHO, 2005). As in the case of Dunkirk, although the mean values are less than 50 µg/m³ in all stations, the other statistical parameters (standard deviation, 90% and 95% percentile values, maximum) show the occurrence of high concentration peaks during this year.

4. Multiple Correspondence Analysis (MCA)

According to Le Roux & Rouanet (2010) the core of correspondence analysis was established in 1963 (see, e.g., Benzécri, 1969) as a geometrical method in France, and then for Europe, but only after 1980 books in English were published for example Grenacre 1984, Benzécri, 1992, Le Roux & Rouanet, 2004. MCA can be viewed as an extension of simple correspondence analysis in that it is applicable to a large set of categorical variables (Greenacre, 2007). MCA, as the counterpart of PCA for categorical variables, became standard for the analysis of questionnaires (Le Roux & Rouanet, 2010).

MCA is a multivariate data analysis technique for categorical data, used to detect and represent data graphically (by the scatterplot) as a set of points with respect to two perpendicular coordinate axes: the horizontal axis often referred to as the x-axis and the vertical one as the y-axis. The objective of this technique is to analyse graphically the relationships between variables, response categories and objects by reducing the dimensionality of the data set (Crivisqui, 1995; Lebart et al., 1984). The application of MCA is done using contingency tables to determine the degree of association between its rows and columns indicating the relationships. The graphical representation can be made for individuals, for the variables, for the response categories and for the categories and individuals (Le Roux & Rouanet, 2010).

To apply MCA in the present study, data are initially represented by a table of respondents versus questions: the lines represent the respondents participating in the survey and the columns represent the questions that were applied by questionnaire, so each filled cell is the response category (answer) chosen by each individual for each question. The questions are categorized variables with finite number of response categories, for example, to the question "Do you feel annoyed with air pollution?", the variable "annoyance" has the following response categories (with their encodings): not annoyed (ANNOY-1); Slightly annoyed (ANNOY-2); very annoyed (ANNOY-3); extremely annoyed (ANNOY-4) with also the possibility of "no response/not known (NR/NK)" (ANNOY-9/99). Each respondent can choose one and only one response category for each variable or question. Thus, if the individual of line 1 answered "very annoyed" to the above question the variable cell was filled with the "ANNOY-4" category, and so on for all the individuals for each variable.

According to Le Roux & Rouanet (2010), interpretation of MCA outcome is based on the observation of the cloud of points, which is defined as a finite set of points in a geometric space. The cloud of points can represent variables, response categories and individuals, but in this work the cloud of points represent the response categories. The great advantage of MCA is the possibility to reduce the multi-dimensional space in an optimal subspace that allows the study the scatterplot and the consequent analysis and interpretation of results. The generated graphs allow to visually assessing whether all variables of interest have associations among them and also allow knowing how to give these associations.

The size of the scatterplot depends on the number of information pieces in each row or column, minus one. If the number of columns is related to the K categories of responses of the Q variables, the maximum dimensionality of the scatterplot of categories is given by:

$$(K_1 - 1) + \dots + (K_q - 1) + \dots + (K_Q - 1) = (K_1 + \dots + K_q + \dots + K_Q) + (-1)Q = K - Q \quad \text{Eq.01}$$

The dimensionality reduction is normally made to \mathbb{R}^2 , to facilitate interpretation of the cloud of points (scatterplot). Le Roux and Rouanet (2010) define the middle point of the cloud of point in the following way: Let P be any point in space and $(M^k)_{(k=1,2, \dots, K)}$ the points of categories for the scatterplot. The midpoint of the cloud point is the G point by the vector \overline{PG} as:

$$\overline{PG} = \frac{1}{n} \sum \overline{PM^k} \quad \text{Eq.02}$$

The point G does not depend on the choice of the point P , i.e., whatever the chosen point P is, point G is always the same. So the point G is defined as the average of the coordinates of all points given by:

$$G = \frac{1}{n} \sum M^k \quad \text{Eq.03}$$

The distance between points depends on the different choices of response categories for each variable. The lower the frequencies of the response categories are, the greater the distance between individuals become. Let n'_{kk} be the number of subjects who chose both categories k and k' , then the square of the distance between M^k and $M^{k'}$ is:

$$d^2(M^k M^{k'}) = \frac{n_k + n'_k - 2n'_{kk}}{(n_k n'_k)/n} \quad \text{Eq. 04}$$

As more categories k' and k are chosen for the same individuals, as shorter the distance between M^k and $M^{k'}$ is, and as closer two category points are, the stronger is the association between them. As lower the frequency for the category k is, the farther from the centre the point M^k and $M^{k'}$ is. The less frequent the category of response is, the more it contributes to the overall

variance of the cloud of individual points. And the less frequent the standard of responses of an individual is, the more it contributes to the total variance (Le Roux and Rouanet, 2010).

The first principal axis of a cloud of categories can be defined as the line passing through the midpoint of the cloud. The second main axis is perpendicular to the first one and is also passing through the midpoint of the cloud of categories points. The same process is followed to define the third axis, the fourth axis, and so on. There are no set rules for the number of axes to be analysed (Grenacre, 2006). In this study, it appears that the first two axes hold the highest percentage of the total variability of the data. Therefore, scatter plots of categories are formed from the first two axes.

The results of the MCA can be confusing depending on the number of variables. Because of this, the values of the contributions generated from the application of ACM “collaborate” in the interpretation of the axes (Le Roux and Rouanet, 2010). Therefore, in the present work the contribution of each category as well as their sum are analysed to identify the variable that most contributes to the interpretation of a particular axis.

To apply the MCA, it is possible to select rows and columns that will generate the active points and also the illustrative points (supplementary points). The active points are responsible for determining the orientation of the principal axes, providing the necessary information for the construction of the optimal cloud of categories points. However, it is possible to include more information which is represented by supplementary or illustrative points. The supplementary points may be plotted on the map along with the active points, and they are useful in interpreting features discovered in the primary data, but do not contribute to the construction of the axis (Grenacre, 2007). Thus, supplementary points are used to represent information about the phenomenon under study and invariable information over time, such as sex, race, or information for infrequent categories.

According to Le Roux & Rouanet, (2010) the contribution of a category point to construct a particular axis defines the importance of this point for this same axis. Through the coefficients of this contribution, it is possible to identify which categories (or points) should be considered for the interpretation of each principal axis. The relative contribution constitutes the axis contribution to the variance of the individual point, so that the quality of representation of a point corresponds to the sum of the squared cosines of axes 1 and 2. The test values assist the interpretation, but they don't contribute to the total variance and are interpreted to diagnose how well represented the supplementary points are (Greenacre, 2007).

5. Results and discussions

To generate each MCA stage, the active and supplementary variables were defined and the number of factors to compose the factorial plans was set. This decision was based on the analysis of the composition of the populations study. There are no set rules defining how many factorial plans should be scanned in graphics (Le Roux & Rouanet, 2010). To facilitate interpretation, a decision was made to select the first two factorial plans (axis 1 and 2) to compose the correspondence graph or the cloud of points (scatter plot). Table 1 presents the questions of interest, the selected variables to represent these questions and the factors represented as groups of variables/ questions. The variables selected to all response categories were unified to a single database with the results of both surveys, since the goal is to analyse differences and associations among annoyance caused by air pollution and the selected variables (Table 1) to better understand/explore this problem. The sociodemographic and local variables are considered in order to compare differences and similarities between the respondents' opinions in the two study areas. Table 4 presents the results obtained using the MCA from a matrix intersection of 1033 individuals or respondents (rows) and their responses categories to the five questions (columns) of the questionnaire (factor group named as “air pollution” in Table 1) from the surveys conducted in both study areas.

TABLE 4
MCA RESULTS OF THE ACTIVE VARIABLES GROUPED UNDER THE “AIR POLLUTION” FACTOR GROUP

Active variables	Categories	Code	Freq. (%)	Coordinates		Contributions		Squared cosines	
				Axis F1	Axis F2	Axis F1	Axis F2	Axis F1	Axis F2
Annoyance	Not annoyed	ANNOY 1	167(16.16)	1.248	0.743	0.132	0.058	0.300	0.106
	Slightly ann.	ANNOY 2	265 (25.65)	0.313	-0.190	0.013	0.006	0.034	0.012
	Very Annoyed	ANNOY 3	458 (44.33)	-0.271	-0.510	0.017	0.075	0.059	0.207
	Extremely ann.	ANNOY 4	139 (13.45)	-1.251	1.162	0.111	0.119	0.243	0.210
	NR/NK	ANNOY 9/99	4 (0.38)	1.709	-0.463	0.006	0.001	0.011	0.001
Importance of air quality	Not important	IMP 1	11(1.06)	2.390	2.932	0.032	0.060	0.062	0.093
	Slightly imp.	IMP 2	28 (2.7)	1.643	1.684	0.038	0.050	0.075	0.079
	Very important	IMP 3	423(40.94)	0.358	-0.286	0.028	0.022	0.089	0.057
	Extremely imp.	IMP 4	566(54.79)	-0.406	0.078	0.047	0.002	0.199	0.007
	NR/NK	IMP 9/99	5 (0.48)	1.189	-0.558	0.004	0.001	0.007	0.002
Industrial risk perception	Not exposed	RISK 1	76(7.3)	1.518	0.941	0.089	0.042	0.183	0.070
	Slightly exp.	RISK 2	186 (18.0)	0.716	-0.295	0.049	0.010	0.113	0.019
	Very exposed	RISK 3	508 (49.17)	-0.150	-0.436	0.006	0.061	0.022	0.184
	Extremely exp.	RISK 4	255 (24.68)	-0.738	0.785	0.071	0.099	0.179	0.202
	NR/NK	RISK 9/99	8 (0.77)	1.980	0.564	0.016	0.002	0.031	0.002
Assessment of air quality	Excellent	AIRQ 1	10(0.96)	1.886	0.575	0.018	0.002	0.035	0.003
	Good	AIRQ 2	178 (17.23)	0.649	0.114	0.038	0.001	0.088	0.003
	Bad	AIRQ 3	601 (58.18)	0.030	-0.414	0.000	0.065	0.001	0.238
	Horrible	AIRQ 4	222 (21.49)	-0.783	0.952	0.069	0.127	0.168	0.248
	NR/NK	AIRQ 9/99	22 (2.1)	0.978	0.504	0.011	0.004	0.021	0.006
Air pollution perception	Never	PPOL 1	20(1.9)	1.529	1.808	0.024	0.041	0.046	0.065
	Sometimes	PPOL 2	146 (14.13)	1.110	-0.261	0.091	0.006	0.203	0.011
	Often	PPOL 3	474 (45.88)	-0.091	-0.289	0.002	0.025	0.007	0.071
	Always	PPOL 4	375 (36.3)	-0.495	0.256	0.047	0.016	0.140	0.037
	NR	PPOL 9	3 (0.29)	0.512	-1.801	0.000	0.006	0.001	0.009
	NK	PPOL99	15(1.45)	2.324	3.219	0.041	0.098	0.080	0.153

The response options (categories), encoding, frequency and percentages, coordinates of the two axes (F1 and F2), contributions in the construction of the two axes and the squared cosine values are also presented in Table 4 for each active variable.

The coordinates for the axis F1 and F2 are the position of each category in the scatter plot (cloud of points). The proportion of the variance of the cloud due to the point is called the contribution of the point to the cloud. Thus, the sum of the category contributions for each variable in Table 4 shows that the active variable “annoyance” contributes the most to the cloud and also to each axis (annoyance contributes 27.9% to the axis F1 and 25.9% to F2). The quality of the representation can be confirmed by the sum of the squared cosines.

Figure 3 is the correspondence graph (scatterplot) with the coordinates of axes F1 and F2 generated for the active variables shown in Table 4 (“air pollution”) and the supplementary variables shown in Table 5 (“local”). The axes F1 and F2 explain about 71% of the variability from the database, considering all active variables simultaneously, which is considered as an excellent performance (Le Roux & Rouanet, 2010).

Analysing the direction from right to left on the F1 axis there is a progressive tendency for increased levels of annoyance as indicated by the respective categories (ANNOY1-not annoyed, ANNOY2- slightly annoyed, ANNOY3-very annoyed and ANNOY4-extremely annoyed). The same progressive tendency can be observed for the variables: importance of air quality (IMP1-not important, IMP2- slightly important, IMP3-very important, IMP4-extremely important); industrial risk perception (RISK1-not exposed, RISK2- slightly exposed, RISK3-very exposed, RISK4-extremely exposed); assessment of air quality (AIRQ1-excellent AIRQ2-good, AIRQ3-bad, and AIRQ4-horrible); and air pollution perception (PPOL1-never, PPOL2-sometimes, PPOL3-often, PPOL4-always). Thus, the first axis F1 can be considered as defining (from the right to the left) a particular scale of “perceived annoyance”, and the second axis F2 appears to oppose moderate response categories (lower side) to both extremely positive and extremely negative responses.

The scatter plot can be interpreted through the parabolic shape of the cloud of points of the chart from the bottom up to the center setting categories for “little” and “moderate” levels, while the upper right corresponds to the “not” level and the upper left to the categories represented by the level “very”. Such a pattern of response suggests what is known in the literature as the “Guttman effect” (Greenacre & Blasius, 2006) or “horseshoe effect” (Van Rijkevorsel, 1987 apud Greenacre & Blasius, 2006) due to its parabolic shape or arch. With MCA, the structures of the multivariate data are often visualized in a two-dimensional representation. This is a structured form of the distribution of the categories of annoyance levels, which are arranged in a

hierarchical way, from those who do not report nuisance (upper right), to those who express moderate annoyance (vertex of the parabolic) and arriving at extremely annoyed level (top left). The joint progression of annoyance levels and other active categories from right to left in axis F1 indicates that an individual who reported being extremely annoyed due to air pollution also thought that the air quality was extremely important, felt extremely exposed to industrial risks, assessed air quality as horrible and always perceived air pollution by dust/odour/air visibility.

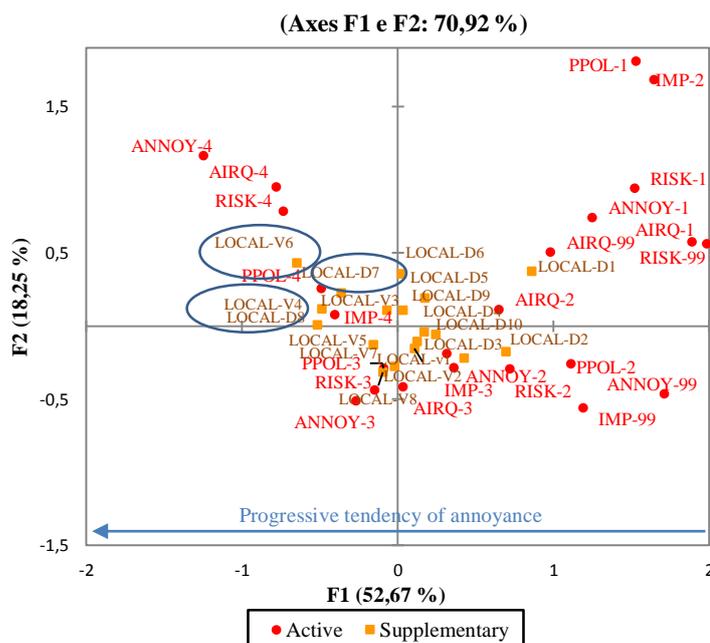


Figure 3. MCA results for the “air pollution” group of active variables and the “housing location” group of supplementary variables.

Another possible pattern visible in Figure 3 is the “battery effect” it is often observed in survey analysis, which the respondents choose similar answers without necessarily considering the content of the questions. However, it is not “battery effect” caused by questions because these questions were not presented in the same order to the Dunkerquoises (Dunkirk inhabitants) and the Capixabas (Vitoria inhabitants) as selected for this analysis. Furthermore, the response options presented for the question concerning the assessment of air quality were ordered in such a way that they express “opposed feelings” in relation to the response to other questions, causing the respondent to give due regard before answering.

Table 5 presents the categories for the sub-regions/areas where the respondents live, the code for each location, the frequencies and percentages of responses, the coordinates for each response category and the test values for the axes F1 and F2 related to the supplementary variables of the “Local” group. The test value is an indication of the significance of the obtained results (5% p-value or 1.96 p-value in absolute terms) (Crivisqui, 1995). The test value was

calculated as the distance from each point to the origin of the axes F1 and F2 (in Figure 2), in numbers of standard deviations.

TABLE 5
MCA RESULTS OF THE SUPPLEMENTARY VARIABLES GROUPED UNDER THE “LOCAL” FACTOR GROUP

Supplementary Variables	Category	Code	Freq. (%)	Coordinates		Test value	
				Axis F1	Axis F2	Axis F1	Axis F2
Dunkirk	Bourbourg	LOCAL-D1	24 (2.32)	0.856	0.376	4.240	1.864
	BrayDunes/Leffrinckoucke	LOCAL-D2	33 (3.19)	0.694	-0.175	4.048	-1.020
	Téteghem/Coudekerque/Village	LOCAL-D3	31 (3.00)	0.124	-0.105	0.702	-0.592
	Coudekerque Branche	LOCAL-D4	82 (7.93)	0.242	-0.058	2.280	-0.547
	Gravelines	LOCAL-D5	60 (5.80)	0.174	0.189	1.385	1.508
	St Pol sur Mer	LOCAL-D6	83 (8.03)	0.024	0.359	0.228	3.406
	Grande Synthe	LOCAL-D7	52 (5.03)	-0.365	0.224	-2.699	1.660
	Petite-Synthe	LOCAL-D8	35 (3.38)	-0.518	0.007	-3.114	0.044
	Dunkerque	LOCAL-D9	30 (2.90)	0.030	0.106	0.166	0.590
	Malo/Rosendael	LOCAL-D10	88 (8.51)	0.166	-0.041	1.629	-0.403
Vitoria	Laranjeiras	LOCAL-V1	51 (4.93)	0.424	-0.219	3.102	-1.606
	Ibes	LOCAL-V2	82 (7.93)	0.104	-0.154	0.986	-1.450
	Carapina	LOCAL-V3	37 (3.58)	-0.074	0.108	-0.456	0.669
	Jardim Camburi	LOCAL-V4	67 (6.48)	-0.489	0.116	-4.138	0.980
	Centro de Vitoria	LOCAL-V5	51 (4.93)	-0.160	-0.127	-1.171	-0.928
	Enseada do Suaç	LOCAL-V6	52 (5.34)	-0.651	0.430	-4.812	3.177
	Cariacica	LOCAL-V7	85 (8.22)	-0.023	-0.274	-0.220	-2.639
	Centro de Vila Velha	LOCAL-V8	90 (8.71)	-0.096	-0.315	-0.958	-3.130

It is important to observe the negative test values (Table 5), since the negative values in axis F1 correspond to the local variables or the area where people have reported to be very annoyed, while positive test values correspond to the area where people have reported little or no annoyed by air pollution.

According to the correspondence graph in Figure 3, the locations where respondents reported being very annoyed due to air pollution correspond to the localities that have negative test values (on the left part of the F1 axis): Grande Synthe (LOCAL-D7) because their location is at -2,699 standard deviations from the mean point (origin) on axis F1; Petite-Synthe (LOCAL-D8) test value = 3,11; Jardim Camburi (LOCAL-V4) test value = 4,138 and Enseada do Sua (LOCAL-V6) test value= -4,812. Thus, residents in this sub-regions reported intense levels of annoyance and also reported being very exposed to industrial risk, often assessed the air quality as “horrible” and perceived high levels of air pollution due to dust/odour/opacity in their neighbourhoods. It is very interesting to note that a comparison with the air quality results shown in Tables 2 and 3, suggests that, for both urban regions, the areas where the inhabitants reported higher levels of annoyance do not correspond with the areas where higher mean of particulate pollution were measured by the network of monitoring stations.

Figure 4 shows the correspondence graph between the active variables in the “air pollution” group and the supplementary variables in the “sociodemographic” group. In this graph, the local variables were removed to facilitate visualization of the correspondence with sociodemographic

variables: gender, age, occupation and level of education. Visually the most supplementary variables are close to the origin of the graph (in which a zoom was made).

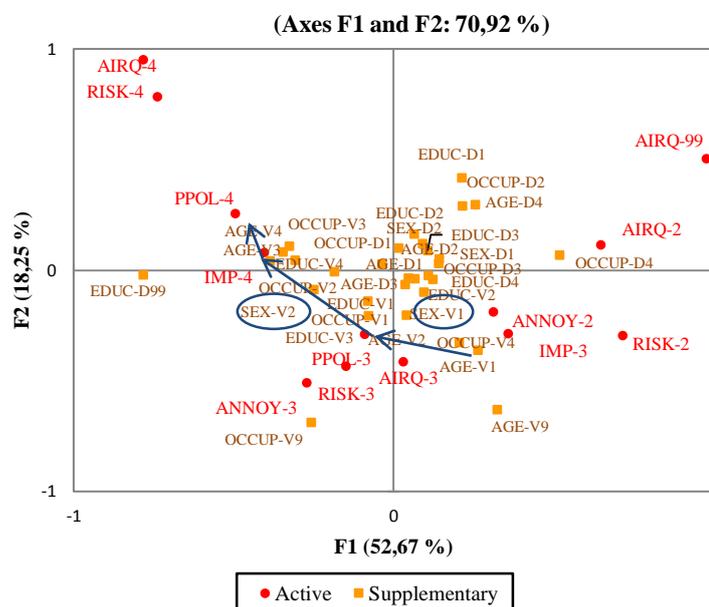


Figure 4. MCA results for the “air pollution” group of active variables and the “sociodemographic” group of supplementary variables.

Table 6 shows the results (frequency, coordinates and test value) for the correspondence graph in Figure 4 by each response category of sociodemographic variables. For Vitoria, it is possible to see that women reported being more annoyed than men, while in Dunkirk this same association was not significantly. Consequently, in Vitoria women felt more exposed to industrial risk, assessed air quality as more important and perceived air pollution by dust/odour/opacity more than men.

According to Fisher et al. (1991), these gender differences are noticeable especially in relation to environmental risks. Explanations are linked to the social roles of women in society, roles that are most often oriented towards health and children. Gustafson (1998) also discusses this difference between men and women in relation to their roles in society and the power relations that exist between them. For example, women are considered to be more sensitive to environmental risks because they take care of their homes and children and clean the house normally more frequently than men, especially in more conservative societies.

TABLE 6
MCA RESULTS OF THE SUPPLEMENTARY VARIABLES GROUPED UNDER THE
“SOCIODEMOGRAPHIC” FACTOR.

City	Supplemen- -tary variables	Category	Code	Freq. (%)	Coordinates		Test value	
					Axis F1	Axis F2	Axis F1	Axis F2
Dunkirk	Gender	Male	SEX-D1	211 (20.426)	0.232	0.090	2.337	0.818
		Female	SEX-D2	307 (29.719)	0.145	0.219	1.881	2.535
	Age	16-24	AGE-D1	77 (7.454)	0.066	-0.040	0.598	-0.368
		25-34	AGE-D2	83 (8.035)	0.017	0.100	0.162	0.947
		35-54	AGE-D3	191 (18.490)	0.046	-0.036	0.699	-0.547
		>55	AGE-D4	167 (16.167)	0.256	0.296	3.610	4.183
	Occupation	Employed	OCCUP-D1	247 (23.911)	-0.035	0.028	-0.635	0.502
		Unemployed	OCCUP-D2	107 (10.358)	0.215	0.290	2.344	3.164
		Retired	OCCUP-D3	108 (10.455)	0.142	0.029	1.558	0.322
		Student	OCCUP-D4	54 (5.227)	0.520	0.069	3.925	0.523
		NR/NK	OCCUP-D99	2 (0.194)	0.128	1.531	0.181	2.167
	Education level	No formal education	EDUC-D1	48 (4.647)	0.213	0.417	1.510	2.957
		Primary school	EDUC-D2	92 (8.906)	0.064	0.164	0.641	1.643
High school		EDUC-D3	213 (20.620)	0.107	0.087	1.759	1.431	
University		EDUC-D4	164(15.876)	0.123	-0.041	1.723	-0.568	
NR/NK		EDUC-D99	2 (0.194)	-0.784	-0.021	-1.109	-0.030	
Vitoria	Gender	Male	SEX-V1	205 (19.845)	0.153	-0.180	1.517	-1.597
		Female	SEX-V2	310 (30.010)	-0.404	-0.159	-5.251	-1.858
	Age	16-24	AGE-V1	140 (13.553)	0.263	-0.362	3.344	-4.608
		25-34	AGE-V2	71 (6.873)	0.040	-0.204	0.350	-1.782
		35-54	AGE-V3	145 (14.037)	-0.308	0.045	-3.996	0.583
		>55	AGE-V4	156 (15.102)	-0.346	0.082	-4.683	1.106
		NR/NK	AGE-V9	3(0.290)	0.325	-0.632	0.563	-1.096
	Occupation	Employed	OCCUP-V1	226 (21.878)	-0.080	-0.140	-1.362	-2.378
		Unemployed	OCCUP-V2	113 (10.939)	-0.184	-0.008	-2.077	-0.089
		Retired	OCCUP-V3	100 (9.681)	-0.327	0.109	-3.440	1.147
		Student	OCCUP-V4	72 (6.970)	0.205	-0.326	1.804	-2.870
		NR/NK	OCCUP-V9	4 (0.387)	-0.258	-0.690	-0.517	-1.382
	Education level	No formal education	EDUC-V1	7 (0.678)	0.037	-0.064	0.097	-0.171
Primary school		EDUC-V2	131 (12.682)	0.109	-0.025	1.335	-0.307	
High school		EDUC-V3	238 (23.040)	-0.079	-0.207	-1.386	-3.633	
University		EDUC-V4	138 (13.359)	-0.387	0.043	-4.883	0.546	

Regarding the correspondence graph (Figure 4), in Dunkirk there was no significant correspondence visible between the age categories and the annoyance categories. However, in Vitoria it is possible to visualise a progressive relation between age (AGE-V1, AGE-V2, AGE-V3, and AGE-V4) and levels of annoyance. As age increased, the levels of annoyance, importance of air quality, perceived exposure risk, assessment of air quality, and perceived air pollution also increased. This association can be confirmed considering the test values in Table 6. Respondents older than 34 years (AGE-V3, AGE-V4) are associated to being very or extremely annoyed more than young respondents (AGE-V1, AGE-V2). Normally, elderly people are more sensitive to health problems since they belong to the more sensitive population sub-groups (it should be noted that children do not participate in the survey and women responses were discussed above) and also experience the effects of air pollution more often, such as when removing dust for house cleaning, so they report being more concerned with annoyance caused by air pollution. Although this association is not so clear in Dunkirk compared to Vitoria, it should be noted that the results of Lercher et al.(1995) and Klæboe et al.(2000) suggest that older age is a determinant of perceived air pollution.

Regarding occupation, in Dunkirk the unemployed (OCCUP-D2) and student (OCCUP-D4) are on the right side of the F1 axis, thus, they are associated to being slightly or not annoyed by air pollution. While in Vitoria the categories associated to being very and extremely annoyed by air pollution are the retired group (OCCUP-V3) and also the unemployed (OCCUP-V2) on the left side of the F1 axis. This association is punctual for the retired group (test value = -3,44) in Vitoria, and can be justified because generally they are the group with older age that are also associate to being very and extremely annoyed by air pollution.

Considering the corresponding graph (Figure 4) and the test values for level of education categories only in Vitoria, it is possible to see that the university group (EDUC-V4) are on the high levels of annoyance side of the axis F1. Although, Klæboe et al.(2000), suggested that the education level was a determinant of perceived air pollution, in the present analysis there was no correspondence found with annoyance and levels of education for both surveys.

Figure 5 is the correspondence graph between “Air pollution” and “Health” groups. The supplementary variables selected were “health problems” and “health effects”. People who report “no” (HEFE-1) occurrence of health problems caused by air pollution are also the ones who are “less annoyed”. And people who answered “yes” (HEFE-2) to occurrence of health problems are associated to “being very annoyed”.

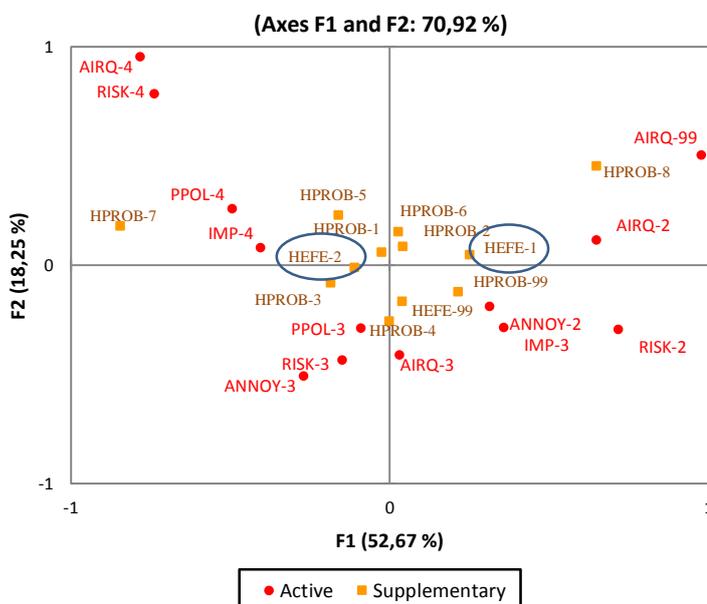


Figure 5. MCA results for the “air pollution” group of active variables and the “health problems” group of supplementary variables

In Table 7, the test value = -5,113 for the variable health problems caused by air pollution, presented indicate the same association, i.g., people who answered “no”(HEFE-1) shown on

the right part of the graph, tend not to feel annoyed by air pollution, while those who responded “yes”(HEFE-2) shown on the left side of the graph, tend to report being extremely annoyed by air pollution. For this group of people that responded “yes”, the main problems reported were eye irritation (HPROB-1) Lung/respiratory (43%) but there is no evident association. And, the test value= -2,85 for health effects, indicate that people who reported being very/ extremely annoyed by air pollution were associated to the ones who reported allergies (HPROB-3). Although, previous epidemiological studies have shown that certain levels of particulate matter concentrations and related pollutants can cause such health effects and increase the number of hospitalizations for respiratory problems (Pope III, 1991; Schwartz, 1991; Braga et al., 2001; Garçon et al., 2006; Llop et al., 2008), in this analysis was no correspondence found with annoyance and health effects.

In order to further explore these survey data, the MCA between the factors groups “Cause” and “Local” was carried out and the active variables “source”, “meteo”, “season” and “day/night” as well as the supplementary variables “Dunkirk” and “Vitoria” were selected for analysis.

TABLE 7
MCA RESULTS OF THE SUPPLEMENTARY VARIABLES GROUPED UNDER THE “HEALTH” FACTOR GROUP

Supplementary Variables	Category	Cod.	Freq. (%)	coordinates		Test value	
				Axis F1	Axis F2	Axis F1	Axis F2
Health problem	No	HEFE-1	304(29.429)	0.249	0.048	5.175	0.999
	Yes	HEFE-2	694 (67.183)	-0.111	-0.013	-5.113	-0.581
	NR/NK	HEFE-99	26 (3.388)	0.039	-0.167	0.234	-1.007
Health effects	Lung/respiratory	HPROB-1	454(43.950)	-0.027	0.057	-0.759	1.630
	Cancer	HPROB-2	95 (9.197)	0.041	0.086	0.420	0.880
	Allergies	HPROB-3	192(18.587)	-0.186	-0.082	-2.856	-1.262
	Bronchitis	HPROB-4	35(3.388)	-0.003	-0.258	-0.017	-1.550
	Asthma attacks	HPROB-5	5 (0.484)	-0.162	0.228	-0.362	0.510
	Eye irritation	HPROB-6	46 (4.453)	0.027	0.152	0.188	1.057
	Stress	HPROB-7	5 (0.484)	-0.846	0.179	-1.895	0.402
	Others	HPROB-8	11 (1.065)	0.648	0.453	2.159	1.510
	NR/NK	HPROB-99	190(18.393)	0.214	-0.123	3.267	-1.880

Table 8 presents the summation of the coordinates, contribution and squared cosine values for each response category. It can be observed that the categories grouped under the “METEO” and “SEASON” contribute significantly to F1 axis. And the categories “SOURCE” contribute significantly to F2 axis. The summation of the contributions of the other response categories as well as the value of the squared cosines for the F1 and F2 axes can confirm such affirmations. Figure 6 presents the correspondence graph between the factor groups “Cause” and “Local”. Analysing the active variable “METEO”, the respondents that answered “no” to the question regarding the influence of meteorological conditions on the perception of air pollution (METEO-2) are located on the right part of the F1 axis, while the left part of the F1 axis

indicates the respondents who answered “yes” (METEO-1). Analysing the active variable “SEASON,” the left part of the F2 axis corresponds with the yes (METEO-1) category it is possible to see a progressive tendency from spring (SEASON-4), to summer (SEASON-1), to autumn (SEASON-2), to winter (SEASON-3). That is, the respondents that reported “yes” to the question about the influence of meteorological conditions on the perception of air pollution also perceived a progressive effect of seasonality from spring and summer to autumn and winter. As shown in others studies (e.g. Castanho & Artaxo, 2001; Albuquerque et. al., 2012) meteorological conditions have a major influence on the suspended particle concentrations, which can explain this association between seasons and perception of air pollution.

TABLE 8
MCA RESULTS OF THE ACTIVE VARIABLES GROUPED UNDER THE “CAUSE” FACTOR GROUP

Active variables	Categories	Cod.	Freq. (%)	Coordinates		Contributions		Squared cosines	
				Axis F1	Axis F2	Axis F1	Axis F2	Axis F1	Axis F2
Source	Vehicle	SOURCE-1	190 (18.393)	-0.111	-0.614	0.001	0.053	0.003	0.085
	Industry	SOURCE-2	688 (66.602)	0.054	0.474	0.001	0.115	0.006	0.448
	Suspension of soil	SOURCE-3	22 (2.130)	0.062	-1.481	0.000	0.036	0.000	0.048
	Building	SOURCE-4	85 (8.228)	-0.006	-1.551	0.000	0.152	0.000	0.216
	Sea breeze	SOURCE-5	21 (2.033)	-0.410	-0.968	0.002	0.015	0.003	0.019
	Others	SOURCE-6	12 (1.162)	-0.479	-1.071	0.001	0.010	0.003	0.013
	NR/NK	SOURCE-99	15(1.452)	-0.182	-0.798	0.000	0.007	0.000	0.009
Meteo	Yes	METEO-1	711(68.829)	-0.651	0.074	0.150	0.003	0.935	0.012
	No	METEO-2	251(24.298)	1.419	-0.336	0.252	0.021	0.646	0.036
	NR/NK	METEO-99	71 (6.873)	1.501	0.449	0.080	0.011	0.166	0.015
Season	Summer	SEASON-1	392(37.948)	-0.702	0.323	0.096	0.030	0.301	0.064
	Autumn	SEASON-2	47 (4.550)	-0.703	-0.001	0.012	0.000	0.024	0.000
	Winter	SEASON-3	189(18.296)	-0.709	-0.888	0.047	0.111	0.112	0.177
	Spring	SEASON-4	49(4.743)	-0.558	1.615	0.008	0.095	0.016	0.130
	Depend industries	SEASON-5	6 (0.581)	-0.472	2.529	0.001	0.029	0.001	0.037
	NR/NK	SEASON-99	350(33.882)	1.349	-0.151	0.318	0.006	0.933	0.012
Day/ Night	Yes	DN-1	427(41.336)	-0.255	-0.556	0.014	0.098	0.046	0.218
	No	DN-2	407(39.400)	0.078	0.003	0.001	0.000	0.004	0.000
	NR/NK	DN-99	199(19.264)	0.388	1.187	0.015	0.209	0.036	0.336

Regarding the active variable “SOURCE”, it is possible to observe the response category “source industry” (SOURCE-2) on the upper-right part of the graph and the categories “building” (SOURCE-4), “suspension of soil” (SOURCE-3), and “vehicle” (SOURCE-1) on the lower-middle of the graph with no association with the variable “METEO”. This clearly shows the important role of industry in relation to air pollution in the two examined industrial urban areas, especially as this is perceived by the population. The response categories “yes” (DN-2) and “no” (DN-1) for perceived air pollution changes between day and night are close to the origin and are non-significant.

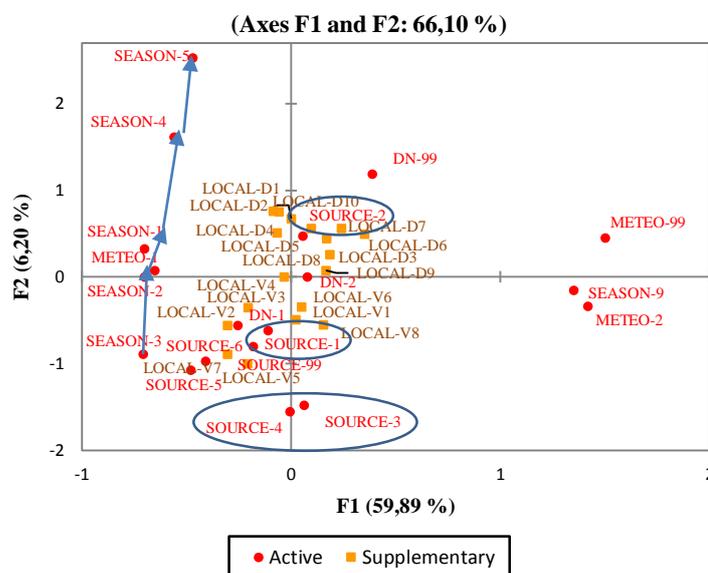


Figure 6. MCA results for the “cause” group of active variables and the “housing location” group of supplementary variables

For the “LOCAL” supplementary variable (parameters presented in Table 9), the lower part of the graph and on the middle and on left of the F1 axis corresponds to the areas in Vitoria showing that the people perceived an influence of weather changes on the quantity of particles or dust (corresponding to METEO-1). The upper part of the graph on the middle and right part of the F1 axis shows that in Dunkirk, there is no perceived association between the meteorological conditions and air pollution (corresponding to METEO-2). This result may be related to the fact that people who live close to industries are already accustomed to pollution and they do not feel the influence of weather changes on the perceived air pollution. Furthermore, as Figure 1 indicates, in Dunkirk industrial pollution sources are more interspersed within the urban area, while in Vitoria they are more at the boundaries of the city (especially northwest, but also partly southeast) and therefore the meteorological conditions – such as wind direction and wind speed – may influence on perceived air pollution to a greater extent.

Regarding the categories “Source” associated with “Local” the results in Figure 6 suggests that, for Vitoria, the locations far from the main industrial areas, like Cariacica (LOCAL-V7) and Vitoria-centro (LOCAL-V5), were found to be associated with the construction work/building source (SOURCE-4) and slightly with the vehicular source (SOURCE-1) of air pollution. It should be noted that in these areas, and especially Cariacica, high levels of particulate pollution were measured by the air quality monitoring stations (Table 3) and according to Santos e Reis

(2011) the main source of particulate matter in Cariacica is construction work. Currently, construction work in Vitoria is developing rapidly in terms of housing construction and paving streets and roads and the number of vehicles is also increasing, which can contribute to increasing air pollution and dust that cause annoyance, especially since these locations are further away from industrial sources. In Dunkirk, the locations close to the main industrial areas, St. Pol Sur Mer (LOCAL-D6), Grande Synthe (LOCAL-D7) and Petite-Synthe (LOCAL-D8) were found to be associated with the “industry” source (SOURCE-2), while the “construction work/building” and “vehicular” sources are not significant, as are the “industrial” sources which are located next to residential areas and visible by the main beaches. St. Pol Sur Mer is also the location in Dunkirk where the highest levels of particulate pollution were measured (Table 2) and also very close to the industry sources.

The above results may also partly be explained due to the size of the population in Vitoria, which is larger than in Dunkirk, and the fact that public transport in Dunkirk is well developed; therefore, the number of vehicles circulating in Dunkirk is not as high as in Vitoria. According to Rotko *et al.* (2002) and Amundsen *et al.* (2008) heavy traffic is related to annoyance caused by air pollution, so this result can explain why people exposed to heavy traffic in Vitoria perceived vehicular sources more significant than Dunkirk, especially in areas which are not as influenced by industrial sources. Also, as noted above, currently the construction sector in Vitoria is developing rapidly both in terms of housing construction and paving streets and roads, which can generate dust that may cause annoyance. As found by Nikolopoulou *et al.*, (2011) the air quality is often considered to be poor at construction sites, which are burdened with higher PM concentrations.

TABLE 9
MCA RESULTS OF THE SUPPLEMENTARY VARIABLES GROUPED UNDER THE “LOCAL” FACTOR GROUP

Supplementary Variables	Category	Cod.	Freq. (%)	Coordinates		Test value	
				Axis F1	AxisF2	Axis F1	AxisF2
Dunkirk	Bourbourg	LOCAL-D1	24 (2.32)	-0.057	0.752	-0.284	3.723
	BrayDunes/Leffrinckoucke	LOCAL-D2	33 (3.19)	-0.001	0.673	-0.007	3.925
	Téteghem/ Coudekerque	LOCAL-D3	31 (3.00)	0.170	0.446	0.960	2.521
	Coudekerque Branche	LOCAL-D4	82 (7.93)	-0.087	0.763	-0.825	7.198
	Gravelines	LOCAL-D5	60 (5.80)	-0.069	0.513	-0.551	4.089
	St Pol sur Mer	LOCAL-D6	83 (8.03)	0.351	0.495	3.330	4.697
	Grande Synthe	LOCAL-D7	52 (5.03)	0.240	0.559	1.772	4.132
	Petite-Synthe	LOCAL-D8	35 (3.38)	0.184	0.259	1.106	1.560
	Dunkirk centre	LOCAL-D9	30 (2.90)	0.165	0.075	0.919	0.414
	Malo/Rosendaël	LOCAL-D10	88 (8.51)	0.094	0.559	0.926	5.485
Vitoria	Laranjeiras	LOCAL-V1	51 (4.93)	0.021	-0.491	0.152	-3.596
	Ibes	LOCAL-V2	82 (7.93)	-0.303	-0.556	-2.860	-5.240
	Carapina	LOCAL-V3	37 (3.58)	-0.205	-0.352	-1.268	-2.177
	Jardim Camburi	LOCAL-V4	67 (6.48)	-0.035	0.003	-0.293	0.023
	Vitoria-centro	LOCAL-V5	51 (4.93)	-0.209	-1.001	-1.531	-7.330
	Enseada do Sua	LOCAL-V6	52 (5.34)	0.049	-0.347	0.360	-2.564
	Cariacica	LOCAL-V7	85 (8.22)	-0.305	-0.893	-2.933	-8.590
	Vila Velha-centro	LOCAL-V8	90 (8.71)	0.155	-0.551	1.537	-5.471

Regarding the test values in Table 9, there is a strong association (not contribution) with the variable that contributes to the F2 axis. The positive test values for the F2 axis are the Dunkirk locations in the upper quadrants of Figure 6, mean the residents which perceived urban air pollution from industries sources. The negative test values for the F2 axis are the Vitoria locations in the lower quadrants, which perceived urban air pollution from construction works and vehicular sources.

6. Conclusions

The purpose of this work was apply multiple correspondence (MCA) analyses technique to explore correspondences between variables in a complex survey about air pollution, environmental issues and quality of life. The multiple correspondence analyses (MCA) technique was applied as a differential tooling to interpret factors by structural properties and significant, graphical relationships of proximity and opposition between points. The factors were chosen by groups of similar variables and interpreted based on analysing the absolute contribution of each variable in the construction of the axes, coordinates, squared cosines and test values. The points in the correspondence graphs were based on the frequency of responses from individuals and in the context of the specific situation of each region. Dunkirk (France) and Vitoria (Brazil) were chosen to analyse the opinion of the population regarding air pollution annoyance and related variables, since people frequently report feeling annoyed by air pollution in both these cities.

The data analysis showed a progressive correspondence between levels of annoyance and the other active variables in the “air pollution” factor group: as the levels of annoyance increased, the levels of the other qualitative variables (importance of air quality, perceived exposure to industrial risk, assessment of air quality, perceived air pollution) also increased. It is possible to conclude that people who reported feeling annoyed by air pollution also thought that air quality was very important, were very concerned about exposure to industrial risks, and assessed air quality often as horrible and frequently perceived air pollution by dust/odour/visibility. And it is important to emphasize that this result cannot be considered “battery effect” since these questions were not applied in the sequence in which it was presents the results analysed. In addition the summary results of PM₁₀ concentration measurements in the two regions showed values above the guidelines established by the World Health Organization, which can be an indicator of attention to the possibility of occurrence of health problems, quality of life problems and complaints about perceived annoyance caused by air pollution. According to the correspondence graph, people who live in areas close to industries,

for example in the present study Petite-Synthe and Grande Synthe in Dunkirk and Enseada do Suá and Jardim Camburi in Vitoria have reported being very annoyed by air pollution, although air pollution measurements suggest that these are not the areas with the highest air pollution levels. Thus, location and the proximity to industrial sources play an important role to explain this phenomenon.

Several studies have explored the association between respondents' perceptions and individual characteristics. With respect to gender and age were corresponded with perceived annoyance in Vitoria while in Dunkirk there was a much more loose correspondence. In general, women were more annoyed than men, while people older than 55 years reported feeling more annoyed than people in other age ranges. Thus we conclude that, for Vitoria, women are more annoyed than man and there is a progressive relationship between age and level of annoyance, importance of air quality, perceived exposure to industrial risk, assessment of air quality and perceived air pollution by dust/odour/visibility.

Socio-economic variables have been shown to be associated with the perception of local air quality, suggesting that these may be important factors in a study of perceived air quality (Kohlhuber et al., 2006). In our study, the relationship between different forms of occupation remains controversial. Was found that involvement of retired and unemployed was associated with high levels of annoyance in Vitoria but, in Dunkirk students and unemployed groups were associated with low or none level of annoyance. Previous studies have associated higher levels of education to be associated with higher annoyance level or poor air quality perceptions (Jacquemin et al., 2007; Kim et al, 2012). Though we did not find a significant association between levels of education and levels of annoyance was found that university people were more concerned about annoyance caused by air pollution than those with no or less than university level in Vitoria and the association was not significant in Dunkirk. The importance of socioeconomic factors in the context of air pollution research has been emphasized because they represent underlying aspects that affect susceptibility, exposure, or disease diagnosis and treatment (Bell et al. 2005). Therefore, there is need for careful choice and interpretation of socioeconomic factors depending on the location, and can be partly attributed to social/cultural difference and to the different weather conditions.

After analysing for individual characteristics, we observed significant association between perceived health risks related to high level of annoyance caused air pollution, importance of air quality, perceived exposure to industrial risk, assessment of air quality and perceived air pollution by dust/odour/visibility. Previous studies reported a significant association between perceived air quality and self-reported health status (Kohlhuber et al., 2006; Llop et al, 2008).

Though self-reported health and perceived health risk refers to different concepts. Perceived occurrence of health problems related to annoyance caused by air pollution was found to be associated with gender (feminine), age, level of education (university groups) and the type of occupation (retired groups) though it varied by study location. The difference between the two sites could be explained by the difference in the age, occupation and education levels of the residents. There were more people older, employed and with university level in Dunkirk as compared to Vitoria, while in Vitoria there are more young people, students and with primary level of education as compared to Dunkirk.

The main health effects by air pollution reported by the respondents are Lung/respiratory, allergies and eye irritation, which are common symptoms for a number of urban air pollutants such as PM and NO_x (WHO, 2005). However, was found association only with allergies and high levels of annoyance. It should be noted that the self-reported health status is often associated with perceived air pollution more than with measured air pollution (Kim et al., 2012). The results of the MCA for the active variable “CAUSE” showed that people perceived that weather conditions and seasonal changes could affect air pollution. This perception was more evident for Vitoria, where heavy industries are at the boundaries of the city and their effect is more influenced by the prevailing meteorological conditions, such as the wind speed and especially direction. In Dunkirk, people identified industrial sources as important cause of air pollution and did not perceive that air pollution annoyance changes with differences in weather. Furthermore, in Vitoria, the influence of building or construction and vehicular sources on the perception of air pollution was evident. Thus, considering the geographic location of these two regions, the weather conditions could influence the perceived annoyance caused by air pollution, and therefore the location can justify this differences.

Although the spatial patterns of the results from PM₁₀ concentration measurements in the two cities do not coincide with the reported levels of perceived annoyance in each sub region, they could provide a better insight to the behaviour of respondents. For example, there is an indication that sources related to construction works, for example, influence more the perception of annoyance from air pollution than the absolute levels of particulate matter measured in an area. Thus, respondents living in the areas with higher air pollution levels appear to distinguish a more significant influence of meteorology on air pollution, possibly since high levels of air pollution are associated to specific meteorological conditions that lead to the accumulation of pollutants from nearby sources in these areas. It is important to note that air pollution perceptions mark differences in the two study areas which indicates that perceptions

in general may depend on an area's overall setting and availability of industries, other pollution sources or daily activities.

The results of this study has shown that Multiple Correspondence Analysis is a very useful tool in providing insight on environmental issues affecting the quality of life, such as the factors affecting the levels of air pollution annoyance of populations living in urban areas. Such tools can derive and synthesize important information from citizen surveys which can complement air quality measurements, in order to define the best mix of measures to address air quality issues. Such measures can include national or regional emissions reduction policies in order to meet the air quality objectives in background locations, as well as more site specific, short-term measures to address air pollution episodes in “hot spot” locations. Such combination of measures is often necessary for the protection of the public health and the improvement of the quality of life of citizens.

7. References

- Albuquerque T.T.A., Andrade M.F., Ynoue R.Y. (2012). Characterization of atmospheric aerosols in the city of São Paulo, Brazil: comparisons between polluted and unpolluted periods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 84(2), 969-984.
- ADEME (2002). Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air. Retrieved on 28 July 2013 from: http://www.oramip.org/pdf/ademe_typologies.pdf
- Amundsen A.H., Klaeboe R. & Fyhri A. (2008). Annoyance from vehicular air pollution: Exposure-response relationships for Norway. *Atmospheric Environment*. 42, 679-688.
- Atmo Nord-Pas-de-Calais (2009). Bilan 2008 des poussières sédimentables sur le Dunkerquois. Rapport d'études 01 – 2009- LC. Available at: <http://www.atmo-npdc.fr>
- Bell, M.L.; O'Neill, M.S.; Cifuentes, L.A.; Braga, A.L.F.; Green, C.; Nweke, A.; Rogat, J.; Sibold, K. Challenges and recommendations for the study of socioeconomic factors and air pollution health effects. *Environ. Sci. Policy* 2005, 8, 525–533
- Benzécri, J.P.(1969) Statistical analysis as a tool to make patterns emerge from data. In S. Watanabe (ed.), *Methodologies of pattern recognition*. New York: Academic press.
- Benzécri, J.P. (1973) *L'Analyse des Données*. Vol. 2: *L'Analyse des Correspondances*. Paris: Dunod.
- Benzécri, J.P. (1992) *Correspondence analysis handbook*. New York: Dekker.
- Berglund, B., Berglund, U., & Lindvall, T. (1987). A study of response criteria in populations exposed to aircraft noise. *Journal of Sound and Vibration*, 41, 33–39.
- Blanes-Vidal V., Suh H., Nadimi E. S., Løfstrøm P., Ellermann T., Andersen H. V., Schwartz J. (2012) Residential exposure to outdoor air pollution from livestock operations and perceived annoyance among citizens. *Environment International*, 40, 44-50.
- Braga A.L.F.; Saldiva, P.H.N.; Pereira, L.A.A.; Menezes, J.J.C.; Conceição, G.M.S.; Lin, C.L.; Zanobetti, A.; Schwartz, J.; Dockery, D.W. (2001). Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brasil. *Pediatr. Pulmonol.*, 31, 106-113, 2001.

- Castanho, A. D. A., & Artaxo, P. (2001). Wintertime and summertime São Paulo aerosol source apportionment study. *Atmospheric Environment*, 35, 4889–4902.
- Crivisqui, E. (1995). Apresentação da análise fatorial de correspondência simples e múltiplas. Programme de Recherche et D'Enseignement en Statistique Appliquée. PRESTA, Belgique: Université Libre de Bruxelles.
- Egondi T. ; Kyobutungi C. ; Ng N. ; Muindi K.; Oti S.; Vijver S. V. De ; Ettarh R. ; Rocklov J.. (2013) Community perceptions of air pollution and related health risks in Nairobi Slums. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 10, 4851-4868.
- Fischer G.W., Morgan M.G., Fischhoff B., Nair I, and Lave L.B. (1991), “What risk are people concerned about ?”, *Risk Analysis*, 11, 303-314.
- Garçon G., Dagher Z., Zerimech F., Ledoux F., Courcot D., Aboukais A., Puskaric E., Shirali P. (2006) Dunkerque city air pollution particulate matter-induced cytotoxicity, oxidative stress and inflammation in human epithelial lung cells (L132) in culture. *Toxicology in Vitro*, 20, 519-528.
- Grenacre, M. J. (1984) *Theory and Applications of correspondence analysis*. New York: Academic press.
- Greenacre, M. & Blasius, J. (2006). *Multiple correspondence analysis and related methods*. Chapman & Hall/CRC Press, London.
- Greenacre, M. (2007). *Correspondence Analysis in Practice, Second Edition*. London: Chapman & Hall/CRC.
- Gustafson E. (1998). Gender differences in Risk perception : theoretical and methodological Perspectives, *Risk Analysis*, 18(6), 805-811.
- IBGE (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Senso 2010– Retrieved on 10 July 2011 from: www.ibge.gov.br
- IEMA (2011a). Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado do Espírito Santo. Instituto Estadual De Meio Ambiente, Vitoria, Espirito Santo, Brasil. Retrieved on 12 July 2013 from: www.iema.gov.br
- IEMA (2011b). Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória. Acordo de Cooperação Técnica IEMA-ECOSOFT. Instituto Estadual De Meio Ambiente, Vitoria, Espirito Santo, Brasil. Retrieved on 11 July 2013 from: www.iema.gov.br
- IEMA (2013). Relatório de Qualidade do Ar da Grande Vitoria 2013. Instituto Estadual De Meio Ambiente, Vitoria, Espirito Santo, Brasil. Retrieved on 11 July 2014 from: www.iema.gov.br.
- Jacquemin B., Sunyer J., Forsberg B., Gotschi T., Oglesby L., Ackermann-Liebrich U., De Marco R., Heinrich J., Jarvis D., Toren K., Kunzli N. 2007. Annoyance due to air pollution in Europe. *International Journal of Epidemiology*, 36, 809–820.
- Kohlhuber, M.; Mielck, A.; Weiland, S.K.; Bolte, G. (2006). Social inequality in perceived environmental exposures in relation to housing conditions in Germany. *Environ. Res.*, 101, 246–255.
- Kim M., Yi O., Kim H. (2012). The role differences in individual and community attributes in perceived air quality. *Science of the Total Environment*, 425, 20-26.
- Klæboe, R., Kolbenstvedt, M., Clench-Aas, J., Bartonova, A. (2000). Oslo traffic study part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. *Atmospheric Environment*, 34, 4727-4736.
- Lebart L, Morineau A, Warwick K. (1984). *Multivariate descriptive statistical analysis*. Chichester, UK: Wiley.

- Lercher, P., Schmitzberger, R., Kofler, W. (1995). Perceived traffic air pollution, associated behavior and health in an alpine area. *Science of the Total Environment* 169 (1–3), 71–74.
- Le Roux, B. and Rouanet, H. (2004). *Geometric Data Analysis, From Correspondence Analysis to Structured Data Analysis*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.
- Le Roux, B. et Rouanet, H. (2010). *Multiple Correspondence Analysis*, SAGE, Series: Quantitative Applications in the Social Sciences, CA:Thousand Oaks Paris.
- Llop S., Ballester F., Estarlich M., Esplugues A., Fernández-Patier R., Ramón R., Marco A., Aguirre A., Sunyer J., Iñiguez C., on behalf of INMA-Valencia cohort. Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women. *Atmospheric Environment*, 42, 2982-2992, 2008.
- Michaelis: *Moderno dicionário inglês-português, português-inglês*. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 2000.
- Nikolopoulou M., Kleissl J., Linden P.F., Lykoudis S. (2011). Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution. *Science of the Total Environment*, 409(13), 2493-202. ,
- Pope C.A. III, (1991). Respiratory hospital admissions associated with PM10 pollution in Utah, Salt Lake and Cache valleys. *Arch. Environ. Health*, 46, 90-97.
- Oglesby, L.; Kunzli, N.; Monn, C.; Schindler, C.; Ackermann-Liebrich, U.; Leuenberger, P. Validity of annoyance scores for estimation of long term air pollution exposure in epidemiologic studies: The swiss study on air pollution and lung diseases in adults (SAPALDIA). *Am. J. Epidemiol.* 2000, 152, 75–83.
- PPA (2002). Plan de protection de l'atmosphère de l'agglomération Dunkerquoise. Retrieved on 20 April 2013 from: <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dunkerque.pdf>
- Rotko T., Oglesby L., Kunzli N., Carrer P., Nieuwenhuijsen M.J., Jantunen M. (2002). Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM2.5, NO2) concentrations in the European EXPOLIS study. *Atmospheric Environment*, 36, 4593–4602.
- Souza, L. B (2011). *Estudo de Correlação Entre a Percepção do Incômodo Causado Pelas Partículas Sedimentadas e seus Níveis de Concentração na Atmosfera*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Stenlund T., Lidén E., Andersson K., Garvill J., Nordin S. Annoyance and health symptoms and their influencing factors: A population-based air pollution intervention study. *Public Health*, 123, 339-345, 2009.
- Schwartz, J. (1991). Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. *Environmental Research*, 56(2), 204-213.
- Vallack H. W., Shillito D. E. (1998) Suggested guidelines for deposited ambient dust. *Atmospheric Environment*, 32(16), 2737-2744.
- WHO (2005). WHO air quality guidelines global update 2005. Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany, 18-20 October 2005. Retrieved on 28 July 2014 from: <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>.
- WHO (2014). Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012. WHO: Geneva. Retrieved on 28 July 2014 from: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf?ua=1

5.3 Parametros relacionados ao incômodo causado por material particulado: Estudo de caso da Região Metropolitana da Grande Vitória – Brasil

A proposta do presente artigo é apresentar os resultados da investigação e avaliação do incômodo causado pela poluição do ar especificamente na Região Metropolitana da Grande Vitória. Foram realizadas 5 pesquisas de opinião, face a face, junto à população residente ou trabalhadores nas áreas de abrangência em torno das oito estações de monitoramento da qualidade do ar localizadas em quatro cidades (Vitória, Vila Velha, Serra e Cariacica). O total de 2638 pessoas participaram das pesquisas, respondendo os questionários aplicados face a face nos meses de janeiro de 2011, julho de 2012, janeiro, julho e novembro de 2013. Este trabalho, tem contribuição e relevância no contexto da sociedade local, por tratar-se de um problema específico, vivenciado pela população, a qual leva suas reclamações ao órgão ambiental, principalmente sobre os efeitos da poluição do ar na saúde e qualidade de vida.

O artigo intitulado “*Parameters determining annoyance from air pollution: a survey study in Vitoria region – Brazil*”, descreve em detalhes os resultados das pesquisas de opinião, estratificados em cada uma das oito sub-regiões no que concerne a relação entre o perfil dos participantes, a percepção dos níveis de incômodo, as formas de percepção da poluição, as consequências na qualidade de vida, relatos de problemas de saúde, percepção das fontes de poluição, percepção da poluição em diferentes contextos (estações do ano, dia, noite e condições de tempo), opinião sobre as indústrias instaladas na região, informações sobre o monitoramento da qualidade do ar e sobre o órgão ambiental local. Ao final é apresentada uma análise estimativa da relação entre os níveis de PTS e MP₁₀ monitorados em cada sub-região e a percepção do incômodo para cada sub-região e para a RGV. O resumo e os resultados desse artigo foram apresentados na conferencia “Air Quality- 2015”, realizada na Alemanha.

PARAMETERS DETERMINING ANNOYANCE FROM AIR POLLUTION: A SURVEY STUDY IN THE VITORIA REGION – BRAZIL

Milena Machado de Melo^{1,*}, Jane Meri Santos², Ilias Mavroidis³, Valderio Anselmo Reisen⁴, Neyval Costa Reis Junior², Antônio Fernando Pêgo e Silva⁴

Instituto Federal do Espírito Santo, Guarapari, Brazil⁽¹⁾ (milenammm@ifes.edu.br), Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Environmental Engineering, Vitoria, Brazil⁽²⁾, Hellenic Open University, Patras, Greece⁽³⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Statistic, Vitoria, Brazil⁽⁴⁾

Abstract

This paper examines the perception of air pollution annoyance in the urban area of Vitoria (Brazil), whose inhabitants are particularly exposed to industrial air pollutants and especially particulate matter. Surveys were conducted in winter (July 2011, July 2013) and summer (January 2012, January 2013, November 2013) totalling a sample comprising of 2638 individuals over 16 years old. The responses of individuals living in eight different areas of the urban conurbation were examined, while logistic regression analysis was applied to identify the relationship between perceived annoyance and air pollution measurements, the latter expressed by particulate matter concentrations (PM_{10} and PTS), as well as between perceived annoyance and other qualitative variables and sociodemographic parameters examined through the questionnaire. The results show that the respondents perceive annoyance by air pollution as an environmental problem and a very important issue; more than 80% reported being often annoyed by air pollution. The main form of air pollution perceived was settled dust, while the highest annoyance levels were observed in the two sub-regions located closer to the main industrial sources, although these were not the sub-regions where the highest annual mean TSP and PM_{10} concentrations were measured. Furthermore, in the summer, in sunny days and during daylight hours the respondents perceived higher levels of annoyance. There are local characteristics play an important role in understanding and estimating probabilities of annoyance, which in turn can direct the administrative bodies and policy makers related to air quality to implement specific measures with the aim to control and reduce the emissions of particulate material in an urban agglomeration such as Vitoria. Finally, an exposure–response relationship is established between the levels of perceived annoyance and PM_{10} and PTS concentrations for each sub-region, which indicates that a significant number of people are annoyed by perceived air pollution.

Key words: *perceived annoyance, air pollution perception, survey, air quality, particulate matter, dust, exposure-response relationship.*

1. Introduction

According to Seinfeld & Pandis (2006), an air pollutant can be considered as a substance in the air that due to its concentration promotes negative effects on health, inconvenience to the public welfare, harm to materials, fauna and flora or impediment to the full use of properties and normal activities of the community. Particulate matter, typically consisting of dust and soot, is one of the major pollutants of urban atmospheres and a major health issue, since inhalable particles can be significant contributors to respiratory and cardiovascular diseases and mortality

(e.g. Dockery and Pope, 1994; Schwartz, 1994) and, can also act as an environmental nuisance, i.e. as a source of annoyance (Klaeboe et al., 2000; Rotko et al., 2002; Jacquemin et al., 2007; Amundsen et al., 2008).

Sources of outdoor air pollution, and especially of particulate matter, in urban areas are mainly dust, burning of trash, vehicle and industrial emissions. Under the influence of the wind speed and direction, outdoor air pollutants infiltrate into households also causing indoor exposure and relevant environmental effects (Egondi et al., 2013). According to Hyslop (2009), the annoyance caused by particulate matter is related to the perception of the amount of dust in residential and urban areas. Furthermore, the visual perception of dirt has physiological and psychological effects in humans, which can be considered as an indicator of annoyance (Hyslop, 2009). In the World Health Organization (WHO) constitution, health is defined as “a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity”. According to this definition, annoyance caused by air pollution qualifies as a public health problem, since it can be considered as an ambient stressor causing stress and diseases and affecting the quality of life.

There have been many studies on the relationship between perceived annoyance and exposure to outdoor air pollution. Oglesby et al. (2000) found a strong association between the level of annoyance and measured levels of NO_2 and PM_{10} . Rotko et al. (2002) have shown that at the population level, the mean annoyance was correlated with mean $\text{PM}_{2.5}$ and NO_2 concentrations. Amundsen et al. (2008) modeled the exposure–response relationship between PM_{10} and annoyance from dust/grime, and between $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 , and odour annoyance from vehicular air pollution. Atari et al. (2009) showed that odour annoyance was significantly correlated with modeled NO_2 and SO_2 concentrations. However, some studies have indicated differences in people’s opinions about perceived levels of annoyance, even when exposed to the same levels of pollutants, showing that individual perceptions and attitudes towards exposure are influenced by factors such as sex, age, educational level, health status and neighborhood characteristics. Therefore, perceived annoyance is associated more with perceived air pollution rather than measured air pollution. Jacquemin et al. (2007), showed that the annoyance caused by air pollution can be related to gender, socioeconomic status, respiratory problems, smoking and exposure to vehicular traffic. Stenlund et al. (2009) suggested that perceived pollution levels and health risk perception are important factors for understanding and predicting environmentally induced annoyance and health symptoms. According to Eek et al. (2010), people who attributed annoyance to environmental factors reported also subjective health complaints, higher levels of stress, strain, and lack of recovery, more dissatisfaction with their

work situation, and lower personal social support, compared with those who did not report annoyance.

These studies indicate that there is a complex relationship between the perception of annoyance and individual characteristics. However, the relevant is relatively limited, especially with regard to perceived annoyance at community level, considering the individual and socioeconomic characteristics of locals. Thus, surveys exploring such attitudes, as well as sociodemographic factors, can help in understanding and identifying why respondents may report different levels of annoyance when exposed to similar levels of environmental pollutants. The study presented here was performed in the Greater Vitoria Region (RGV) in the state of Espirito Santo, Brazil, which is a densely inhabited and industrialized urban agglomeration. Pollution from particulate matter is significant in the region, and the population constantly complains about the dust levels. The results of a survey conducted in RGV by Alves et al. (2006) suggested that 80% of respondents (n=653) were annoyed by the dust in their homes. Therefore, it is important to understand the profile of people that perceive daily air pollution and its impact on the quality of life considering the local characteristics. The hypothesis is that, beyond the levels of pollutants, there are particular aspects of everyday life, which can explain perceived annoyance due to air pollution reported by inhabitants. The objective of this work is to investigate and quantify the annoyance caused by particulate matter by analysing the data obtained in surveys specifically designed for this purpose and to identify variables related to perceived annoyance for each sub-region located in RGV. Furthermore, to calculate the correlation between perceived annoyance levels and the concentrations of particulate matter and to estimate an exposure- response relationship using a logistic regression model.

2. Materials and methods

The coverage area

The Greater Vitoria Region, composed by the cities of Vitoria, Vila Velha, Serra and Cariacica, has approximately 1,500,000 inhabitants and is located on the south-eastern coast of Brazil. It is a metropolitan region with a port area that holds 55-65% of the potentially polluting industrial activities installed in the state of Espirito Santo, such as: steel plants, pellet making, quarry, cement, chemical, pharmaceutical, food, asphalt plant, etc (IEMA, 2011).

In 2001 the local environmental agency (IEMA) implemented a network of stations for Automatic Monitoring Air Quality (RAMQAr) in order to measure the (hourly average) exposure of the population to the main air pollutants (PM₁₀, TSP, NO_x, O₃, etc). The stations were positioned at strategic locations of the Greater Vitoria Region for guiding the air quality

management and control policies considering, for example, population density. Daily, the environmental agency publishes the air quality indices measured in the Greater Vitoria Region, on local newspapers and on its website. According to Souza (2011), approximately 25% of the complaints to the local environmental agency in 2008 were related to air pollution in the metropolitan area of Vitoria. Due to the importance of the examined issue, the environmental agency provided great interest and support for conducting this study.

Figure 1 shows the main highways (red lines), industrial sources of particulate matter (circles) in the Greater Vitoria region and the eight air quality monitoring stations (triangles): Laranjeiras, Carapina, JardimCamburi, Enseada do Sua, Vitoria centro, Vila Velhacentro, Ibes and Cariacica. Data of PM₁₀ (particulate matter of size less than 10µm) and TSP (Total Suspended Particles) were provided by the local environmental agency for all analyses in this work.

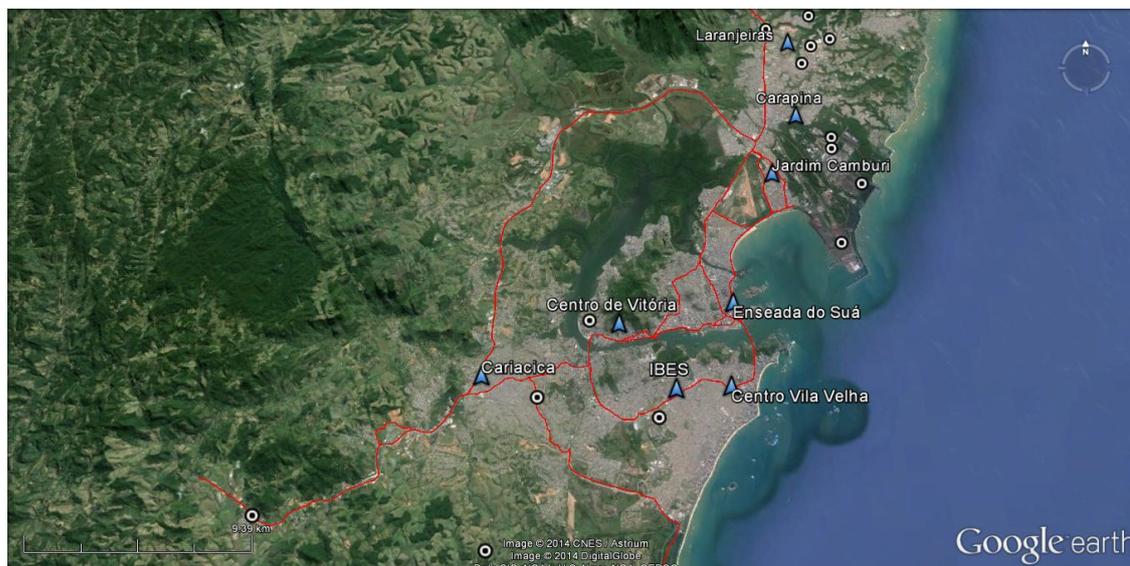


Figure 1. Geographic location of the eight air quality monitoring stations (triangle) and the main sources of particulate matter in the Greater Vitoria Region. Highways are indicated with lines and industrial sources of particulate matter with circles.

The average concentrations from 2011 to 2014 were calculated using the 24-hour mean measurements. The box-plots for TSP and PM₁₀ concentrations are shown in Figures 2(a) and 2(b), respectively. Mean TSP concentration levels are quite high when compared to PM₁₀ concentration. The higher concentration levels for both pollutants are observed in Cariacica and Laranjeiras.

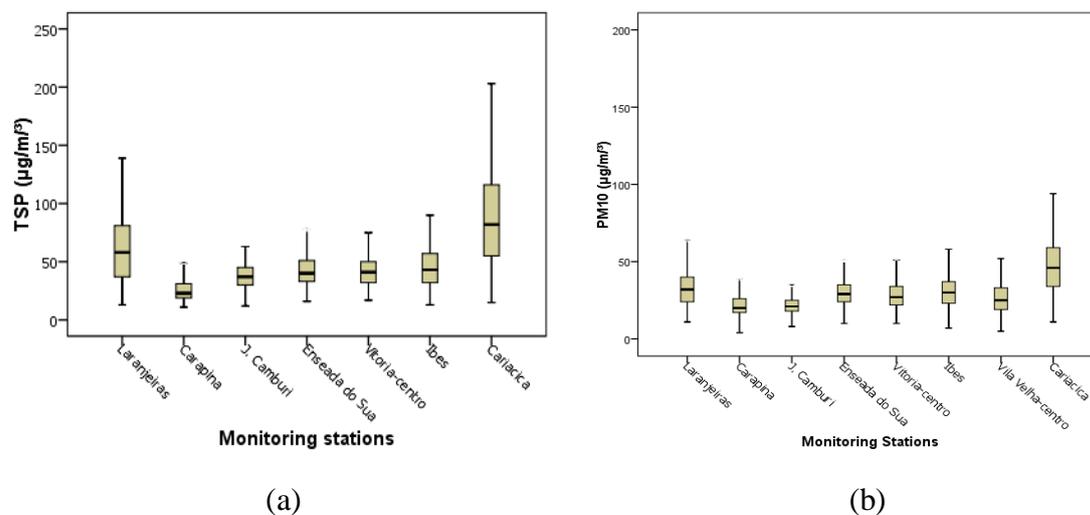


Figure 2. Box-plot 24-h mean of TSP (a) and PM_{10} (b) concentration measured by the air quality monitoring stations in the Vitoria region.

The surveys

The surveys consisted of face-to-face interviews, ensuring direct contact between interviewer and respondent. The sample size was calculated by simple random sampling with proportional allocation around the coverage area of the eight air quality monitoring stations (sub-regions). The selection of households was made randomly, by respecting the spatial distribution of the sample in sub-regions located around (in a radius of 1.5 km) the eight air quality monitoring stations: Laranjeiras, Carapina, Jardim Camburi, Enseada do Suá, Vitoria-centre, Ibes, Vila Velha-centre and Cariacica.

The structured questionnaire consisted of 50 questions examining different topics, such as: air pollution perception, perceived annoyance, assessment and importance of air quality, consequences of air pollution, perceived emission sources, weather conditions, health effects, knowledge of the work of the environmental agency, indices of air quality and sociodemographic factors.

To explore the variable “perceived annoyance”, several questions were asked and for each question different answer options were defined, depending on the goal of the final analysis of data. For example, for the question “Do you feel annoyed by air pollution?”, the response options were “yes” or “no”. A 5-options categorical scale was developed for the question “How annoyed do you feel?” (not annoyed, slightly annoyed, moderately annoyed, very annoyed, extremely annoyed). In the presentation of results the option [NK/NA] (do not know/do not answer) is also provided.

Before each survey, the interviewers received training about the questionnaire and the questions as well as about conducting the survey, including on good practices to convince people to participate in the survey. A pre-test (pilot) was also realized in order to check the validity of the questionnaire and to examine the necessary time for applying one questionnaire and for realizing a full survey. Each survey was conducted in a maximum of 10 consecutive days, and normally approximately 20 minutes were spent to fill each questionnaire. Initially, the exact purpose of the research was not explained in detail in order not to influence the responses. After all questions were answered, the respondent was informed about the purpose of the research. A total of five environmental surveys were conducted: two during the winter (July 2011 and July 2013) and three during the summer (January 2012, January 2013 and November, 2013), with a total of 2638 respondents in all surveys (together).

Statistical analysis

For the analysis of the survey results, initially percentage responses for each sub-question were examined in order to describe the general tendency of responses. Then, considering the determinant variables from the questionnaires (socio-demographic aspects, sources of air pollution, forms of air pollution perception, consequences of air pollution on quality of life, etc) that can be explain the differences between the degree of annoyance reported by respondents that are exposed to the same levels of air pollution.

A logistic regression model (Abraham & Ledolter, 2006) was chosen to examine the relation between measured pollutant concentration levels and perceived annoyance. By means of statistical models, the average relationships between air pollution indicators (in the form of exposure to PM₁₀ and TSP) and reactions (in the form of perceived annoyance) were calculated. Since the dependent variable is the perceived annoyance (dichotomized as 0 and 1), a logistic regression model was applied. It is then possible to obtain the probability exposure–response relationships from the parameter estimates, using Eq. (1).

$$P(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \quad \text{Eq. (1)}$$

3. Results and discussion

Profile of respondents

Considering all surveys together, 2638 respondents were interviewed, of which 59% were female and 41% male. This difference is representative of the region where the percentage of

women is higher than that of men (also considering the age group) according to data from the 2010 census (IBGE, 2010).

TABLE 1
CHARACTERISTICS OF SURVEY PARTICIPANTS SEPARATED FOR SUB-REGIONS (N=2638)

Variable	Laranjeiras (n= 269)	Carapina (n=297)	Jardim Camburi (n=284)	Enseada do Suá(n=301)	Vitória Centro (n=281)	Ibes (n=360)	Vila Velha Centro (n=420)	Cariacica (n=426)
Gender								
Male	42%	46%	48%	44%	36%	37%	46%	35%
Female	58%	54%	52%	56%	64%	63%	54%	65%
Age								
16-34	43%	54%	56%	41%	46%	43%	40%	47%
35-54	41%	38%	34%	40%	37%	38%	44%	40%
54 +	16%	8%	11%	19%	17%	19%	16%	13%
Current occupation								
Employed	50%	56%	57%	51%	67%	54%	56%	60%
Unemployed	9%	7%	6%	4%	2%	9%	9%	10%
Retired	19%	11%	8%	21%	15%	17%	15%	13%
Student	9%	10%	17%	15%	7%	13%	6%	10%
Not answered	13%	16%	13%	9%	9%	7%	14%	7%
Education level								
Not studied	1%	1%	1%	0%	1%	2%	1%	1%
Less than primary	20%	16%	11%	7%	14%	14%	23%	13%
Primary school	29%	36%	16%	18%	27%	19%	25%	30%
High school	36%	39%	42%	49%	41%	51%	32%	46%
University	14%	8%	30%	26%	17%	14%	19%	10%
Smoking								
Current smoker	11%	13%	11%	10%	12%	13%	14%	10%
Never smoke	72%	70%	73%	70%	70%	64%	67%	73%
Ex-smoker	17%	17%	16%	20%	18%	23%	19%	17%
Marital status								
Single	35%	41%	45%	34%	36%	36%	33%	39%
Married	54%	47%	44%	51%	47%	48%	52%	48%
Divorced	3%	6%	5%	5%	6%	7%	6%	7%
Widowed	7%	5%	5%	6%	7%	7%	7%	4%
Number of Children								
No children	19%	32%	27%	24%	26%	26%	20%	32%
One	23%	32%	24%	31%	33%	29%	25%	26%
Two	33%	19%	34%	28%	28%	25%	33%	24%
Three or more	25%	16%	14%	17%	12%	21%	22%	18%

Furthermore, the fact that there have been more female than male respondents – taking into account that this was a household survey - may be also partly attributed to the socio-economic profile of the population in these regions where, very often, women stay at home and look after the household, which characterises a typical patriarchal society. Table 1 shows the profile of respondents for each sub-region.

As to gender, there are about 62% of women in the sub-regions of Cariacica, Ibes and Vitoria-centre and on average 55% in other areas. Regarding age, it is observed that between 81% (Enseada do Sua) and 92% (Carapina) of respondents are between the ages of 16 and 54 years. Between 58% (Jardim Camburi) and 76% (Cariacica) of respondents are primary or high school graduates, between 8% (Carapina) and 30% (Jardim Camburi) are university graduates, while the percentage of respondents with incomplete primary level studies ranges from 7% (Enseada do Sua) to 24% (Vila Velha Centro). Most respondents, between 64% (Ibes) and 73% (Jardim Camburi) are non-smokers. Regarding marital status, more than 50% of the respondents in all sub-regions are (or have been) married, while most of the families involved have children living with them. Finally, more than 50% of the respondents in all sub-regions are employed.

Perceived annoyance and air pollution perception

As previously discussed, the surveys were conducted during the winter and summer. In order to compare whether the opinion about perceived annoyance changes in different seasons of the year, the results of the response to the question "Today, how annoyed are you feeling?" were stratified (between winter and summer) and are presented in Figure 3.

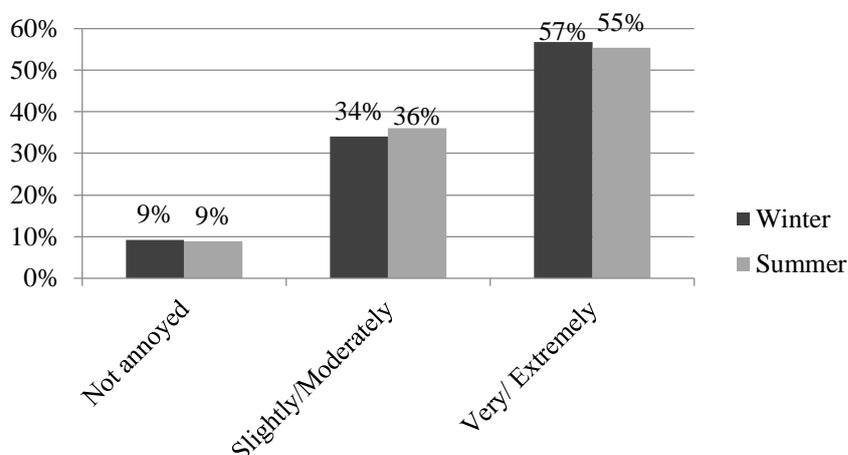


Figure 3. Perceived levels of annoyance reported by respondents in winter and summer (n=2638)

In this graph (Figure3) the percentages of "slightly" and "moderately" were added together, as well as the percentages of "very" and "extremely" to facilitate the presentation and interpretation of results. The results reveal that the respondents' opinions about perceived annoyance do not show significant differences between the surveys conducted in winter and summer, indicating that the feeling of annoyance by air pollution is independent of the season. Figure 4 indicates that less than 10% of respondents reported not being annoyed by air pollution in all sug-regions, indicating that more than 90% of respondents are at least slightly annoyed

by air pollution in the Vitoria region. Jacquemin et al. (2007) conducted surveys in 28 urban centres of 11 Western European countries and found that more than 60% of the respondents reported feeling annoyed by air pollution. They also found a relationship between annoyance by air pollution and annual mean mass concentration of fine particles (PM_{2.5}) measured in 21 urban centres as a surrogate of urban air pollution.

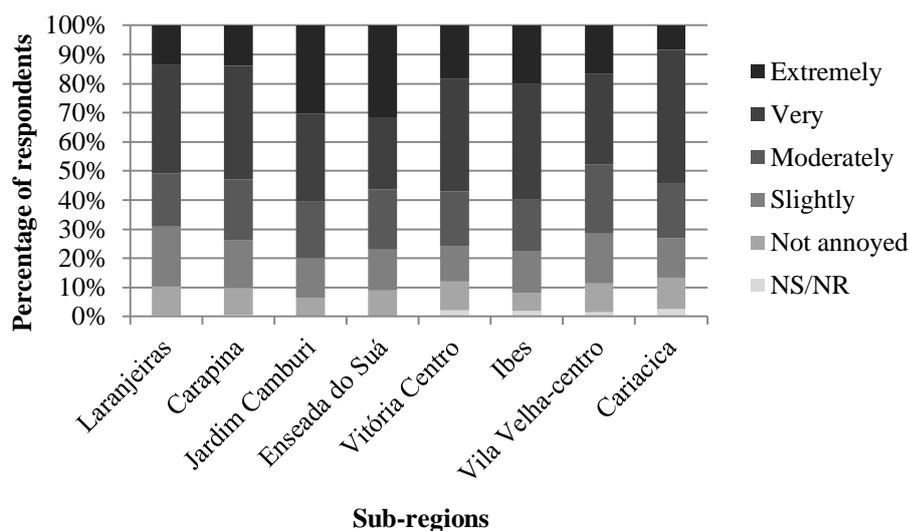


Figure 4. Perceived levels of annoyance reported by respondents in each sub region (n=2638)

In Jardim Camburi and Enseada do Suá, it is possible to observe the high percentages of high levels “very” and “extremely” annoyed. Since in both sub-regions the levels of pollutants are not very high (Figure 2) the higher levels of perceived annoyance should be related to some other parameter. A possible explanation is that in both sub-regions there is a higher percentage of university graduates between respondents as well as a higher percentage of students as compared to the other sub-regions. In this context, this result can be explained by the profile of respondents in these sub-regions, since several researchers suggest that higher levels of perceived annoyance are associated to higher levels of education (Klaeboe et al., 2000; Jacquemin at al., 2007; Kim et al., 2012).

Table 2 shows that in each sub-region more than 80% of respondents consider air quality “very” and “extremely” important. From the total of respondents in all sub-regions, more than 50% consider air quality as "extremely important" and about 40% as "very important", demonstrating that the population is aware of the importance of air quality for the human health and for the quality of life, as well as indicating their concern about air quality problems and the attention given to the environment.

TABLE 2
THE PERCENTAGE DISTRIBUTION OF RESPONSES REGARDING IMPORTANCE OR AIR QUALITY AND PERCEIVED EXPOSURE TO RISK FROM AIR POLLUTION (N= 2064)

	Laranjeiras (269)	Carapina (297)	Jardim Camburi (284)	Enseada do Suá (301)	Vitória Centro (281)	Ibes (360)	Vila Velha Centro (420)	Cariacica (426)	Total (2638)
Importance of air quality									
Not important	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Slightly	3%	0%	4%	1%	0%	0%	0%	2%	1%
Moderately	7%	3%	3%	5%	7%	3%	5%	5%	5%
Very	50%	40%	26%	29%	35%	34%	32%	53%	38%
Extremely	40%	57%	66%	64%	56%	61%	61%	40%	55%
NA/NK	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	0%	1%
Exposure to risk from air pollution									
Not exposed	8%	6%	5%	13%	24%	10%	25%	24%	15%
Slightly	25%	13%	16%	15%	14%	26%	12%	18%	17%
Moderately	28%	26%	28%	22%	20%	14%	21%	23%	23%
Very	29%	36%	31%	23%	25%	34%	31%	23%	29%
Extremely	7%	18%	19%	26%	15%	13%	9%	10%	14%
NA/NK	3%	2%	0%	2%	2%	2%	2%	1%	2%

NA/NK= Not answered/Not Know

Furthermore, only 15% of the total respondents reported that they do not feel exposed to the risks of air pollution in the region, and about 80% reported that they feel at least slightly exposed to risk. Especially, in Enseada do Suá a high percentage (26%) of respondents feel “extremely” exposed to risk from air pollution. This result can be explained by the location of the main industrial sources very near the city and the continuous exposure of the population to particles. Even the main beach of the city of Vitoria is located next to the main pollution sources. Enseada do Suá is located very near this beach and opposite to the main industrial sources, having a visual contact to them (Figure 1). Thus, visible emissions of air pollutants in the landscape in moments of relaxation and fun on the beach may contribute further to a higher perception of exposure to risk. This is in agreement with the work of Stenlund et al. (2009) and of Egondi et al. (2013) who found in their studies that perceived air pollution and health risk is positively associated with the levels of perceived annoyance.

Table 3 shows the frequency of perceived air pollution in different forms: settled dust, odour damage to vegetation and visibility (smog). The form of air pollution more frequently perceived by the total of respondents is settled dust (77%), followed by odour (43%), smog (32%) and damage to vegetation (31%), demonstrating that the concentration of particulate matter (settled dust) is perceived by the population as an indicator for the assessment of air quality levels causing annoyance.

TABLE 3
FREQUENCY OF PERCEIVED AIR POLLUTION BY SETTLED DUST, VEGETATION AND SMOG

	Laranjeiras (269)	Carapina (297)	Jardim Camburi (284)	Enseada do Suá(301)	Vitória Centro (281)	Ibes (360)	Vila Velha Centro (420)	Cariacica (426)	Total (2638)
By settled dust									
Never	2%	2%	1%	1%	1%	3%	2%	2%	2%
Rerely	9%	5%	5%	2%	7%	6%	5%	4%	5%
Sometimes	29%	13%	8%	7%	15%	22%	20%	12%	16%
Frequently	59%	79%	86%	89%	76%	70%	72%	82%	77%
NA/NK	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Odour									
Never	7%	5%	10%	17%	17%	21%	14%	22%	15%
Rerely	12%	18%	13%	15%	22%	15%	20%	16%	17%
Sometimes	33%	23%	25%	22%	27%	26%	24%	21%	25%
Frequently	48%	54%	51%	45%	33%	38%	40%	40%	43%
NA/NK	0%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%	0%
By visibility (smog)									
Never	17%	8%	31%	19%	33%	14%	30%	18%	21%
Rerely	17%	18%	14%	21%	26%	10%	15%	35%	20%
Sometimes	34%	20%	25%	18%	13%	28%	17%	18%	21%
Frequently	29%	48%	27%	37%	26%	41%	26%	26%	32%
NA/NK	4%	6%	3%	5%	2%	7%	12%	3%	6%
By damage to vegetation									
Never	13%	6%	10%	15%	18%	11%	27%	18%	15%
Rerely	20%	20%	11%	23%	35%	24%	19%	36%	24%
Sometimes	33%	34%	26%	28%	26%	34%	26%	23%	29%
Frequently	33%	37%	51%	33%	21%	30%	25%	23%	31%
NA/NK	1%	2%	2%	2%	0%	1%	3%	1%	2%

NA/NK= Not answered/Not Know

It should be noted that similar studies often show that settled dust and the smell of vehicle exhausts are associated with the perception of air pollution being at or above certain concentration levels and with high urban traffic density (Forsberg et al., 1997). Jardim Camburi and Enseada do Suá are the two sub-regions where respondents more frequently perceived high air pollution levels by settled dust. Since these two sub-regions are located closer to the main industrial sources in the north part of Vitoria, the results indicate that people's perception of dust at their home can be closely related to the proximity of the main industrial sources of particulate material. A similar result was found by Stenlund et al. (2009) who suggested that the air pollution perception was related to the proximity to the industry.

Perceived effects of air pollution on quality of life

Table 4 shows the responses on the consequences on quality of life caused by settled particles (specifically). It is possible to observe that respondents considered "cleaning the house to

remove dust” as the main consequence of settled particles, that affects the quality of life most often (88% of total respondents answer “always” and more than 80% in each sub-region).

TABLE 4
CONSEQUENCES OF SETTLED PARTICLES ON QUALITY OF LIFE AS REPORTED BY RESPONDENTS

	Laranjeiras (269)	Carapina (297)	Jardim Camburi (284)	Enseada do Suá (301)	Vitória Centro (281)	Ibes (360)	Vila Velha Centro (420)	Cariacica (426)	Total (2638)
Cleaning the house to remove dust									
Never	2%	0%	0%	0%	2%	0%	2%	2%	1%
Rerely	3%	3%	1%	2%	2%	0%	2%	5%	2%
Sometimes	11%	6%	2%	6%	10%	6%	10%	8%	8%
Always	84%	89%	96%	92%	85%	93%	85%	79%	88%
NA/NK	0%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	7%	2%
Keep the window close to avoid dust									
Never	20%	18%	20%	21%	23%	16%	14%	15%	18%
Rarely	13%	14%	16%	10%	21%	12%	16%	10%	14%
Sometimes	29%	26%	23%	20%	25%	31%	20%	23%	25%
Always	38%	41%	39%	49%	30%	41%	48%	52%	43%
NA/NK	0%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	1%
Paint the houses walls									
Never	20%	15%	32%	36%	33%	14%	15%	49%	27%
Rarely	32%	33%	13%	22%	28%	22%	31%	14%	24%
Sometimes	23%	20%	21%	21%	19%	32%	26%	15%	22%
Always	24%	28%	25%	18%	17%	29%	23%	16%	22%
NA/NK	1%	4%	10%	3%	3%	3%	5%	6%	5%
Avoid frequenting public places (squares, parks, etc.)									
Never	58%	51%	73%	63%	64%	53%	55%	60%	59%
Rarely	14%	17%	11%	15%	19%	15%	14%	17%	15%
Sometimes	17%	17%	10%	13%	11%	16%	17%	9%	14%
Always	10%	12%	6%	6%	5%	14%	12%	5%	9%
NA/NK	1%	2%	0%	3%	0%	3%	3%	8%	3%
Occurrence of health problems									
Never	44%	32%	37%	34%	27%	37%	50%	36%	38%
Rarely	13%	15%	17%	15%	28%	14%	13%	29%	18%
Sometimes	24%	21%	26%	27%	26%	26%	20%	18%	23%
Always	19%	31%	20%	23%	19%	22%	16%	17%	20%
NA/NK	0%	1%	0%	1%	0%	1%	1%	0%	1%

The consequences that follow in order of importance are: “keep the window closed to prevent the entry of dust” (43%), “paint the house walls” (22%), “has had health problems” (20%), and “avoid frequenting public places (squares, parks, etc)” (9%) because of the dust. The percentages in the different sub-regions are very similar. These results confirm that the presence of dust interferes with the everyday routine and consequently causes annoyance and a deterioration of the quality of life. Stenlund et al., (2009) also found a high percentage of people that reported having problems with dust in house façades, open windows, gardens, etc.

As the results in Table 4 suggest, the majority of respondents (61%) reported that they already have had health problems (at least rarely) caused by air pollution (dust).

Furthermore, as suggested by the results shown in Figure 4, there is a clear tendency of respondents reporting symptoms/problems related to the respiratory system (allergy, rhinitis, sinusitis, coughing, shortness of breath, etc), which can be related to the high levels of perceived annoyance. Egondi et al.(2013) found, in their study that, cough/cold, difficulties in breathing, headache and eye problems were the most common health problems mentioned by respondents related to air pollution.

In Figure 5 such symptoms comprise more than 80% of the main types of disease reported in the present study.

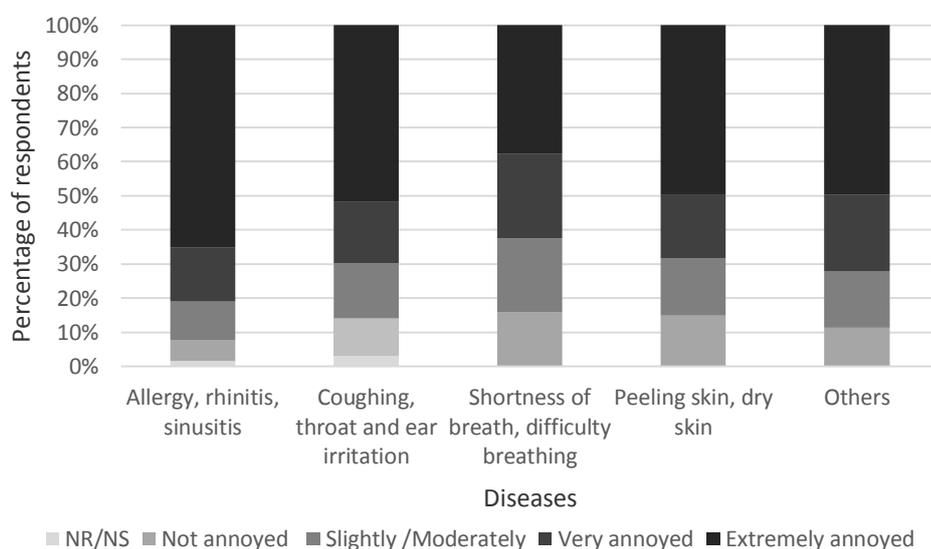


Figure 5. Main types of diseases/ symptoms reported by respondents and levels of annoyance

It should be noted that, although health-related symptoms vary depending on the type of pollutant (Stenlund et al., 2009), particulate matter typically consists of dust and soot, causing upper respiratory and pulmonary symptoms (Kampa & Castanas, 2008). Eek et al. (2010) showed that people, who have reported environmental annoyance of some sort, also reported more health complaints and higher levels of stress.

Other parameters related to perceived annoyance

When asked whether they perceive that the amount of dust changes according to the time of the year, more than 65% of the respondents answered “yes”. Following the respondents’ answer to a follow up question, the results presented in Table 5 show that the higher percentages of perceived levels of dust were reported in the summer, followed by winter, while in autumn and

especially spring the respective percentages were very low. This may also explain why no significant differences were recorded in the response to the question "Today, how annoyed are you feeling?", since the surveys took place in summer and winter. A specific characteristic of Vitoria region refers to the prevailing wind direction, which is northeast during the summer and south in the winter (from April to August) thus contributing to the dispersion of particles emitted from industrial sources towards the residential areas of Vitoria in summer.

Furthermore, the results shown in Table 5 suggest that there are very high percentages of intense dust perception in sunny days and during the daytime. In general, the visible effect of particles in the atmosphere is more intense during the daytime and at sunny days and this has a clear effect in the perception of dust, and particulate matter pollution in general, by the population. Moreover, it is well established in the literature that meteorological conditions have a major influence on the concentrations of suspended particles (Castanho & Artaxo, 2001; Albuquerque et al., 2012), with significant differences in the particle mass concentrations in different periods of the year or seasons, corresponding well with the respondents' perceptions.

TABLE 5
PERCENTAGE DISTRIBUTION OF PERCEIVED DUST ACCORDING TO SEASON, WEATHER AND DAY/NIGHT

According to season		According to daily weather		According day or night time	
Summer	52.5%	Sunny days	78%	During the day	57.5%
Autumn	9.5%	Cloudy	11.5%	At night	4.5%
Winter	36%	Rainy	3%	Both	36.5%
Spring	2%	NA/NK	7.5%	NA/NK	1.5%

NA/NK= Not answered/ Not know

As shown in Table 6, a high percentage of the respondents identified industrial (39%) and vehicular (37%) sources (followed by construction work - 11%) as the most representative sources of dust in the Vitoria region. By each sub-region there are an agreement among the respondents opinions and the real sources contribution of particulate material in each air quality monitoring station as showed by Santos and Reis (2011) and also a relation with the location. In Vitoria-centro, Ibes, Vila Velha-centro and Cariacica, which are urban or urban centre sub-regions, respondents perceive vehicle traffic as the most important source. On the other hand, in Laranjeiras, Carapina, Jardim Camburi and Enseada do Sua, which are sub-regions located closer to the main industrial sources, respondents perceive industries as the most important source of air pollution.

Vitoria is an industrialised region with a number of potentially polluting industrial activities, as shown in Figure 1. The urban development in the Vitoria region, the population increase and the wealth improvement in the country in recent years have caused an increase in the number

of vehicles circulating and of construction works which are potential sources of settled particles. These results are typical of a metropolitan and industrialized region and similar results have been observed in many cities experiencing problems caused by air pollution (Oglesby et al., 2000; Rotko et al., 2002; Amundsen et al., 2008; Stenlund et al., 2009).

TABLE 6
MAIN SOURCES OF DUST PERCEIVED BY RESPONDENTS FOR SUB-REGION AND IN TOTAL

Sources of dust	Laranjeiras (269)	Carapina (297)	Jardim Camburi (284)	Enseada do Suá (301)	Vitória Centro (281)	Ibes (360)	Vila Velha Centro (420)	Cariacica (426)	Total (2638)
Industry	44%	52%	72%	69%	16%	31%	24%	21%	39%
Vehicles	28%	26%	16%	19%	64%	42%	45%	50%	37%
Construction	17%	10%	6%	7%	13%	13%	10%	12%	11%
Soil suspend	3%	5%	1%	1%	1%	4%	12%	4%	4%
Sea breeze	3%	5%	4%	3%	4%	3%	4%	4%	4%
Quarries	2%	1%	0%	0%	0%	5%	0%	4%	2%
NR/NS	3%	2%	1%	2%	2%	2%	6%	5%	3%

NA/NK= Not answered/Not Know

Table 7 presents the main benefits and damages from the local industries according to the respondents, for each sub-region. In total, 38% of respondents answered that the industries located in their neighbourhood offer all the listed benefits and 28% considered that the industries contribute to all the listed damages/harm.

TABLE 7
PERCEIVED BENEFITS AND DAMAGES FROM THE LOCAL INDUSTRIES

	Laranjeiras (269)	Carapina (297)	Jardim Camburi (284)	Enseada do Suá (301)	Vitória Centro (281)	Ibes (360)	Vila Velha Centro	Cariacica (426)	Total (2638)
Gains / benefits from the industries located in your neighbourhood									
Sources of employment	44%	37%	18%	35%	40%	50%	44%	35%	38%
Essential for the development of the region	7%	20%	29%	16%	16%	11%	8%	25%	17%
Important to the region's economy	2%	4%	3%	1%	6%	4%	3%	6%	4%
All options	46%	39%	48%	42%	33%	28%	41%	34%	38%
NK/NA	1%	0%	0%	4%	3%	6%	3%	0%	2%
Damage / harm from the industries located in your neighbourhood									
Harmful to health	34%	24%	43%	33%	39%	33%	36%	21%	33%
Harmful to the environment.	27%	36%	13%	26%	27%	34%	29%	51%	31%
Distorts the landscape	2%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	1%
Risk of serious industrial accidents.	2%	4%	1%	1%	4%	3%	2%	2%	2%
All options	32%	29%	37%	37%	26%	23%	29%	19%	28%
NK/NA	1%	4%	5%	1%	4%	4%	2%	2%	3%

NA/NK= Not answered/Not Know

It is an important result that shows that on one hand citizens consider both the benefits and damages resulting from the industries, while on the other hand the benefits (the total of “all

options”) are more evident (38%) as compared to damages (28%). Especially since employment is a crucial factor in order to achieve a decent level of living on an individual/family basis.

Although the residents in the Vitoria region are annoyed by air pollution, the percentage of benefits and the perception of sources of air pollution shows that people are aware that the problem of “annoyance caused by air pollution” is a more complex issue, related to different pollutant sources, and not only to the local industries.

Table 8 shows the degree to which respondents are informed about the environmental agency of their region and about air quality monitoring. It is interesting to note that more than 60% of respondents have never had any information on air quality monitoring and almost 80% do not know of any organization responsible for air quality in the region of Vitoria. This is an important result that can be related to perceived annoyance, as shown by Egondi et al. (2013). Respondents who never heard information on air pollution could significantly perceive lower or higher levels of air pollution, depending on the local context.

TABLE 8
PERCENTAGE DISTRIBUTION OF INFORMATION ABOUT AIR QUALITY MONITORING AND ENVIRONMENTAL AGENCY

Information of air quality monitoring		Know any organization responsible for air quality in Vitoria	
Never	63.0%	Yes	10%
Rarely	10.0%	No	79%
Sometimes	8.0%	NA/NK	11%
Frequently	4.5%		
Always	4.5%		

NA/NK= Not answered/Not Know

Ambient air pollution concentrations and annoyance levels at the Vitoria sub-regions

Table 10 shows annual mean PM₁₀ and TSP values (2011-2013) measured outdoors at the eight air quality monitoring stations, as well as population mean annoyance scores at each sub-region. In all areas, the attributed scores ranged from not annoyed to extremely annoyed (according to the answer options to the question “How annoyed do you feel by air pollution?”). The score distributions were clearly different between sub-regions. Jardim Camburi and Ibes had the lowest percentages of not annoyed, while the highest levels of extremely annoyed and the highest mean scores were presented in Jardim Camburi and Enseada do Sua, which are the sub-regions located closer to the main industrial sources of air pollution.

Regarding pollutant concentrations, the highest levels of PM₁₀ were observed in Cariacica, followed by Laranjeiras and Enseada do Sua, while the higher levels of TSP were observed again in Cariacica, followed by Laranjeiras and Ibes. The results suggest that there is a limited

relation between air quality levels and perceived annoyance and that this issue requires further investigation.

TABLE 10
OBJECTIVE AND SUBJECTIVE MEASURES OF AMBIENT AIR POLLUTION LEVELS
SEPARATED FOR SUB-REGIONS

	Laranjeiras	Carapina	J. Camburi	Enseada do Sua	Vitoria	Ibes	Vila Velha Centro	Cariacica
Levels of PM₁₀ (µg/m³)								
Minimum	12.0	10.0	14.0	13.0	10.0	7.0	10.0	11.0
Maximum	69.0	35.0	34.0	60.0	46.0	51.0	49.0	98.0
Mean	32.8	20.3	24.8	30.4	28.5	29.3	26.4	56.6
Standard dev.	14.2	5.4	4.7	8.8	8.0	9.6	7.8	22.2
Median	31.5	19.5	24.0	31.0	28.0	29.0	26.0	58.0
Percentile 90%	51.0	28.1	31.1	39.2	37.0	41.3	34.1	86.1
Levels of TSP (µg/m³)								
Minimum	13.0	11.0	17.0	16.0	17.0	13.0	-	15.0
Maximum	162.0	61.0	83.0	103.0	121.0	99.0	-	275.0
Mean	62.5	25.3	38.8	43.6	43.0	45.7	-	88.8
Standard dev.	29.2	8.7	11.4	15.2	15.6	16.8	-	45.4
Median	59.5	23.0	37.5	40.5	41.0	43.0	-	82.0
Percentile 90%	101.0	37.9	53.0	61.9	63.0	68.9	-	141.9
Annoyance scale score								
Mean score	3.5	3.2	4.8	4.9	3.8	3.7	3.5	3.3
Levels of annoyance (%)								
Not annoyed	10.04	9.09	6.34	8.97	9.96	6.11	10.00	10.80
Slightly	20.45	16.50	13.73	13.95	12.10	14.44	17.14	13.62
Moderately	18.22	20.88	19.72	20.60	18.86	17.78	23.57	18.54
Very annoyed	37.55	39.06	29.93	24.58	38.79	39.72	31.19	46.01
Extremely	13.75	14.48	30.28	31.89	20.28	21.94	18.10	11.03

Besides the investigation of the possible determinants of the perceived annoyance levels, another objective of this work is to understand the relationship between perceived annoyance and exposure to real concentration levels of air pollutants. For this analysis the question “Do you feel annoyed by air pollution?” was selected, so as not to specify a certain time period, but to address the general perception of annoyance from air pollution. According to Amundsen et al. (2008) it is reasonable to assume that the air pollution events in the period leading up to the actual sampling day will play a more important role than air pollution events a year ago. Although previous air pollution events may also be important, in the present analysis the concentration values used were the daily mean 24h concentrations of PM₁₀ and TSP for the last 30 days before the respondents answered the questionnaire.

Table 11 provides the results from the logistic model, the parameters estimated $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1$, as well as the odds ratio ($\text{Exp}(\widehat{\beta})$) and the 95% confidence interval (C.I.) for the odds ratio, which represent the estimated exposure–response relationships calculated by these data.

In all sub-regions, the odds ratio ($(\text{Exp}(\widehat{\beta}))$) were significant and the values were approximately equal to 1.1, which means that respondents who live in this regions have 1.1 times (10%) the odds to be “annoyed” by each 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase (interquartile interval) in the PM_{10} and TSP concentrations. The sub regions Carapina and Vila Valha centro were not considered in this analysis because there were not sufficient data.

TABLE 11
PARAMETERS ESTIMATED BY THE LOGISTIC REGRESSION MODEL FOR PM_{10} AND TSP,
FOR EACH SUB-REGION

Sub-region	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\text{Exp}(\widehat{\beta}_1)$	95% C.I. for EXP(B)	
				Lower	Upper
PM_{10}	-1,947	,132	1,142	1,079	1,208
Laranjeiras	-2,013	,129	1,138	1,092	1,186
Jardim Camburi	-3,429	,106	1,111	1,075	1,149
Enseada do Suá	-1,442	,072	1,075	1,048	1,103
Vitoria-Centro	-2,080	,093	1,098	1,070	1,126
Ibes	-1,173	,052	1,053	1,037	1,069
Cariacica	-1,947	,132	1,142	1,079	1,208
TSP					
Laranjeiras	-,426	,047	1,049	1,023	1,075
Jardim Camburi	-2,286	,080	1,084	1,055	1,113
Enseada do Suá	-4,598	,103	1,108	1,077	1,141
Vitoria-Centro	-,934	,035	1,036	1,022	1,050
Ibes	-,723	,030	1,031	1,020	1,041
Cariacica	-1,489	,038	1,039	1,030	1,048

The graphs of exposure-response relationship for TSP and PM_{10} concentration versus each sub-region are presented in Figure 6. Visually there are significant differences among the sub-regions for both pollutants. Except for Enseada do Suá, all of them show that even with zero concentration there is likelihood of annoyance.

The same relationships were examined through the logistic regression model for all regions together, in order to estimate an exposure-response relationship between particulate material and annoyance in the Greater Vitoria Region. In Table 12 the parameters estimated by applying logistic regression separately for PM_{10} and TSP are presented.

As an example, the probability of the population estimated to be annoyed by dust given that the average residential TSP and PM_{10} exposure is $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ was calculated. The estimated values from Table 12 of the relevant threshold and exposure parameters are inserted into Eq.(1). So, when the concentration level of TSP is equal to $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ there is a probability of 50% of the respondents to be annoyed, while for a concentration level of PM_{10} equal to $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ approximately 63% of the respondents are possibly annoyed by air pollution. Amundsen et al.

(2008), in a similar study conducted in Norway, found that about 31% of respondents reported being annoyed when exposed to $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM_{10} .

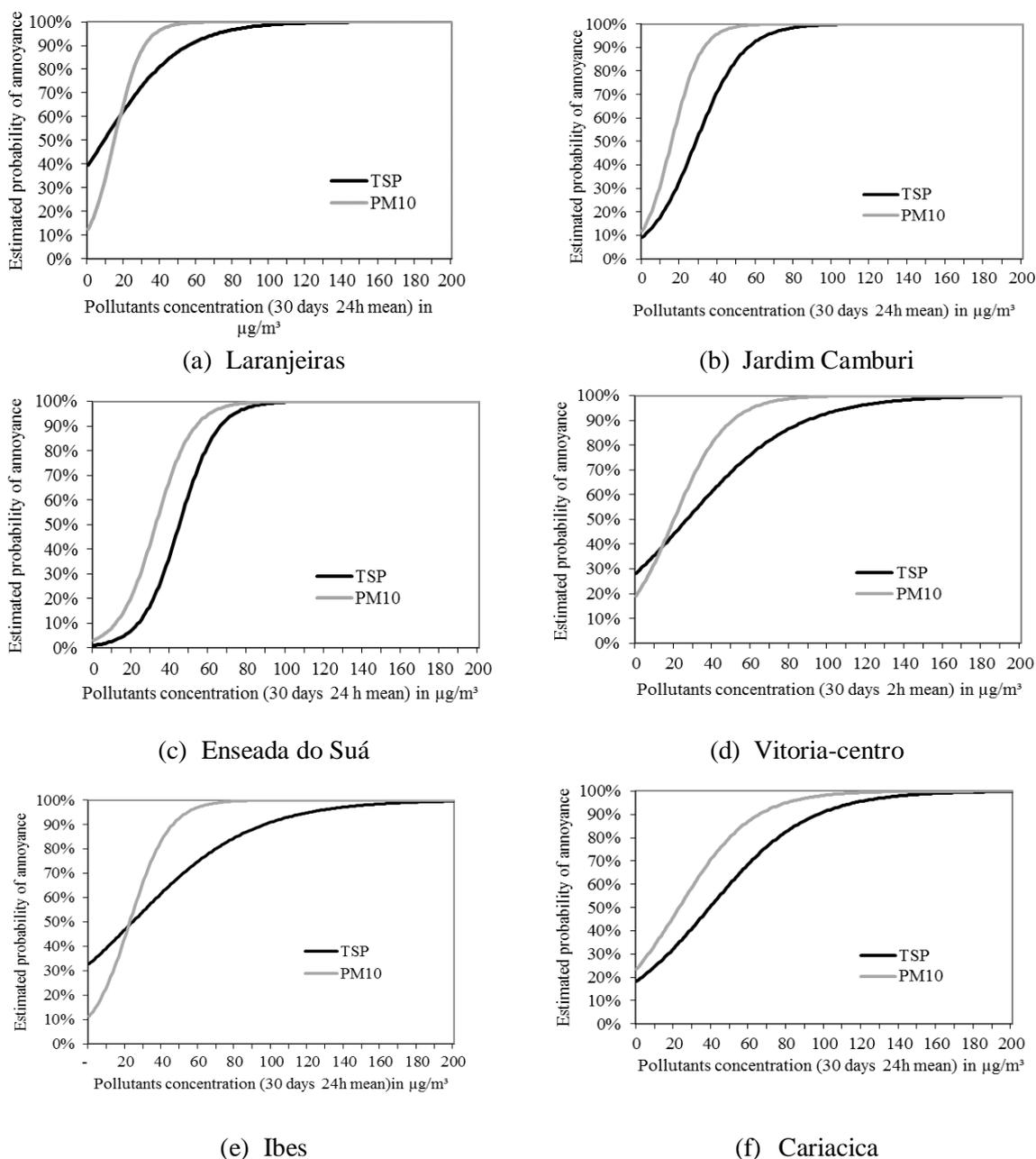


Figure 6 . Exposure–response curves for TSP and PM_{10} estimated for each sub region, Laranjeiras (a), Jardim Camburi (b), Enseada do Sua (c), Vitoria-centro (d), Ibes (e) and Cariacica (f)

When compared to the results of the present study for the Vitoria region, it appears that the probability levels for Vitoria are very high. This could be related to socioeconomic parameters, taking into account the different socioeconomic level of the two regions, and it reinforces the importance to control air pollutant emissions in the Vitoria region, considering that annoyance is a public health issue that affects the quality of life of citizens.

TABLE 12
PARAMETERS ESTIMATED BY THE LOGISTIC REGRESSION MODEL FOR THE VITORIA REGION

Parameters	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	Exp($\widehat{\beta}_1$)	95% C.I. for EXP($\widehat{\beta}$)		P(x) =30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P(x) =50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
				Lower	Upper		
TSP	-1,227	,041	1,042	1,037	1,047	50%	69%
PM ₁₀	-1,572	,071	1,074	1,065	1,083	63%	88%

In Figures 7 (a) and 7(b), respectively, are presented the exposure response relationship between the perceived annoyance and the daily (30-days) average concentrations of TSP and PM₁₀. The bands in dotted lines indicate the 95% confidence intervals of the curves. These are the confidence intervals for the relationships, since at each exposure value there is quite large individual variation in the responses. Considering the WHO guideline for PM₁₀ (equal to 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hour mean) about 90% of the population living in the Vitoria region perceive being “annoyed” by air pollution, and for the same concentrations of TSP about 70% of the population perceive being “annoyed” by air pollution.

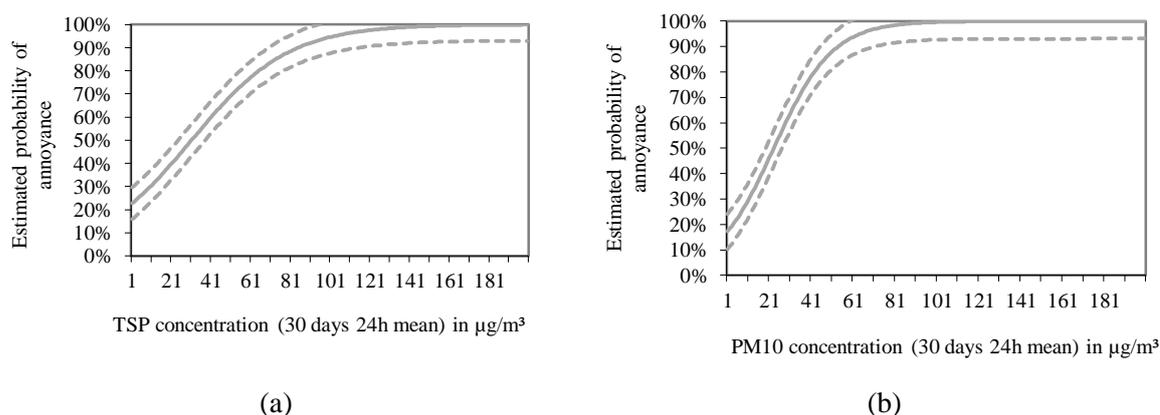


Figure 7 - Exposure–response curves for (a) TSP and (b) PM₁₀, showing the relation between pollutant concentrations and the proportion of the population that perceives to be annoyed by air pollution.

4. Conclusions

This paper investigates the perceived annoyance caused by air pollution through surveys conducted in the metropolitan area of Vitoria in Espirito Santo, Brazil. The results show that about 90% of the population reports being annoyed by air pollution in all eight sub-regions of the survey and from these, approximately 60% reported being “very” and “extremely annoyed”. There is no significant difference between perceived levels of annoyance during the winter and summer. Furthermore, the sub regions where the higher levels of annoyance are observed are not the same with the sub-regions where the highest annual mean TSP and PM₁₀ concentrations are measured. The highest annoyance levels are observed in the two sub-regions located closer to the main industrial sources and have a visual contact with the emitted pollutants. The form of

air pollution that is more often perceived by the respondents is dust, which confirms that particulate matter is a pollutant that significantly contributes to the perceived annoyance by air pollution.

The concern of citizens about air pollution problems is also related to the results suggesting that most respondents answer that they “always” clean their house to remove dust, that they “sometimes” keep the windows closed to prevent entry of dust and also to the reported occurrence of health problems. It should be noted that the main health problems reported by people are allergy, rhinitis and sinusitis, which are common symptoms of pollutants affecting the respiratory system, such as particulate matter. The respondents reporting these symptoms also perceive higher levels of annoyance from air pollution (i.e. “very” and “extremely” annoyed).

Although the results did not show a significant difference in perceived levels of annoyance between winter and summer, people perceived dust more intense during the summer, in sunny days and during the daytime. This is possibly due to the most visible presence of dust during the daylight and the fact that dust and particulate matter in general are affecting the quality of life of people more during the summertime, taking also into account that the main beach of Vitoria is located near the main industrial area. Further research could possibly examine perceived annoyance at different times of the day, examine the differences between weekdays and the weekend as well as seasonal differences (through surveys performed at different times during all four seasons and not only winter and summer).

Industry and vehicles were identified as the most representative sources of dust. On the same time, the respondents identify many benefits by the local industries, as sources of employment, essential to development and important to the local economy. A very interesting finding is that most of the respondents were not aware about air quality monitoring and also did not know any organization responsible for air quality in this region. This shows how important it is for the environmental agency not only to monitor air quality and provide policy makers with the relevant information, but also to increase its visibility and provide to the general public information on air quality monitoring and on the management of atmospheric pollution. This could on one hand help informing citizens about such an important issue, and therefore assist them to endorse more sustainable lifestyles and reduce their exposure when increased pollution levels are observed, and on the same time probably decrease their concerns and their - high levels of - perceived annoyance from a psychological perspective.

The analysis separated of each sub-region suggests that the profile of respondents is an important role in predicting the perceived annoyance caused by air pollution in the region and

therefore in understanding the factors that affect perceived annoyance. Such an understanding can help policy makers to examine possible ways and measures to address the most relevant parameters in order to reduce annoyance from air pollution in a more targeted manner, in combination with the more general air pollution abatement measures.

This work has also estimated an exposure–response relationship between the levels of perceived annoyance by air pollution and air pollution concentrations (PM₁₀ and TSP) for the Vitoria region. In each sub-region, these relationships are established using very relevant individual indicators of residential exposure (daily mean 24h concentrations of PM₁₀ and TSP for the last 30 days). The exposure–response relationships for the Vitoria region indicate that a number of people are annoyed at exposure levels that commonly occur in industrialized cities. However, it is important to consider the local differences in the regions that are located in proximity to the main industries, the port area and heavy traffic arteries.

The modelled exposure–response relationships were statistically controlled for pollutant concentrations but also for the influence of the identified determinants of perceived annoyance, such as perceived importance of air quality, perceived assessment of air quality, perceived pollution by dust and season (summer). Therefore, these relationships are useful for planning purposes, where policy makers usually do not have access to detailed information on such determinant variables which are very useful especially for micro-management in a regional or city-planning level.

5. Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support of FAPES and CAPES (Brazilian governmental agencies for technology development and scientific research) and also of IEMA (Environmental agency in state of Espírito Santo).

6. References

- Abraham B., Ledolter J. *Introduction to Regression Modeling*. Thomson Brooks/Cole, 2006.
- Atari D.O., Luginaah I.N., Fung K. The relationship between odour annoyance scores and modelled ambient air pollution in Sarnia, "Chemical Valley", Ontario. *Int J Environ Res Public Health* 2009;6:2655–75.
- Aatamila M., Verkasalo P.K., Korhonen M.J., Suominen A. L., Hirvonen M., Viluksela M.K., Nevalainen A.(2011) Odour annoyance and physical symptoms among residents living near waste treatment centres. *Environmental Research*, 111, 164-170.
- Albuquerque T.T.A., Andrade M.F. & Ynoue R.Y. Characterization of atmospheric aerosols in the city of São Paulo. Brazil: comparisons between polluted and unpolluted periods. *Environ. Monit. Assess.*, 84(2), 969-984, 2012.

- Alves, M. R., Estudo do Fluxo de Deposição de Partículas para a Região Metropolitana da Grande Vitória usando dados de PTS. 2011. Master's thesis - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
- Amundsen A.H., Klaeboe R. & Fyhri A. Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for Norway. *Atmospheric Environment*. 42, 679-688. 2008.
- Barnett, V. (1991). *Sample Survey principles and methods*. E. Arnold. 3^a edition.
- Berglund B, Berglund U, Lindvall T. (1987). Measurement and control of annoyance. In: Koelga HS, editor. *Environmental annoyance: characterization, measurement and control*. Amsterdam: Elsevier Science, p. 29–43.
- Blanes-Vidal V., Suh H., Nadimi E. S., Løfstrøm P., Ellermann T., Andersen H. V., Schwartz J. (2012) Residential exposure to outdoor air pollution from livestock operations and perceived annoyance among citizens. *Environment International*, 40, 44-50.
- Castanho, A. D. A., Artaxo, P. (2001). Wintertime and summertime São Paulo aerosol source apportionment study. *Atmospheric Environment*, 35, 4889–4902.
- Cochran, W.G. (1977). *Sampling techniques*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Dockery, D.W. and Pope, C.A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*, 15, 107–132.
- Eek F., Karlson B., Osterberg K., Otergren P. (2010). Factors associated with prospective development of environmental annoyance. *Journal of Psychosomatic Research* 69, 9 – 15.
- Egondi T., Kyobutungi C., Ng N., Muindi K., Oti S., De Vijver S. V., Ettarh R., Rocklov J. Community perceptions of air pollution and related health risks in Nairobi Slums. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2013, 10, 4851-4868.
- Forsberg, B., Stjernberg, N., Wall, S. (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*, 54, 44–48.
- Fyhri A., Klaeboe R. (2009). Road traffic noise, sensitivity, annoyance and self-reported health - A structural equation model exercise. *Environment International*, 35 91–97.
- Gustafson E. (1998). Gender differences in Risk perception : theoretical and methodological Perspectives. *Risk Analysis*, 18(6), 805-811.
- Hellequin A.P., Zwarterook I. Mauvais air : vivre au quotidien près d'usines polluantes et dangereuse. In II^{ème} colloque international UMR 5600-ENTPE « Le risque industriel : une question de sciences humaines » 24-25 mars 2010. Lyon.
- Hyslop, N.P. Impaired visibility: the air pollution people see. *Atmospheric Environment*. 43, 182-195, 2009.
- IBGE (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Senso 2010. Accessed on 10 July 2011 from www.ibge.gov.br.
- IEMA (2011). Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória. Acordo de Cooperação Técnica IEMA-ECOSOFT. Instituto Estadual De Meio Ambiente, Vitória, Espírito Santo, Brasil. Retrieved on 11 July 2013 from: www.iema.gov.br.
- Jacquemin B., Sunyer J., Forsberg B., Gotschi T., Oglesby L., Ackermann-Liebrich U., De Marco R., Heinrich J., Jarvis D., Toren K., Kunzli N. 2007. Annoyance due to air pollution in Europe. *International Journal of Epidemiology*, 36, 809–820.

- Kampa M., Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ. Pollut.* 2008, 151, 362–367.
- Kim M., Yi O., Kim H. (2012). The role differences in individual and community attributes in perceived air quality. *Science of the Total Environment*, 425, 20-26.
- Klaeboe R., Kolbenstvedt M., Clench-Aas, J., Bartonova, A. (2000). Oslo traffic study - part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. *Atmospheric Environment*, 34, 4727-4736.
- Klæboe R., Amundsen A.H., Fyhri A. (2008). Annoyance from vehicular air pollution: A comparison of European exposure–response relationships. *Atmospheric Environment*, 42, 7689-7694.
- Lehman, A. (2005). *JMP for Basic Univariate and Multivariate Statistics: A Step-by-step Guide*. Local: Campus Drive, Cary, North Carolina, Editora SAS Institute.
- Lindvall T., Radford E. (1973). Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. *Environ. Res.* 6, 1-36.
- Nikolopoulou M., Kleissl J., Linden P.F., Lykoudis S. (2011). Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution. *Science of the Total Environment*, 409(13), 2493-202.
- Oglesby L, Kunzli N., Monn C., Schindler C., Ackermann-Liebrich U., Leuenberger P. Validity of annoyance scores for estimation of long term air pollution exposure in epidemiologic studies: The Swiss study on air pollution and lung diseases in adults (SAPALDIA). *Am. J. Epidemiol.*, 2000, 152, 75–83.
- Rotko T., Oglesby L., Kunzli N., Carrer P., Nieuwenhuijsen M.J., Jantunen M. Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM_{2.5}, NO₂) concentrations in the European EXPOLIS study. *Atmospheric Environment* 36 (2002). 4593–4602.
- Santos. J. M., Reis JR. N.C. (2011). Caracterização e quantificação de Partículas Sedimentáveis na Região da grande Vitória. Relatório Técnico Final elaborado para o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- Seinfeld, J. H., Pandis, N. S. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change*. USA: Wiley – IntersciencePublication.
- Souza, L. B. Estudo de correlação entre a percepção do incômodo causado pelas partículas sedimentadas e os níveis de concentração na atmosfera em uma região impactada. Master's thesis - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
- Stenlund, T., Lidén, E., Andersson, K., Garvill, J., Nordin, S. Annoyance and health symptoms and their influencing factors: A population-based air pollution intervention study. *Public Health* 123, 339-345, 2009.
- Schwartz, J. (1994). Air pollution and daily mortality: a review and meta-analysis. *Environmental Research*, 64, 36–52.
- Vallack H. W., Shillito D. E. (1998) Suggested guidelines for deposited ambient dust. *Atmospheric Environment*, 32(16), 2737-2744.
- WHO - World Health Organization. WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide. Global update 2005. Summary of Risk Assessment. Geneva, 2006.

5.4 Diretrizes para limites de taxa de deposição: um estudo baseado em pesquisas de opinião sobre o incômodo percebido e taxa de deposição de partículas

Como já explicitado na revisão da literatura, varios países possuem padrões como referência de limite para partículas sedimentáveis, que quando ultrapassados, causam incômodo. No entanto, não há uma metodologia internacional a ser adotada e nem mesmo diretriz que considere a opinião da população como variável relevante na investigação desse problema.

Esta tese propõe o desenvolvimento de um guia para orientação e definição de diretrizes como contribuição inovadora no sentido de estabelecer diretrizes de qualidade do ar para a taxa de deposição de partículas que evite ou reduza os níveis de incômodo percebido. Alguns desafios são abordados para o desenvolvimento da pesquisa: o plano de amostragem, o instrumento de coleta de dados, e as perguntas que incluem escalas de avaliação para o incômodo, a terminologia e linguagem utilizada, abordagem e seleção de respondentes, áreas de abrangência e representatividade espacial, estações de monitoramento da qualidade do ar e características do local.

A pesquisa destaca a necessidade de combinar disciplinas e conhecimentos das ciências sociais, estatística, engenharia e poluição do ar, a fim de assegurar a coleta de dados robustos e confiáveis. A proposta final é resultado de um projeto de pesquisa, financiado pela Fundação de apoio à pesquisa do Espírito Santo FAPES e pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado do Espírito Santo (IEMA), com o objetivo de fornecer informações com base técnica e científica relevantes para a tomada de decisão sobre a definição de um padrão de qualidade do ar para partículas sedimentadas na RGV.

O relatório científico será traduzido e formatado conforme as normas de artigo científico que será submetido ao jornal “**Atmospheric Environment**”.

DIRETRIZES PARA DETERMINAÇÃO DE PADRÃO DE QUALIDADE DO AR PARA PARTÍCULAS SEDIMENTADAS NA RMGV: INCÔMODO VERSUS TAXA DE DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS

Milena Machado de Melo^{1,*}, Valderio Anselmo Reisen⁴, Jane Meri Santos², Ilias Mavroidis³, Neyval Costa Reis Junior²,

Instituto Federal do Espírito Santo, Guarapari, Brazil⁽¹⁾ (milenam@ifes.edu.br), Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Environmental Engineering, Vitoria, Brazil⁽²⁾, Hellenic Open University, Patras, Greece⁽³⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Statistic, Vitoria, Brazil⁽⁴⁾

Abstract: This study outlines best practice guidelines for developing a survey to investigate public annoyance related to settled dust, with the results used to suggest a standard for this pollutant. Based on the development of international best practice guidelines and research into criteria used to establish values for pollutants to prevent or reduce the levels of nuisance, the challenges related to developing such a survey are addressed. The issues include the development of questions and rating scales for annoyance, selection of terminology used in the survey to define annoyance, different sources of air pollution, selection of respondents in the catchment areas of air-quality monitoring stations, and laws in force at other locations. By applying statistical techniques, it is possible to find a relationship between perceived annoyance by respondents and rate of settled particles measured in the air quality monitoring stations. The process highlights the need to combine disciplines, such as by applying information from the social sciences, statistics, engineering and air pollution to ensure the collection of robust and reliable data. The final proposal aimed to produce exposure–response relationships for annoyance caused by settled dust to provide information to aid in decision making by competent organisations.

Keywords: air quality guideline, settled dust, particles, annoyance, standard.

1. Introdução

De acordo com a Resolução CONAMA N°. 003 de 28 de junho de 1990, poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora e prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

O material particulado presente na atmosfera (MP) é um poluente formado por partículas sólidas ou líquidas, de granulometria, forma e composição química variada, de acordo com sua fonte de origem e os processos físicos e químicos de transformação aos quais foi submetido durante seu transporte na atmosfera. O material particulado, apesar das diferenças em composição química e forma, é principalmente classificado por seu diâmetro aerodinâmico¹ que indica o potencial e o local de deposição da partícula no sistema respiratório humano. Assim, o material particulado é usualmente classificado como: partículas totais em suspensão (PTS), representadas por todas as partículas em suspensão na atmosfera, com larga faixa granulométrica e capazes de serem amostradas pelo equipamento de medição em uso (tipicamente, entre 0,005 μm a 100 μm); partículas inaláveis (MP_{10}), com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 μm , que penetram o sistema respiratório; partículas finas ou partículas respiráveis ($\text{MP}_{2,5}$) que possuem diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 μm e alojam-se no bronquíolo terminal, enquanto as outras frações de partículas menores que 10 μm ficam retidas no nariz e nasofaringe, podendo ser, posteriormente, eliminadas do sistema respiratório pelos mecanismos de defesa do organismo humano (HOLGATE *et al.*, 1999); partículas ultrafinas ($\text{MP}_{0,1}$) que possuem diâmetro aerodinâmico inferior a 0,1 μm cujos efeitos a saúde humana ainda não estão bastante estudados (WHO, 2006); e partículas sedimentadas (PS) que resultam da sedimentação ou deposição das partículas anteriormente em suspensão na atmosfera.

O material particulado sedimentável é definido pela norma ASTM D1739 (1998), como: “qualquer material composto de partículas pequenas o bastante para passar por uma peneira de tela de seleção de 1 mm e grande o suficiente para sedimentar em virtude do seu peso em um contêiner exposto ao ar ambiente (tradução livre)”. Ou ainda, conforme a norma ABNT MB 3402 (1991), como: “Poeira presente na atmosfera, suscetível à coleta por sedimentação livre,

¹ O diâmetro aerodinâmico corresponde ao tamanho de uma partícula com densidade absoluta unitária (1 g m^{-3}) e formato esférico que possui as mesmas características aerodinâmicas da partícula de interesse.

composta de partículas sólidas ou líquidas suficientemente grandes para se depositarem no frasco coletor e bastante pequenas para atravessarem a peneira de 0,84 mm (20 *mesh*)”.

O material particulado pode ficar em suspensão na atmosfera por longos períodos e se depositar em diferentes distâncias da fonte emissora, dependendo do seu diâmetro. Quanto maior o diâmetro das partículas mais próximo à fonte ocorre a sedimentação. Um estudo realizado por Conti *et al.* (2013) realizou uma amostragem de partículas sedimentadas em dois pontos na cidade de Vitória (Enseada do Suá e Ilha do boi) e identificou que cerca de 95% das partículas sedimentadas, em massa, são maiores que 10 μm . Entretanto, em número, cerca de 95% dessas partículas são menores que 10 μm e, portanto, quando as menores que 10 μm são resuspendidas e inaladas, podem ocasionar efeitos adversos à saúde.

Embora não haja evidências científicas que comprovem o efeito deletério por inalação de partículas sedimentadas, elas causam sujidade em ambientes residenciais e urbanos e a degradação de materiais (por exemplo, objetos e pintura de superfícies) que podem prejudicar o uso e gozo da propriedade e alterar as atividades normais da sociedade. O MP sedimentado pode ser inconveniente ao bem-estar público, pode se depositar sobre a vegetação, os materiais, edificações e monumentos e ocasionar modificação das propriedades óticas das folhas, com consequente diminuição da atividade fotossintética das plantas e a descoloração e decomposição de materiais de construção, entre outros efeitos (COLLS, 2002; HU *et al.*, 2006; JACQUEMIN *et al.*, 2007; HYSLOP, 2009; NIKOLOPOULOU *et al.*, 2011). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), saúde é definida como “estado de completo desenvolvimento físico, mental e de bem estar social e não apenas a ausência de doenças ou enfermidades” (WHO, 2000). Nesse contexto, as partículas sedimentadas são consideradas como poluentes atmosféricos e nocivas ao bem estar público e à qualidade de vida.

O incômodo causado pelas partículas sedimentadas é considerado subjetivo e, portanto, difícil de ser quantificado (VALLACK e SHILLITO, 1998). A intensidade do incômodo percebido pode depender das características das partículas (coloração e quantidade depositada) e da percepção individual que por sua vez pode estar relacionada à fatores como: condições de saúde, nível socioeconômico e cultural, características da localidade, identificação das fontes emissoras, conhecimento sobre os riscos e acesso a informação (JACQUEMIN *et al.*, 2007; STENLUND *et al.*, 2009, EGONDI *et al.*, 2013). Esses fatores podem explicar as diferenças de opiniões entre indivíduos expostos aos mesmos níveis de poluição (WHITTLE *et al.*, 2014). Além das atitudes dos indivíduos, características pessoais e da comunidade em relação à percepção da qualidade do ar, constitui informação importante para o desenvolvimento de

metas ou programas de intervenção com fins à busca de solução para o problema do incômodo causado pela poluição do ar (BERGLUND *et al.*, 1987; EGONDI *et al.*, 2013).

Alguns estudos encontrados na literatura científica investigam a relação entre o incômodo percebido e níveis de concentração de poluentes atmosféricos, por exemplo, por meio de pesquisas de opinião junto à população e dados de concentração de partículas inaláveis (MP₁₀) (OGLESBY *et al.*, 2000, KLÆBOE *et al.*, 2008, AMUNDSEN *et al.*, 2008, NIKOLOPOULOU *et al.*, 2011), partículas finas (MP_{2,5}) (ROTKO *et al.*, 2002, AMUNDSEN *et al.*, 2008) além de gases (NO₂, NH₃) (KLÆBOE *et al.*, 2008, AMUNDSEN *et al.*, 2008, BLANES-VIDAL *et al.*, 2012).

No que tange a legislação vigente, embora não haja um padrão internacional específico para partículas sedimentadas, vários países possuem padrões referenciais para o valor limite da taxa de deposição de partículas que quando ultrapassados, podem causar incômodo à população. Os padrões adotados para a taxa de deposição de partículas variam entre os diferentes países, e muitas vezes entre regiões de um mesmo país; por exemplo, nos EUA e Canadá, existem padrões diferentes entre os Estados. De maneira geral, os padrões adotados para a taxa de deposição de partículas estão entre 2,4 e 20 g/(m² 30 dias), variando em áreas residenciais, comerciais ou industriais, sendo a maioria dos padrões empregados entre 5,0 e 10 g/(m² 30 dias).

A Tabela 1 sumariza os valores limites definidos como padrões para taxas de deposição de partículas adotados em diversas regiões. Vale ressaltar que a metodologia utilizada para a coleta de partículas sedimentadas se difere em cada País, Estado ou Município. Para fins de comparação, os valores originais adotados como padrão em cada localidade descrita na Tabela 1 foram padronizados na mesma unidade. Alguns Estados brasileiros estabeleceram padrão para partículas sedimentadas: (i) no estado de Minas Gerais (médias mensais) cujos valores foram adotados em função do uso do solo: 10 g/(m² 30 dias) em áreas industriais e 5 g/(m² 30 dias) nas áreas residenciais e comerciais (Deliberação Normativa COPAM N° 01 de 26 de maio de 1981); (ii) no estado do Amapá (Lei Ambiental do Município de Macapá N° 948/98, Capítulo V, Seção III, Art. 89) e (iii) no estado do Rio de Janeiro (NT 603.R-4 de 15 de março de 1978) cujos valores são idênticos aos do estado de Minas Gerais. No Espírito Santo, em 2013, foi estabelecido o padrão estadual para partículas sedimentadas (Decreto No. 3463-R, de 16 de dezembro de 2013, publicado no Diário Oficial da União em 17/12/2013) e introduzido o conceito de metas intermediárias (MI) que são estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar, e padrões finais (PF) que representam os alvos de longo prazo. Foram criadas três MI que levam ao gradual

atendimento do PF. Entretanto, o Decreto No. 3463-R/2013, apenas estabeleceu a primeira MI para partículas sedimentadas (14 g/(m² 30 dias)), que representa o padrão em vigor, faltando, ainda, o estabelecimento das duas MI subsequentes e o PF.

TABELA 1
PADRÕES REFERENCIAIS DA TAXA DE DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS PRATICADOS EM VÁRIAS LOCALIDADES NO MUNDO

País/Cidade	Tempo de média	Padrão mg/(m² dia)	Padrão g/(m² 30 dias)
Grã-Bretanha	Média mensal (áreas rurais)	80 (90° percentil) ²	2,4 (90° percentil) ¹
		100 (95° percentil) ²	3 (95° percentil) ¹
	Média mensal (áreas residenciais)	110 (90° percentil) ²	3,3(90° percentil) ¹
		150 (95° percentil) ²	4,5 (95° percentil) ¹
	Média mensal (áreas comerciais em centros urbanos)	150 (90° percentil) ²	4,5 (90° percentil) ¹
		190 (95° percentil) ²	5,7 (95° percentil) ¹
200 (<i>custom and practice limit</i>)		6 ¹	
Finlândia	Média anual	333 ³	10 ¹
Alemanha	Média de longo prazo	350 ^{4,3}	10,5 ¹
	Média de curto prazo	650 ^{4,3}	19,5 ¹
Espanha	Média anual	200 ³	6 ¹
Austrália			4 ^{1,12}
(Oeste da Austrália)	Primeiros incômodos percebidos	133 ³	4 ¹
	Piora inaceitável da qualidade do ar	333 ³	10 ¹
Argentina	Média anual	333 ³	10 ¹
Brasil			
Minas Gerais			10 ^{4,9} (áreas industriais)
			5 ^{4,9} (demais áreas inclusive residenciais e comerciais)
Rio de Janeiro			10 ^{1,4,10} (áreas industriais)
			5 ^{1,4,10} (demais áreas, inclusive comerciais e residenciais)
Amapá			10 ^{1,4,11} (áreas industriais)
			5 ^{1,4,11} (demais áreas, inclusive comerciais e residenciais)
Vitória			14 ^{1,13}
Canadá			
Alberta	Média anual	180 ³	5,4 ¹
Manitoba	Média anual	153 ³	4,6 ¹
	Maximo aceitável	266 ³	8 ¹
	Maximo desejável	200 ³	6 ¹
Newfoundland	Média anual	153 ³	4,6 ¹
	Média mensal	233 ³	7 ¹

... continua

TABELA 1...Continuação

País/Cidade	Tempo de média	Padrão mg/(m ² dia)	Padrão g/(m ² 30 dias)
Ontário	Média anual	170 ³	5,1
	Média mensal	200 ³	6 ¹
Vancouver		175 (desejável)⁷	5,25¹
		290 (aceitável) ⁷	8,7 ¹
EUA			
Kentucky	Média anual	196 ³	
Louisiana	Media anual	262 ³	
Maryland	Média anual	183 ³	
Mississippi	Média mensal (acima do valor de background)	175 ³	
Montana	Media anual (áreas residenciais)	196 ³	10 ⁶
New York	Durante 12 meses consecutivos o padrão não deve ser excedido mais que 50% do período total de 12 meses.	100 ³	3 ⁵ (áreas rurais para agricultura ou recreação)
			3 ⁵ (áreas com baixa densidade populacional, pequenas fazendas e poucos serviços comerciais e industriais)
			4 ⁵ (áreas densamente povoadas, pequenas regiões metropolitanas, indústrias de pequeno porte)
			6 ⁵ (áreas densamente povoadas, grandes regiões metropolitanas e parque industrial)
	Durante 12 meses consecutivos o padrão não deve ser excedido mais que 84% do período total de 12 meses (ou seja, o padrão não deve ser excedido mais que 2 meses dias durante 365 dias consecutivos)	130 ³	4,5 ⁵ (áreas rurais para agricultura ou recreação)
			4,5 ⁵ (áreas com baixa densidade populacional, pequenas fazendas e poucos serviços comerciais e industriais)
			6 ⁵ (áreas densamente povoadas, pequenas regiões metropolitanas, indústrias de pequeno porte)
			9 ⁵ (áreas densamente povoadas, grandes regiões metropolitanas e parque industrial)
Dakota do Norte	Média de três meses	196 ³	
Pensilvânia	Média anual		8 ^{4,8}
	Média mensal		15 ^{4,8}
Washington	Média anual	183 ³	
Wyoming	Média mensal	170 ³	

(¹) Calculado para g/(m² 30 dias) (transformação de unidades); (²) Resultado do cálculo proposto em Vallack & Shillito (1998); (³) Apresentado por Vallack & Shillito (1998); (⁴) Massa combinada de sólidos solúveis e não-solúveis; (⁵) DENY (2009); (⁶) DEQM (2005); (⁷) METROVANCOUVER (2002); (⁸) PC (1998); (⁹) COPAM (1981); (¹⁰) NT 603.R-4 de 15/03/1978; (¹¹) Lei Ambiental do Município de Macapá n° 948/98, Capítulo V, Seção III, Art. 89; (12)PEPR (2012); (13) Decreto n° 3463-R, de 16/12/ 2013.

Fonte: Adaptado de Santos e Reis (2011).

Na Região Metropolitana da Grande Vitória (RGV), o incômodo causado pela poluição do ar é um problema de grande interesse em esfera social e científica. Aproximadamente 25% das

reclamações feitas junto ao órgão ambiental estadual entre 2008 e 2012, dizem respeito à poluição atmosférica (SOUZA, 2011). No ano de 2006 foi realizada uma pesquisa de opinião na RGV em que 47% dos entrevistados reportaram sentir-se muito incomodados com a presença de poeira, 28% extremamente incomodados, e 24% pouco incomodados (ALVES et al., 2006). Outro estudo, conduzido junto aos moradores da Ilha do boi, em Vitória, mostrou que 98,6% dos respondentes afirmaram sentir-se incomodados com a poeira depositada em suas residências; dentre os quais, 62,3% disseram estar muito ou extremamente incomodados (SOUZA, 2011).

De acordo com o relatório anual de qualidade do ar (IEMA, 2013), desde 2009, as partículas sedimentadas ultrapassaram a meta primeira MI oito vezes na estação Laranjeiras, seis vezes na estação Enseada do Suá, sendo superior a 10 g/(m² 30 dias) nessas estações durante quase todo o período. Nas estações Cariacica e Ibes essa meta foi ultrapassada duas vezes e nas estações Ibes, Vila Velha-Centro e Vitoria-Centro apenas uma vez período. Entre todas as estações, somente a estação Carapina a taxa de deposição foi inferior a 5 g/(m² 30 dias) no mesmo período.

Portanto, considerando (i) que o incômodo causado por partículas sedimentadas está relacionado ao bem-estar e qualidade de vida da população, (ii) que dentre as partículas sedimentadas são encontradas partículas de granulometria diversa, (iii) que várias localidades já possuem padrões estabelecidos para partículas sedimentadas, (iv) que o estado do Espírito Santo necessita ainda estabelecer metas intermediárias e padrão final para partículas sedimentadas, (v) que a literatura científica propõe ferramentas e metodologias para o estabelecimento do incômodo e sua correlação com a taxa de deposição, (vi) que as partículas sedimentadas são monitoradas na RGV desde 2009, apresentando ultrapassagem da primeira meta intermediária, (vii) que uma parcela significativa das reclamações recebidas pelo órgão ambiental do Espírito Santo corresponde a poluição atmosférica e (viii) que estudos anteriores mostraram que a população na RMGV sente-se incomodada com a presença de partículas sedimentadas, o objetivo deste estudo consiste em correlacionar níveis de incômodo percebido pela população e a taxa de deposição de partículas, a fim de definir diretrizes para o estabelecimento de valores limites de taxa de deposição de partículas que permitam o gerenciamento da qualidade do ar.

De acordo com a OMS, diretrizes para qualidade do ar visam apoiar as ações para proteger a saúde pública. Padrões de qualidade do ar, por outro lado, são determinados por cada região (município, estado ou país) como valores limites legais de determinados poluentes atmosféricos a fim de proteger a saúde pública e os seus cidadãos e são, portanto, importantes para o

gerenciamento da qualidade do ar e políticas ambientais. Padrões de qualidade do ar devem ser estabelecidos considerando os riscos à saúde e ao bem-estar da população e o direito ao uso e gozo da propriedade e a realização das atividades normais da comunidade, mas, devem ainda, ser viáveis em termos da tecnologia disponível, dos aspectos econômicos, políticos e sociais, que dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento local e da capacidade de gerenciamento da qualidade do ar. Assim, os órgãos responsáveis devem avaliar cuidadosamente as circunstâncias locais antes de adotar diretamente as diretrizes recomendadas neste trabalho como metas intermediárias e padrão final de qualidade do ar.

2. O incômodo percebido e sua correlação com a poluição do ar

2.1. Escalas para mensuração da variável incômodo

De acordo com Michaelis (2006), o termo incômodo é um adjetivo que pode ser definido como o que não é cômodo, que incomoda, que enfada, que embaraça, que importuna, que promove aborrecimento, importunação, trabalho, fadiga, estorvo ou, ainda, como sinônimo para desagradável, enfadonho, importuno. Lindvall e Radford (1973) definem o sentimento de incômodo como “uma sensação desagradável associada a um agente ou condição que pode afetar um indivíduo ou grupo de pessoas”. Segundo Nordin e Lidén (2006), o incômodo pode ser considerado um problema da comunidade, mesmo quando apenas uma pequena parte da população se sente incomodada com determinada frequência.

O incômodo é uma variável subjetiva categórica associada aos sentidos, e pode ser quantificado por meio de perguntas com escalas de respostas. Escalas qualitativas são frequentemente aplicadas em estudos sobre incômodo causado por ruído e odor como, por exemplo, nos estudos de Passchier & Passchier (2000) e Klæboe *et al.* (2000). A utilização de escala com cinco opções (não percebeu, nada incomodado, pouco, muito e extremamente incomodado) foi adotada no estudo de incômodo causado por vibração em Klæboe *et al.* (2003). Atari *et al.* (2009) adotaram escalas categórica e numérica de cinco pontos para medir o incômodo causado por odor. Blanes-Vidal *et al.* (2012) adotaram uma escala qualitativa para representar os graus de incômodo causado por odor com cinco níveis de intensidade (nada, pouco, moderado, muito e extremamente incomodado) que foi dicotomizada (0 = nada incomodado, 1= incomodados). Whittle *et al.* (2014) propuseram a combinação de escala qualitativa (nada, pouco, moderado, muito e extremamente) e uma escala numérica de zero a dez para medir o incômodo causado por vibração.

Nos estudos sobre incômodo e poluição do ar, observou-se a aplicação de escalas numéricas, como a escala de três pontos proposta por Klæboe *et al.* (2000) para medir o incômodo causado

pela poluição do ar no trânsito. Oglesby *et al.* (2000) utilizaram escala numérica de onze pontos em que os respondentes atribuíram notas ao incômodo percebido por poluentes atmosféricos. Llop *et al.* (2008) fizeram uso de escala numérica de 11 pontos variando de 0 (nada incomodado) a 10 (extremamente incomodado) para medir o incômodo causado pela poluição do ar proveniente do meio externo e, posteriormente, categorizou a escala de incômodo como nada (0), pouco (1-3), médio (4-7) e extremamente (8-10) incomodado. Amundsen *et al.* (2008) usaram uma escala com três categorias de respostas (altamente incomodado, pouco incomodado e nada incomodado) que foi dicotomizada (0 - pouco e 1- altamente incomodado) para aplicação da técnica estatística. Egondi *et al.* (2013) utilizaram escalas ordinais de cinco pontos para medir os níveis de incômodo causado por poluição do ar em ambientes internos e externos em duas comunidades na África.

O propósito principal da adoção de uma escala adequada à medir o incômodo percebido é facilitar a expressão do sentimento e tornar possível sua quantificação. As escalas qualitativa e numérica apresentadas na Figura 1 representam modelos de escalas simples e de fácil entendimento, comumente apresentadas na literatura para medir graus, níveis ou notas de incômodo percebido por parte da população.

Nada incomodado	Pouco incomodado	Moderadamente incomodado	Muito incomodado	Extremamente incomodado						
1	2	3	4	5						
(a)										
Nenhum incômodo										Extremamente incomodado
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(b)										

Figura 1. Modelos de escalas (a) qualitativa/categórica e (b) numérica de onze pontos para medir níveis de incômodo.

2.2. Técnicas estatísticas para correlação de incômodo e qualidade do ar

Conforme Klaeboe *et al.* (2003), frequentemente os modelos de regressão linear são aplicados para estudar a relação entre variáveis, mas sem considerar a não-linearidade existente nas possíveis relações. Já os modelos de regressão logística simples ou múltipla (dependendo do número de variáveis dependentes envolvidas) não apresentam essa deficiência. Em ambos os modelos, os valores ou categorias da variável de interesse podem ser de natureza nominal ou ordinal. Se a variável dependente é de natureza ordinal (ou seja, assume mais de dois valores possíveis ordenados, por exemplo, valores de 0 a 10), a regressão logística ordinal é a escolha mais adequada. Se a variável dependente representa respostas de natureza binominal, por exemplo, não incomodado e incomodado (apenas dois valores possíveis), a regressão logística

binominal é a técnica mais indicada. Observa-se, em muitos trabalhos, a transformação de variáveis ordinais em variáveis binominais a fim de possibilitar a aplicação da técnica de regressão binominal facilitando a interpretação dos resultados. O cálculo das médias das notas dadas ao incômodo e sua dicotomização para inserção no modelo de regressão foi utilizado por Rotko *et al.* (2002), Egondi *et al.* (2013) e Whittle *et al.* (2014), entre outros. A dicotomização da variável incômodo consiste na transformação de escala numérica de 0 a 10 em apenas dois valores 0 e 1, considerando, por exemplo, que as notas superiores ou iguais a 7 correspondem aos elevados níveis de incômodo e, portanto, assume valor igual a 1, e menores que 7 correspondem aos menores níveis de incômodo e, portanto, assume valor igual a 0.

Oglesby *et al.* (2000) utilizaram regressão linear simples para correlacionar notas atribuídas ao incômodo (opções de respostas a questionários) com médias diárias de concentração de MP_{10} e NO_2 medidos nas vias de trânsito em várias cidades da Suíça e encontraram correlação positiva significativa. Klaeboe *et al.* (2000) dicotomizaram a resposta ao incômodo “altamente incomodado” e “pouco incomodado” como variáveis dependentes no modelo de regressão logística e encontraram relação entre a resposta ao incômodo e a poluição do ar (concentração de MP_{10} e NO_2) na cidade de Oslo (Noruega). Rotko *et al.* (2002) utilizaram a regressão logística e demonstraram que a média de notas (> 7 e ≤ 7) atribuídas ao incômodo em casa e no trabalho estavam correlacionadas com a média de 48h da concentração de $MP_{2,5}$ em várias cidades da Europa. Posteriormente, Amundsen *et al.* (2008) aplicaram regressão logística para estimar a relação entre a média diária de três meses da concentração de poluentes atmosféricos (MP_{10} , $MP_{2,5}$ e NO_2) proveniente do tráfego de veículos e o percentual da população incomodada por esses poluentes em duas cidades da Noruega. No referido trabalho as concentrações dos poluentes foram estimadas por um modelo de dispersão, que forneceu as concentrações horárias que foram adotadas de acordo com a localização de cada entrevistado. Nikolopoulou *et al.* (2011) identificaram relação significativa, utilizando regressão logística, entre número de votos atribuídos à qualidade do ar (muito ruim, ruim, regular, boa, muito boa) e concentração de MP_{10} proveniente do trânsito na cidade de San Diego nos EUA. Blanes-Vidal *et al.* (2012) utilizaram o modelo de regressão logística para encontrar a proporção de incomodados quando expostos a diferentes níveis de concentração de NH_3 em residências de áreas rurais na Dinamarca. Egondi *et al.* (2013) aplicaram regressão linear múltipla para correlacionar características, entre as quais os graus de incômodo com a percepção da poluição do ar e a percepção de riscos para a saúde em duas comunidades em Nairobi, no Quênia.

O propósito principal do presente estudo é estimar a relação entre exposição à taxa de partículas sedimentadas e a percepção do incômodo. Assim, o modelo de regressão logística simples

binominal pode ser utilizado, pois permite prever o percentual de indivíduos altamente incomodados (variável dependente dicotomizada) quando expostos a níveis gradativos de taxas de deposição de partículas (variável independente).

3. Metodologia

3.1. Descrição da região de interesse

A região de interesse pode ser qualquer área geográfica que forme uma unidade distinta em virtude de determinadas características. Uma região pode ser subdividida em unidades, como bairros, distritos ou cidades. Assim, é recomendável pesquisar e descrever as características da região, incluindo, por exemplo, número de unidades, tamanho, densidade populacional, relevo e clima, além de especificar as sub-regiões onde será feita a coleta de dados, sobre o incômodo percebido pela população e o monitoramento do poluente de interesse (WHITTLE *et al.*, 2014). A região de interesse do presente estudo é a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), formada pelos municípios de Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica, Fundão, Guarapari e Viana. Possui cerca de 1,66 milhões de habitantes e ocupa uma área territorial de aproximadamente 2.023 km² (IBGE, 2010). Aproximadamente 24,5% da população da RMGV vive no município de Vila Velha, 24% na Serra, 22% em Cariacica, 19% em Vitória, que constituem os 4 municípios com maior Produto Interno Bruto no estado do Espírito Santo, e os outros 10,5% da população vivem em Guarapari, Viana e Fundão (IJSN, 2008). O índice de desenvolvimento humano do município (IDHM) calculado pelo Instituto Jones dos Santos Neves para a RMGV em 2000 é de 0,798, portanto, próximo ao corte para o alto desenvolvimento humano (0,80). Porém, há disparidades em desenvolvimento humano entre os municípios da RMGV: Vitória (0,84), Vila Velha (0,8), Serra (0,73), Guarapari (0,73), Cariacica (0,71), Fundão (0,71) e Viana (0,68). A região é responsável por mais de 60% do Produto Interno Bruto (PIB) estadual, sendo que o PIB per capita é igual a R\$ 27.162,94 na RMGV (IBGE, 2010).

De acordo com o Relatório de Qualidade do Ar (IEMA, 2013) a RMGV está localizada na parte central do estado (zona tropical) com fronteiras ao leste com o oceano atlântico, sofrendo influência tanto de sistemas tropicais, como de latitudes médias, com estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa no verão. O relevo é caracterizado por maciços rochosos, serras e morros, áreas de baixada, além de grandes planícies. A ocupação do solo é variada, com grandes extensões cobertas pela mancha urbana e outras por vegetação, que é constituída por fragmentos de mata atlântica, restingas, várzeas, manguezais, vegetação rupestre, campos e pastagens. Por estar situada na região litorânea, a RMGV apresenta clima tropical quente, possuindo inverno ameno e seco (40,3 mm em agosto), e verão chuvoso e quente (período

quente entre outubro e abril, com maior ocorrência de chuvas em dezembro, média acumulada igual a 175,8 mm). A temperatura média na cidade de Vitória é igual a 24,2°C, com leve queda nos meses do inverno (18,8°C em julho) e suave aumento durante o verão (31,6°C em fevereiro). Ao longo do litoral na região sudeste do Brasil, os ventos são predominantemente de NE, favorecendo o transporte de umidade do oceano Atlântico Equatorial para o ramo oceânico da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As características do regime de vento na RMGV são influenciadas também por circulações de vento locais bastante distintos, como as brisas marinhas e terrestres (devido à proximidade com o oceano) e brisas de vale e montanha (devido à topografia acidentada) (IEMA, 2013).

A RMGV é uma região urbana altamente industrializada e em processo de expansão. Os principais grupos de fontes emissoras de poluentes atmosféricos na RMGV são: (i) indústria minero-siderúrgica, (ii) veículos, (iii) ressuspensão de vias, (iv) operações de portos e aeroportos e (v) construção civil (sendo esse último ainda não inventariado) (IEMA, 2011).

Os dados do inventário de emissões (IEMA, 2011) indicam que entre 63,5% e 69,3% das emissões de partículas para a atmosfera da RMGV estão ligadas a ressuspensão, dependendo do tamanho das partículas (67,8% das emissões de PTS, 69,3% das emissões de MP₁₀ e 63,5% das emissões de MP_{2,5}). Emissões de escapamento e desgaste de pneus contribuem com percentuais entre 2,6% e 10% das emissões de partículas para a atmosfera da RMGV estão efetivamente ligadas a veículos, dependendo do tamanho das partículas (2,6% das emissões de PTS, 3,9% das emissões de MP₁₀ e 10% das emissões de MP_{2,5}). O segundo grupo mais importante para a emissão de partículas é o setor industrial minero-siderúrgico, que contribui com 23,6% das emissões de PTS, 19,6% das emissões de MP₁₀ e 18,3% das emissões de MP_{2,5}, segundo o inventário. Essas emissões estão concentradas principalmente na Ponta de Tubarão (Figura 2 (a)) o que constitui um problema relevante para algumas zonas da RMGV quando é considerada a direção predominante N-NE dos ventos.

A Figura 2 destaca a RMGV e as principais fontes pontuais e difusas presentes nos municípios de Serra, Cariacica, Vitória e Vila Velha (municípios de interesse do presente estudo) além das principais vias de tráfego de veículos e as manchas urbanas.

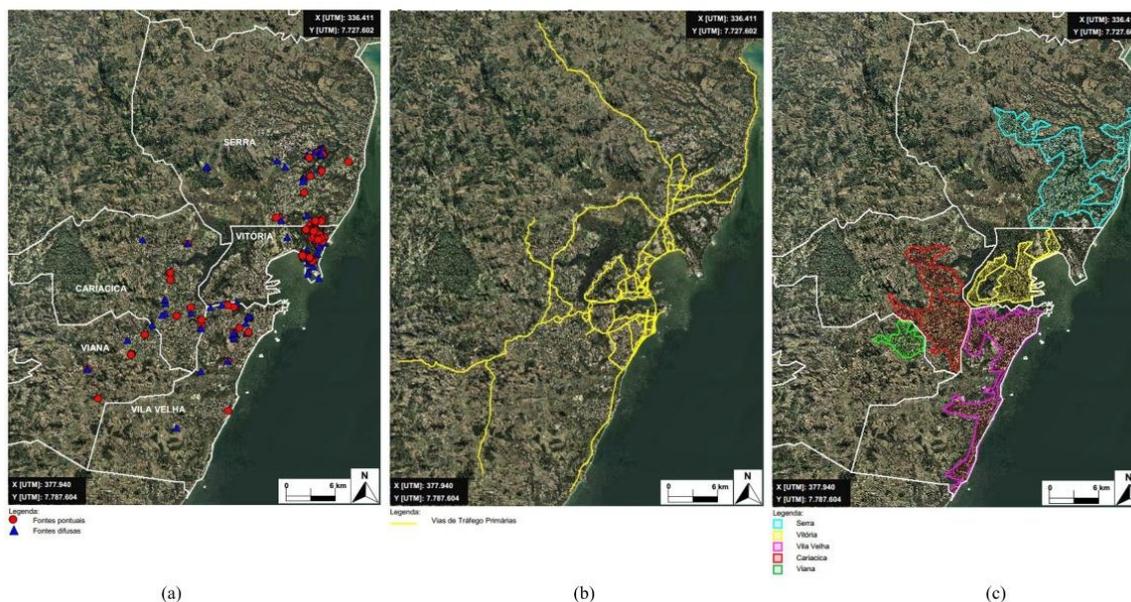


Figura 2. Região de estudo e suas principais fontes de poluição do ar: (a) fontes industriais; (b) vias de tráfego primárias e (c) manchas urbanas dos municípios (Fonte: IEMA, 2013).

Pesquisas de opinião realizadas em alguns municípios da RMGV, como por exemplo no estudo de Alves et al. (2006) e Souza (2011) mostram que a maioria dos indivíduos entrevistados estão incomodados com a presença de partículas sedimentadas (poeira). Mais recentemente, Conti (2013) mostrou que amostras de partículas sedimentadas coletadas em duas estações de monitoramento da qualidade do ar em Vitória apresentam seis elementos/compostos majoritários: (i) Fe, (ii) Si, (iii) Al, (iv) Ca, (v) NaCl, (vi) C e outros elementos minoritários, tais como: Ce, Pb, Hg, S, P, Ti). Para cada elemento/composto foi relacionado a uma fonte, como por exemplo: (i) Fe foi associado a fontes minério de ferro e pelotas; (ii) Si foi associado a minério de ferro, pelotas e suspensão em solos; (iii) Al foi relacionado a suspensão em solos; (iv) Ca foi relacionado a pelotas; (v) NaCl ligadas ao sal marinho; e (vi) C ligado a minério de ferro, coque ou carvão. Tais estudos, além de serem de grande relevância para a gestão ambiental local, servem de ponto de partida para reforçar a importância da investigação da problemática do incômodo e poluição do ar contemplada neste trabalho.

3.2. Monitoramento da taxa de deposição de partículas

De acordo com o Relatório da Qualidade do Ar da Grande Vitória (IEMA, 2013), o monitoramento da qualidade do ar e das variáveis meteorológicas é efetuado por dois conjuntos complementares de estações de monitoramento: (i) a rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr); e (ii) a rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas. Nesta subseção é definido os pontos e método de coleta de partículas sedimentadas na região de estudo.

A rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas, com sua configuração atual, iniciou seu funcionamento no mês de abril de 2009. Em dezembro de 2009, a rede foi ampliada por meio da criação dois pontos na Ilha do Boi (SENAC e Clube Ítalo Brasileiro) e um ponto adicional no Centro de Vitória na Banca Cultura, localizado na esquina da Av. Jerônimo Monteiro com a Rua Governador José Sette (este ponto adicional foi desativado em fevereiro de 2013, conforme solicitação do proprietário da Banca Cultura). A Tabela 2 apresenta os dados de localização das estações de partículas sedimentadas por localidade e município da RGV.

TABELA 2
DADOS DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE PARTÍCULAS
SEDIMENTADAS.

Nº	Estação (Sub-região)	Localidade/Bairro	Município
01	Laranjeiras	Hospital Dório Silva / Laranjeiras	Serra
02	Carapina	Arcelor Mittal Tubarão/ Carapina	Serra
03	Jardim Camburi	Unidade de Saúde / Jardim Camburi	Vitória
04	Enseada	Corpo de Bombeiros / Enseada do Suá	Vitória
05	Vitória-Centro	Ministério da Fazenda / Centro	Vitória
06	Ibes	4º Batalhão da Polícia Militar / Ibes	Vila Velha
07	Vila Velha-Centro	Av. Nossa Senhora da Penha / Centro	Vila Velha
08	Cariacica	CEASA / Coordenadoria da Defesa Agropecuária / Vila Capixaba	Cariacica
09	SENAC	Hotel SENAC Ilha do Boi / Ilha do Boi	Vitória
10	Clube Ítalo	Clube Ítalo Brasileiro do Espírito Santo / Ilha do Boi	Vitória

Fonte: Adaptado de IEMA, 2013.

Nas estações de monitoramento, foi realizada a verificação dos coletores na rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas com base nas recomendações da norma ASTM D1739-98 (*reapproved* 2004), quanto ao espaçamento entre estações e proximidade com estruturas e edificações e presença de árvores (foi realizada a poda das árvores próximas às estações). Por questões de segurança, cada ponto de monitoramento conta com 4 coletores, pois em caso de ocorrência de qualquer problema que resulte em descarte, perda ou rejeito de algum frasco coletor não impossibilite a verificação dos dados de quantificação da massa depositada. A taxa de deposição de partículas é monitorada por meio de recipientes coletores de partículas que se depositam por gravidade.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar selecionadas para amostragem de dados utilizados no presente estudo e as respectivas sub-regiões (círculos amarelos) de abrangência ao redor de 1,5 km de cada uma delas, além das principais vias de tráfego de veículos (vermelho) e as principais fontes industriais (círculos cinza).

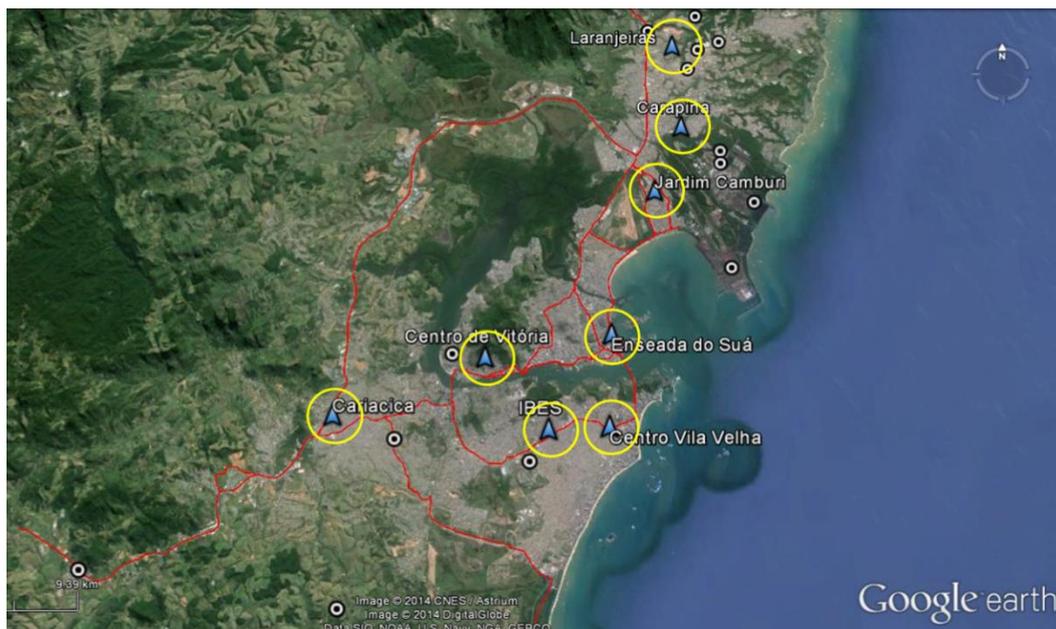


Figura 3. Distribuição espacial e áreas de abrangência das estações de monitoramento de partículas sedimentadas na região de estudo.

A norma ASTM D1739-98 estabelece procedimentos para a coleta e quantificação de partículas. Os procedimentos de coleta indicam a operação mensal dos coletores. O método ASTM D1739-98 permite a quantificação de partículas sedimentadas solúveis e não solúveis devido ao armazenamento da água de chuva durante o período de coleta. O método determina que o recipiente de coleta seja cilíndrico (de plástico resistente à intempérie ou aço inoxidável), com diâmetro não menor que 150 mm, e com a altura não menor que duas vezes o diâmetro. A sua capacidade volumétrica deve ser compatível com o índice pluviométrico da região. Os recipientes são alocados sobre um suporte a uma altura de 2 m acima da superfície de instalação. O suporte inclui uma barreira contra o vento, que consiste em um anteparo a fim de proteger o recipiente. É importante enfatizar que diferentes equipamentos de coleta podem produzir diferentes valores da taxa de deposição de partículas devido às suas características aerodinâmicas e posicionamento. A Figura 4 apresenta uma ilustração do recipiente preconizado pela ASTM D1739-98, incluindo o suporte e as dimensões estabelecidas.

Antes do uso, os recipientes são preparados e selados em laboratório para posterior alocação nas estações de monitoramento onde permanecem por um período aproximado de 30 dias (coletas mensais). Após esse período, os recipientes são fechados e levados para laboratório para determinação das massas dos componentes solúveis e insolúveis do material coletado. Os resultados são expressos em gramas por metro quadrado por 30 dias (g/m^2 30dias). O método tem a vantagem de ser extremamente simples, sendo útil para o estudo de tendências de longo prazo e para a obtenção de amostras de partículas sedimentadas para posterior análise química.

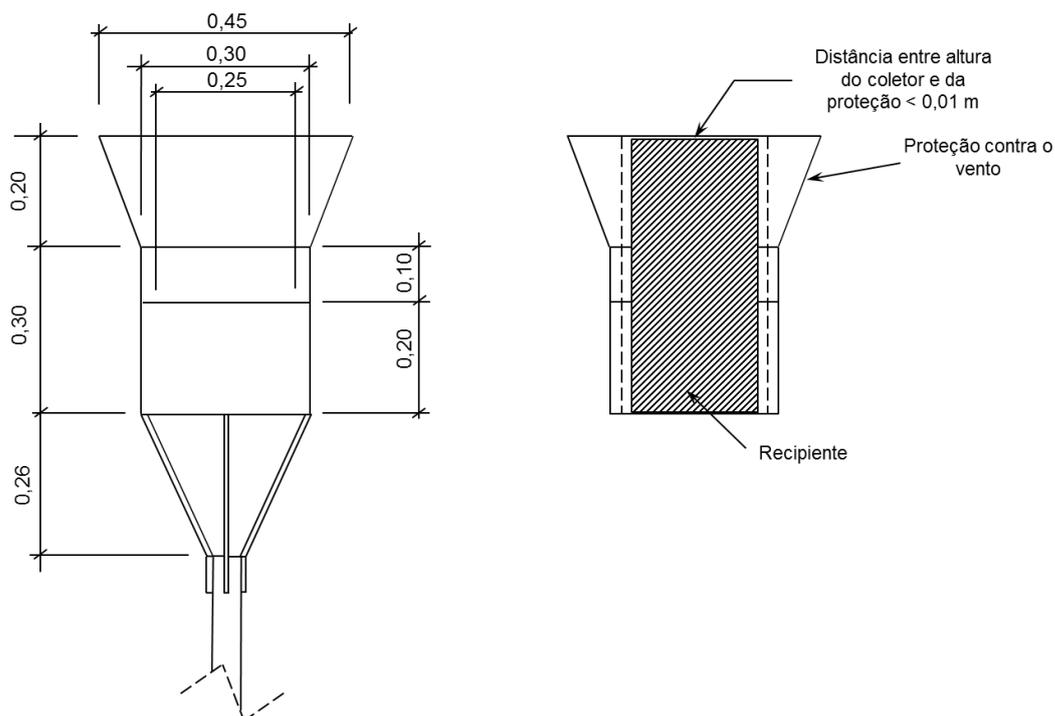


Figura 4. Esquema de recipiente cilíndrico, suporte, escudo de vento e dimensões do coletor de partículas projetado, segundo a norma ASTM D1739.

A escala de tempo para medição da taxa de deposição das partículas fornece valores mensais, os quais podem sofrer influência de fontes além de parâmetros meteorológicos (chuva, vento, humidade, etc). As fontes de material particulado podem apresentar características distintas, por exemplo, (i) sazonalidade da produção em dias de semana e fins de semana ou meses do ano de intensa demanda no mercado, ou épocas de crise no mercado quando a produção é reduzida ou (ii) tráfego de veículos mais intenso em certas horas do dia ou durante os dias da semana, quando comparados à noite e fins de semana, e também pode se diferenciar entre meses de férias e os demais. Assim, a integração de eventos relacionados à emissão de partículas no intervalo de 30 dias (mensal), tem relação direta com os dados de taxa de deposição monitorados nas estações. Porém, os picos diários ou horários da taxa de deposição de partículas também podem causar incômodo, desde que ocorram com determinada frequência (VALLACK e SHILLITO, 1998). A Figura 5 mostra as séries temporais da taxa de deposição de partículas medidas de 2009 a 2014 nas estações de monitoramento de partículas sedimentadas separadas por município: (a) Vitória, (b) Vila Velha, (c) Serra e (d) Cariacica. Pode-se notar que em quase todas as estações são encontrados valores superiores aos limites adotados pela maioria dos países que possuem padrões para partículas sedimentadas apresentados na Tabela 1 e em alguns

casos com a presença de valores que ultrapassam a primeira meta intermediária de $14 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias})$ estabelecida no Decreto Estadual Nº 3463-R de 17/12/2013.

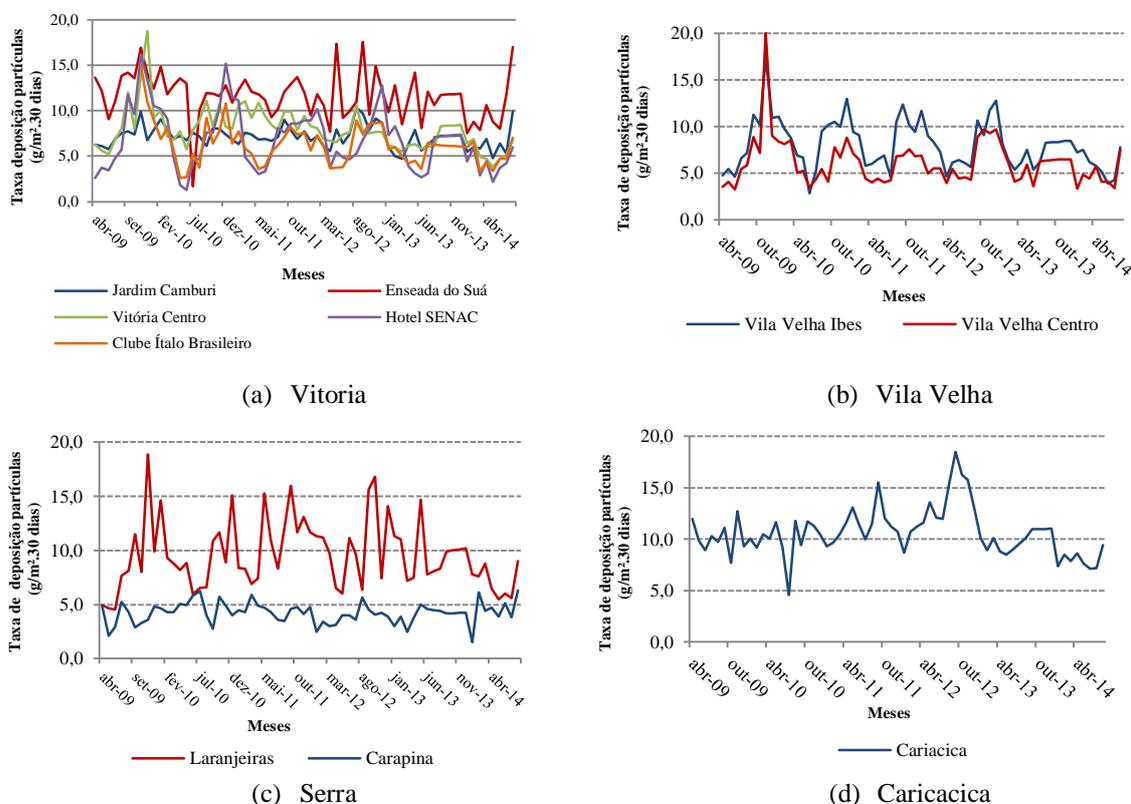


Figura 5. Séries temporais da taxa de deposição de partículas nas estações de monitoramento por município: (a) Vitória, (b) Vila Velha, (c) Serra e (d) Cariacica.

Ao analisar individualmente as séries temporais de cada estação da Figura 4 observa-se que nas estações do município de Vitória ocorrem valores superiores a $15 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias})$, principalmente na estação Enseada do Suá. As séries temporais das estações Vitória-Centro, Clube Ítalo e Hotel Senac apresentam comportamento e sazonalidade semelhantes, enquanto a série da estação Jardim Camburi apresenta certa estacionariedade, com valores entre $5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias})$ em quase todo o período de observações. As séries das duas estações em Vila Velha apresentam comportamento e sazonalidade semelhantes, sendo que na estação Ibes, observa-se a ocorrência de taxas superiores a $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias})$. As séries das duas estações do município de Serra fornecem resultados completamente diferentes, ou seja, a estação Laranjeiras apresenta variabilidade elevada e valores superiores a $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias})$ frequentes; já a estação Carapina exibe valores são inferiores a $5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias})$ na maior parte do tempo de observações, que são justificados pela localização da estação que está uma clareira no centro de uma mata. Assim, devido à localização, as medições feitas pela estação Carapina não retrata os valores reais da taxa de deposição de partículas cuja a população está exposta. Por esse motivo, decidiu-se por

excluir a referida sub-região das análises exposição versus resposta apresentadas no presente estudo.

A literatura recomenda uma quantidade mínima de 12 meses para o estabelecimento de uma base de dados suficiente para uma análise exposição-resposta ao incômodo causado fatores ambientais, como por exemplo, ruído, odor, entre outros (FIELD *et al.*, 2001; GROOTHUIS *et al.*, 2006; KLAEBOE *et al.*, 2008; CENTNER e COLSON, 2013) a fim de garantir a representatividade da variabilidade das emissões, sazonalidade e condições meteorológicas ao longo de 1 ano. Neste trabalho, são utilizados dados mensais válidos de taxa de deposição monitorados de agosto de 2011 e outubro de 2014.

3.3. Pesquisa de opinião (face a face) e painel (por telefone)

A coleta de dados junto à população de interesse é caracterizada como do tipo levantamento ou pesquisa de opinião (Barnett, 1991) e é realizada sob duas abordagens: face a face e por telefone. A pesquisa de opinião face a face, tem o objetivo de estabelecer o primeiro contato com o respondente e coletar informações sobre práticas ou opiniões atuais, dados pessoais e relatos da percepção, ocorrência e consequências da poluição do ar, entre outros. Na pesquisa por telefone (caracterizada como painel) o objetivo é avaliar, mensalmente, ao longo de um período de tempo superior a um ano, a opinião dos respondentes sobre a percepção do incômodo em cada mês.

Para garantir a representatividade espacial da amostra de respondentes, foi utilizado um método de análise de imagem, que consiste em combinar o uso do programa computacional ArcGIS e as informações geográficas e de população da região obtidas na página eletrônica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A distribuição espacial dos respondentes em cada sub-região de interesse foi realizada por meio de seleção aleatória (amostragem totalmente probabilística) nas sub-regiões de interesse (áreas de abrangência das estações de monitoramento), para verificar se há correlação entre a opinião dos participantes e a taxa de deposição de partículas monitorados em cada sub-região de interesse.

Durante a seleção dos participantes, os seguintes cuidados foram considerados: não entrevistar parentes, não selecionar vizinhos próximos ou pessoas da mesma família, mais de duas pessoas no mesmo edifício ou no mesmo condomínio, saltar ruas afastando-se circularmente de cada estação, selecionar pelo menos um respondente em cada região. Tais medidas foram importantes para garantir a distribuição espacial da amostra de respondentes em todos os bairros

contidos nas áreas de abrangência ao redor das estações, e para minimizar a probabilidade de falta de determinados grupos socioeconômicos.

Foram realizadas 5 pesquisas de opinião face a face, sendo que a primeira aconteceu em julho de 2011, a segunda em janeiro de 2012, a terceira em janeiro de 2013, a quarta em julho de 2013 e a quinta em novembro de 2013. Nessas pesquisas face a face, os respondentes foram inquiridos sobre a concordância na participação da pesquisa painel por telefone.

Ao término de cada pesquisa face a face os dados foram tabulados e validados por meio da seleção de 20% dos respondentes entrevistados, os quais foram contatados por telefone afim de confirmar a participação dos mesmos nas entrevistas realizadas. Vale ressaltar que não foi identificado qualquer tipo de inconsistência ou falsidade no que tange a participação dos respondentes e os questionários validados.

No mês seguinte à realização da pesquisa face a face iniciou-se a pesquisa painel (por telefone). O propósito da pesquisa por telefone é obter a opinião dos respondentes sobre a percepção mensal do incômodo causado pela presença de partículas sedimentadas. A pesquisa por telefone foi realizada com frequência mensal (sempre na última semana de cada mês) no período entre agosto de 2011 a outubro de 2014. A frequência mensal foi estabelecida para o incômodo uma vez a taxa de deposição de partículas é medida mensalmente.

Durante a execução da pesquisa por telefone, todos os entrevistadores foram orientados a retornar a ligação quando não conseguir o contato imediato com o respondente ou quando o respondente solicitar que retorne a ligação em outro momento. Vale ressaltar que, por tratar-se de uma pesquisa que depende da disponibilidade do respondente em responder as perguntas mensalmente e, em função da necessidade de manter um tempo mínimo de 12 meses de entrevistas mensais, para uma amostra representativa, o tamanho da amostra da pesquisa face a face foi superior ao tamanho mínimo calculado. Ainda assim, algumas dificuldades ocorreram, como por exemplo, não encontrar o respondente em casa mesmo após retornar várias vezes, o respondente mudar de telefone, ou mudar de endereço, ou trabalhar embarcado, e até mesmo a desistir de dar continuidade à pesquisa. E em casos em que a redução mensal de dados, pelos motivos acima citados, comprometeu a representatividade da amostra, tais meses foram excluídos das análises estatísticas.

As pesquisas face a face foram repetidas semestralmente a fim de avaliar os aspectos sazonais (inverno e verão) da percepção do incômodo, possibilitar o maior número de entrevistas e incluir novos participantes interessados em responder as entrevistas por telefone. Assim foi possível garantir a representação estatística do tamanho da amostra para a pesquisa por telefone durante todo o período de estudo.

Vale ressaltar que previamente à execução das entrevistas, todos os entrevistadores receberam treinamento específico sobre o conteúdo do questionário, as escalas de respostas, seleção da residência/ local de trabalho, como abordar o respondente, comportamento durante a entrevista e preenchimento e tabulação dos dados.

3.3.1. Instrumento de coleta de dados

O instrumento de coleta para ambas as pesquisas de opinião (face a face e por telefone) é o questionário padronizado, não disfarçado, aplicado sem a interferência do entrevistador (BARBETTA, 2008; MARCONI & LAKATOS, 1996). Dois questionários foram elaborados, sendo o primeiro destinado à entrevista face a face e o segundo para a pesquisa painel por telefone.

O questionário da pesquisa face a face foi elaborado e aplicado por pesquisadores da Universidade ULCO em Dunkerque (França) e, a partir do qual foram selecionadas questões de interesse e adaptado à realidade da RMGV. O questionário original é composto por perguntas gerais e específicas, abertas e fechadas, que de forma direta e indireta ajudam a interpretar e correlacionar a opinião e sentido das respostas dadas pelos respondentes e evitar possíveis tendências.

As perguntas selecionadas objetivaram obter o perfil dos respondentes (idade, sexo, renda, nível de escolaridade, número de filhos, estado civil, ocupação, ocorrência de problemas de saúde, histórico de tabagismo, facilidade de acesso a informações, frequência de uso de locais públicos para lazer, entre outros) além de informações de interesse ao tema, isto é, questões sobre a identificação dos problemas ambientais, percepção do risco da poluição do ar, níveis de incômodo percebido, avaliação da qualidade do ar, consequências da poluição na qualidade de vida e na saúde, identificação das fontes de poeira, opinião sobre as indústrias instaladas na região, informações sobre monitoramento da qualidade do ar e conhecimento sobre a existência e função do órgão ambiental, entre outras. O questionário da pesquisa face a face contemplou o total de cinquenta, dentre as quais a maioria de múltipla escolha, com opções de questões abertas a fim de permitir a expressão do respondente em detalhes.

Antes de dar início à primeira pesquisa face a face foi realizado um pré-teste junto à comunidade interna da UFES, a fim de avaliar o questionário, tempo de aplicação e tabulação dos dados. Nessa etapa foi possível melhorar a linguagem das perguntas e respostas e estimar o número de questionários a serem aplicados diariamente.

Após a cada pesquisa face a face, os dados foram avaliados e sempre que possível o questionário foi sendo aperfeiçoado e melhorado. As seguintes melhorias foram feitas no instrumento de

coleta de dados: mudança do título, adição de perguntas genéricas sobre problemas ambientais, troca da ordem de algumas perguntas, alteração da sequência de escalas de respostas e inclusão de perguntas sobre diferentes formas incômodo, e não somente poluição do ar. Tais alterações foram feitas com o propósito de facilitar a compreensão por parte do respondentes, evitar possíveis tendências nas respostas, melhorar a forma de abordagem do problema. Outros cuidados foram tomados a fim de evitar viés, por exemplo, a pesquisa não foi previamente divulgada, e as datas de início e término foram de conhecimento somente da equipe de pesquisadores e dos entrevistadores.

É importante ressaltar que a última pergunta do questionário face a face foi elaborada para obter a confirmação do respondente sobre seu interesse em dar continuidade à pesquisa por meio de entrevistas nos meses seguintes, ressaltando que o questionário seria menor que o primeiro e que sua aplicação seria rápida e realizada pelo telefone. Em todas as pesquisas face a face mais de 80% dos respondentes aceitaram continuar a participar das entrevistas por telefone (pesquisa painel) nos meses seguintes.

O questionário da pesquisa por telefone tem o objetivo de obter dados da opinião dos participantes num longo de um período de tempo (meses), mais especificamente a opinião sobre a percepção do incômodo causado pela presença de partículas sedimentadas (poeira). Por isso o questionário da pesquisa por telefone é bastante objetivo e reduzido quando comparado ao questionário da pesquisa face a face. O questionário aplicado por telefone contemplou apenas quatro perguntas (as duas primeiras perguntas sobre o incômodo percebido no mês que se passou, e as duas últimas sobre o incômodo percebido no dia da entrevista). As opções de respostas para quantificar o incômodo percebido considerou escalas categóricas (nada, pouco, moderadamente, muito e extremamente incomodado) e quantitativa (notas à intensidade do incômodo, de 0 a 10). As entrevistas por telefone foram feitas sempre na última semana de cada mês no período de agosto de 2011 a outubro de 2014.

Para aplicação no presente estudo, faz-se uso dos dados obtidos na pesquisa por telefone da pergunta que se refere à nota dada ao incômodo causado pela presença de poeira no mês, afim de verificar se a(s) opinião (ões) do(s) respondente(s) tem associação com os dados de taxa de deposição medidos por estação ou em cada sub-região.

3.3.2. Amostragem

Como dito anteriormente, foram selecionados aleatoriamente residentes ou trabalhadores contidos nas áreas de abrangência (aqui denominadas de sub-regiões) em torno das estações de monitoramento da qualidade do ar, pois o objetivo é correlacionar a resposta ao incômodo

percebido pelos respondentes com a taxa de deposição medida em cada estação de monitoramento. Para cálculo de uma amostra significativa da região fez uso dos dados do censo de 2010 obtidos por meio da seleção de regiões censitárias contidas dentro das áreas de abrangência de cada estação de monitoramento da qualidade do ar. A Figura 6 mostra as regiões censitárias selecionadas, ao redor das estações de monitoramento, que foram consideradas para cálculo do tamanho da amostra.

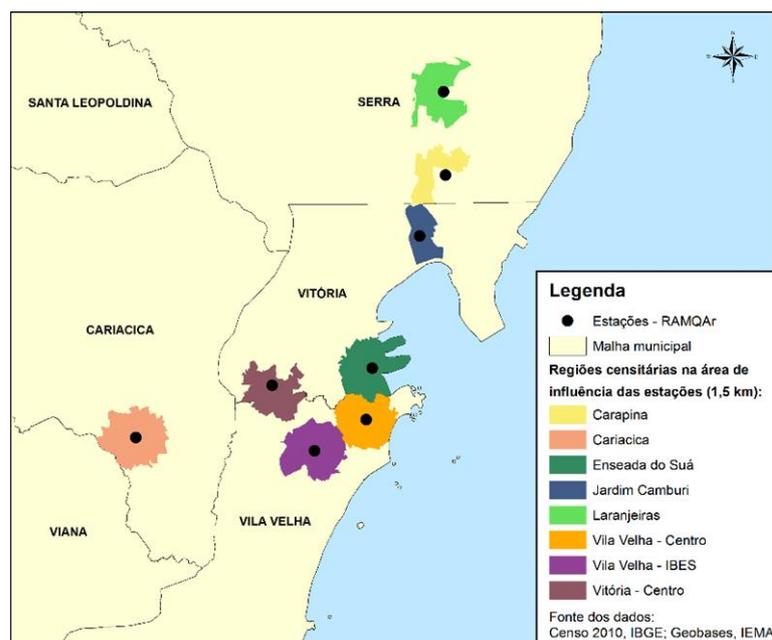


Figura 6. Regiões censitárias ao redor de cada estação de monitoramento da qualidade do ar.

O tamanho da população (N) foi calculado por meio da soma do número de habitantes de todas as regiões censitárias, dos dados do censo de 2010 (IBGE, 2010), contidas no raio de 1,5 km (para minimizar as intersecções) em torno de cada estação de monitoramento da qualidade do ar. As regiões censitárias selecionadas foram aquelas cuja maior parte da área estivesse compreendida dentro do raio de 1,5 km ao redor de cada estação de monitoramento. Vale ressaltar, que o número de residentes das regiões censitárias da Ilha do Boi e Ilha do Frade foram considerados no cálculo do tamanho da população da sub-região em torno da estação Enseada do Suá, uma vez que estavam compreendidas a maior parte da área no raio de 1,5 km da referida estação.

O tamanho da população (N) bem como as respectivas proporções de cada sub-região são apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3
NÚMERO DE RESIDENTES E PERCENTUAL EM TORNO DAS ESTAÇÕES DE
MONITORAMENTO (SUB-REGIÃO), CONFORME O CENSO DE 2010.

Estações (Sub-regiões)	N	(%)
Laranjeiras	25.039	7,71%
Carapina	18.591	5,73%
Jardim Camburi	46.878	14,44%
Praia do Suá	26.536	8,17%
Centro de Vitória	35.046	10,79%
Centro de Vila Velha	53.986	16,63%
Ibes	60.585	18,66%
Cariacica	58.018	17,87%
Total	324.679	100,00%

Para o cálculo do tamanho da amostra (n) mínimo representativo de cada sub-região adotou-se a técnica denominada amostragem aleatória simples com alocação proporcional (Barnett, 1991) e o resultado foi obtido utilizando as Equação 1 e Equação 2.

$$n \geq N \left[1 + \frac{(N-1) \left(\frac{d}{z_{\alpha}} \right)^2}{P(1-P)} \right]^{-1} \quad \text{Equação 1}$$

$$n_i = \frac{N_i}{N} \times n \quad \text{Equação 2}$$

Na Equação 1, N é o tamanho da população total e n é o tamanho mínimo da amostra. Como não se conhecia a variabilidade da população em relação à variável de interesse, considerou-se a maior variância possível, isto é $P=0,5$ a margem de erro tolerável $d=0,05$ e o nível de confiança igual a 95%. Na Equação 2, N_i é o tamanho da população na região i ; n_i é o tamanho da amostra na sub-região i . Para todas as cinco pesquisas face a face realizadas foi mantido o mesmo tamanho da amostra mínimo.

Para execução da pesquisa face a face encontrou-se que o tamanho da amostra (n) representativo da RGV distribuído proporcionalmente conforme as sub-regiões em torno das estações de monitoramento da qualidade do ar são de no mínimo 384 indivíduos em cada pesquisa de opinião face a face.

Ao todo, foram entrevistados dois mil seiscentos e trinta e oito respondentes considerando todas as cinco pesquisas face a face realizadas de 2011 a 2013. Como exemplo da dimensão e da representatividade da amostra de respondentes entrevistados no presente estudo, pode-se citar as últimas pesquisas eleitorais em que o IBOPE trabalhou com uma amostra mínima de 301 eleitores para um intervalo de confiança de 95% e margem de erro de seis pontos percentuais. Outro exemplo, refere-se às amostras nacionais das pesquisas de opinião eleitoral conduzidas

pelo Datafolha na última eleição, onde cerca de 2000 respondentes foram entrevistados em todo o território nacional (IBOP, 2015; DATAFOLHA, 2015)

Desde a execução da primeira pesquisa face a face foi constatado que cerca de 90% dos respondentes reportaram sentir-se pelo menos um pouco incomodados com a poluição do ar e apenas 10% relataram nada incomodados. A partir da primeira pesquisa face a face, foi possível afirmar como conhecidas as proporções da amostra no que se refere à variável de interesse (BARBETTA, 2008), isto é, o incômodo percebido.

Como já mencionado, o objetivo da pesquisa painel por telefone é obter dados da percepção do incômodo. Para cálculo do tamanho mínimo da amostra para pesquisa por telefone foi considerado as proporções de indivíduos incomodados, conhecidas por meio da pesquisa face a face, isto é, foi adotado $P=0,9$ (90% da população incomodada) e mantidos os mesmos nível de confiança e erro amostral tolerável da pesquisa face a face. O tamanho mínimo da amostra para a pesquisa painel (por telefone) foi calculado também usando as equações 1 e 2 para cada sub-região e os resultados são apresentado na Tabela 4.

TABELA 4
TAMANHO MÍNIMO DA AMOSTRA PARA A PESQUISA PAINEL (POR TELEFONE) POR SUB-REGIÃO.

Sub-regiões	<i>N</i>	(%)
Laranjeiras	11	7,71%
Carapina	8	5,73%
Jardim Camburi	20	14,44%
Enseada do Suá	11	8,17%
Vitória-Centro	15	10,79%
Vila Velha-Centro	23	16,63%
Ibes	26	18,66%
Cariacica	25	17,87%
Tamanho mínimo total da amostra	138	100,00%

3.4. Tratamento de dados

3.4.1. Regressão logística

Para estimar a relação entre a probabilidade do percentual de indivíduos incomodados quando exposto à taxa de deposição de partículas, foi utilizado o modelo de regressão logística binomial. Mais detalhes sobre regressão logística podem ser encontrados em Agresti (1990), Hosmer, Lemeshow e Sturdivant (2000) e Abraham e Ledolter (2006). O modelo de regressão logística está representado na Equação 3, em que a variável independente (x) é a taxa de deposição de partículas medida mensalmente nas estações da rede manual de partículas sedimentadas da RGV, entre agosto de 2011 e outubro de 2014 e, a variável dependente é o incômodo (z) mensurado por meio das notas obtidas na pesquisa mensal por telefone.

$$\hat{P}(z = 1) = \frac{e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x}}{1 + e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x}} \quad \text{Equação 3}$$

Na Equação 3, \hat{P} é a probabilidade de indivíduos incomodados e $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ são os parâmetros estimados a partir do ajuste da regressão logística, utilizando os dados medidos da taxa de deposição e as notas atribuídas ao incômodo percebido.

Foram calculadas as médias e as medianas das notas atribuídas ao incômodo pelos respondentes para cada sub-região, em cada mês, a fim de obter um único valor que representasse o incômodo da sub-região, para associá-lo a taxa de deposição de partículas medida no mesmo mês, na mesma sub-região.

As notas ao incômodo variam de 0 a 10, foram obtidas por meio da seguinte pergunta: “E qual a nota que o sr. (a) dá a esse incômodo percebido, nesse último mês, em uma escala de 0 a 10 onde 10 é o máximo de incômodo?” cujas opções de resposta foram medidas conforme a escala apresentada na Figura 1(b). Ao comparar as respostas das notas (Pergunta 2) com as respostas subjetivas (Pergunta 1) observou-se que as notas iguais ou superiores a 7 foram consideradas pela maioria dos respondentes correspondentes aos níveis “muito” e “extremamente” incomodados na escala categórica (subjetiva) e as notas inferiores a 7 estão relacionadas aos níveis “pouco” e moderadamente” incomodados. Como base no estudo de Vallack e Shillito (1998) os resultados indicam que o indivíduo que relata notas iguais e superiores a 7 (muito e extremamente incomodados) corresponde ao grupo com grande possibilidade de fazer reclamações sobre o incômodo causado pela presença de poeira.

Para aplicação no modelo de regressão logística, decidiu-se por usar os dados obtidos somente na Pergunta nº 2 do questionário aplicado por telefone. Para tal, médias e medianas das notas foram dicotomizadas como $z = 1$ para notas superiores ou iguais a 7 e $z = 0$ para as notas inferiores a 7. Ambos os parâmetros estatísticos foram testados a fim de obter o melhor ajuste do modelo.

3.4.1. 90° e 95° Percentis

Na ausência de dados de pesquisa de opinião sobre o incômodo percebido pela população devido às partículas sedimentadas, Vallack e Shillito (1998) sugerem o uso dos 90° e 95° percentis da taxa de deposição das partículas para indicar, respectivamente, como provável e muito provável haver reclamações sobre incômodo. De acordo com Vallack e Shillito (1998), os valores acima do 90° percentil são considerados elevados e podem originar eventuais reclamações por parte da população, enquanto os valores acima do 95° percentil certamente

originam reclamações devido ao incômodo causado pela presença de partículas sedimentadas. Os autores justificam o uso do 90º percentil (isto é, um limite excedido uma vez em cada dez resultados) como valor de referência, a fim de representar o nível acima do qual a taxa de deposição de partículas é considerada bastante elevada, dando a possibilidade de haver reclamações por parte da população, e o valor do 95º percentil (um limite excedido uma vez em cada vinte resultados) como limite de referência acima do qual as reclamações são muito mais prováveis de ocorrer.

É importante ressaltar que a metodologia proposta por Vallack e Shillito (1998) baseia-se na estimativa de um valor limite da taxa de deposição fundamentado na premissa de que taxas de deposição atípicas para região, não seriam aceitáveis pela população. Nesse caso, taxas de deposição superiores a 90% das taxas encontradas durante o ano, seriam consideradas atípicas e com probabilidade de causar incômodo. A metodologia de Vallack e Shillito (1998) não considera o nível de incômodo reportado pela população, mas pode ser considerada uma ferramenta útil para regiões onde não foi realizada uma pesquisa de opinião sobre o incômodo causado pelas partículas sedimentadas.

4. Resultados

4.1. Percepção do incômodo relatado pelos respondentes da pesquisa face a face

A Tabela 5 apresenta as características sociodemográficas dos participantes das cinco pesquisas de opinião face a face e sua distribuição por sub-regiões em torno das estações de monitoramento da qualidade do ar. Ao todo 2638 respondentes, selecionados aleatoriamente, com idade superior a 16 anos, responderam os questionários aplicados nas entrevistas face a face, dos quais cerca de 60% do gênero feminino e 40% masculino. Contata-se que, embora a seleção dos entrevistados tenha sido aleatória, o perfil dos participantes é bem distribuído quanto ao gênero com percentual levemente superior de respondentes do gênero feminino, característica comum conforme o censo de 2010. Pode-se notar, que entre 81% (Enseada do Suá) e 93% (Carapina) dos respondentes estão na faixa etária de 16 e 54 anos e que entre 69% (Jardim Camburi) e 91% (Carapina) dos respondentes possuem ensino fundamental ou médio completo, e que o percentual de respondentes com curso fundamental incompleto é bastante reduzido em todas as regiões. A maior parte dos respondentes, entre 64% (Ibes) e 73% (Jardim Camburi) são não-fumantes. A maioria dos participantes possuem pelo menos um filho que habitam a mesma residência.

A Figura 7 apresenta o resultado dos níveis de incômodo relatados pelos respondentes das cinco pesquisas face a face estratificados por sub-região. De modo geral, em todas as sub-regiões,

cerca de 10% dos respondentes reportaram não sentir incômodo, próximo de 10% relataram pouco incomodados, menos de 20% moderadamente incomodados, em torno de 50% a 60% relataram os níveis mais altos de incômodo (muito e extremamente).

TABELA 5
CARACTERÍSTICAS DOS PARTICIPANTES DAS PESQUISAS FACE A FACE DISTRIBUÍDOS POR SUB-REGIÕES.

	Laranjeiras n= 269	Carapina n=297	Jardim Camburi n=284	Enseada do Suá n=301	Vitória Centro n=281	Ibes n=360	Vila Velha- centro n=420	Cariacica n=426
Gênero								
Masculino	42%	46%	48%	44%	36%	37%	46%	35%
Feminino	58%	54%	52%	56%	64%	63%	54%	65%
Faixa etária								
16-34	43%	54%	56%	41%	46%	43%	40%	47%
35-54	41%	38%	34%	40%	37%	38%	44%	40%
54 +	16%	7%	11%	19%	16%	19%	16%	13%
Nível educacional								
Fundamental incompleto	1%	1%	1%	0%	1%	2%	1%	1%
Fundamental	49%	52%	27%	25%	41%	33%	48%	43%
Médio	36%	39%	42%	49%	41%	51%	32%	46%
Superior	13%	8%	30%	26%	17%	15%	19%	10%
Tabagismo								
Fumante	11%	13%	11%	10%	12%	13%	14%	10%
Não fumante	72%	70%	73%	70%	70%	64%	67%	73%
Ex-fumante	16%	16%	15%	20%	17%	23%	18%	17%
Prole								
Nenhum filho	19%	32%	27%	24%	26%	26%	20%	32%
Um filho	23%	32%	24%	31%	33%	29%	25%	26%
Dois filhos	33%	19%	34%	28%	28%	25%	33%	24%
Três ou mais filhos	25%	16%	14%	17%	12%	21%	22%	18%

Pode se observar que as sub-regiões com maior percentual de respondentes extremamente incomodados são residentes nas sub-regiões Enseada do Suá (pouco mais de 30%) e Jardim Camburi (30%). Nessas mesmas sub-regiões nota-se também os menores percentuais (menos de 10%) de respondentes que relataram sentir-se “nada incomodados”. Nas sub-regiões de Laranjeiras (13%), Carapina (13%) e Cariacica (%) observa-se os menores percentuais de respondentes extremamente incomodados. Tais resultados podem ser explicados por exemplo, pelo perfil dos respondentes, que são diferentes entre as sub-regiões estudadas. Por exemplo, em Jardim Camburi e Enseada do Suá observam-se os maiores percentuais de respondentes com nível médio e superior completos, enquanto em Laranjeiras, Carapina e Cariacica são observados os menores percentuais de respondentes com nível superior. Embora expostos aos mesmos níveis de taxa de deposição a percepção do incômodo relatada pelos respondentes se

difere em termos percentuais, o que é explicado pelas diferenças no perfil dos respondentes, por exemplo, faixa etária, nível de escolaridade, histórico de tabagismo, entre outros fatores anteriormente constatados nos estudos de Rotko *et al.*(2002) e Jacquemim *et al.* (2007) por exemplo.

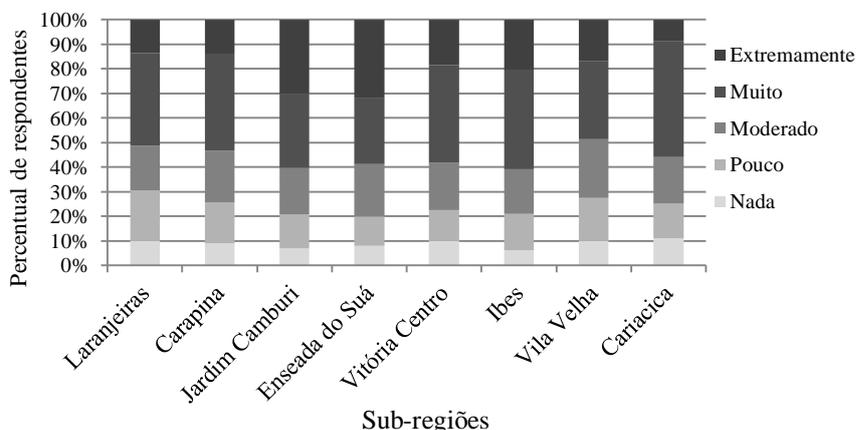


Figura 7. Níveis de incômodo devido a poluição do ar relatados pelos participantes das pesquisas face a face por sub-regiões (n=2638).

A Figura 8 expõe os resultados das perguntas que investigaram sobre a forma de poluição do ar mais frequentemente percebida. É possível constatar que a poeira é a forma de poluição do ar mais frequentemente percebida pelos respondentes, isto é, aproximadamente 80% dos respondentes afirmaram que sempre e frequentemente percebem a poluição do ar pela presença de poeira sedimentada. Na sequência foram citados o odor com cerca de 40%, a opacidade do ar (30%) e os danos na vegetação (30%). Estes resultados revelam que o incômodo causado pela poluição do ar está relacionado principalmente com a presença de poeira (partículas sedimentadas).

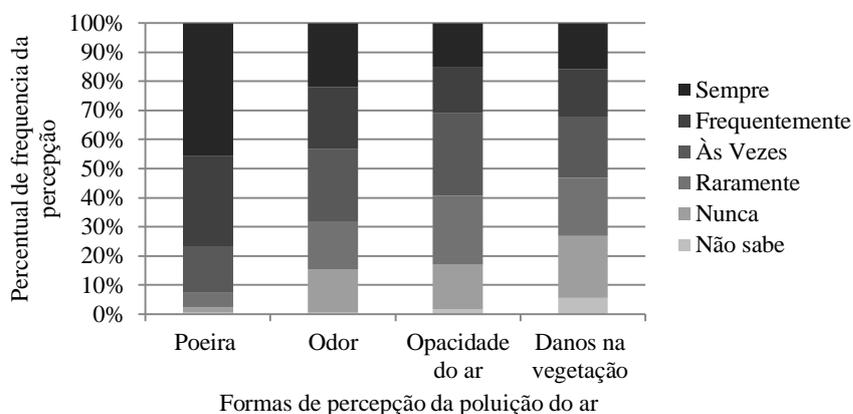
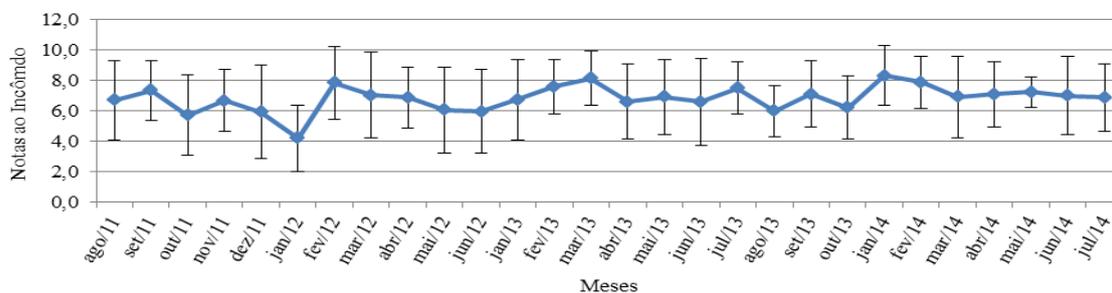


Figura 8. Formas de poluição do ar mais frequentemente percebidas pelos respondentes das pesquisas face a face em todas as sub-regiões (n=2638).

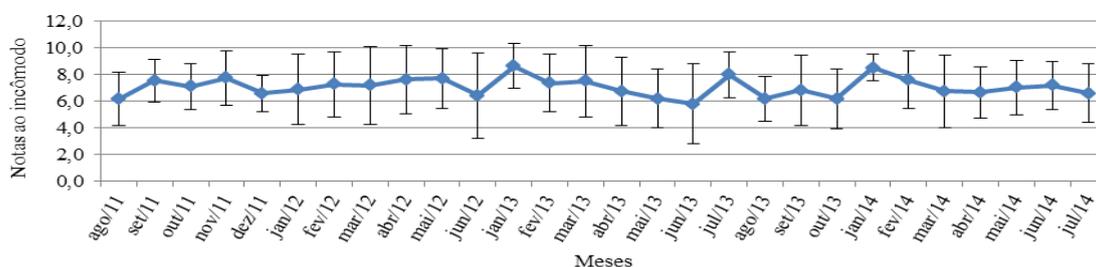
4.2. Percepção do incômodo relatado na pesquisa painel (por telefone)

Como já mencionado, o objetivo da pesquisa painel realizada por telefone é quantificar a percepção do incômodo mensal para correlacionar com a taxa mensal de deposição de partículas medidas em cada estação de monitoramento da qualidade do ar.

A Figura 9 (a - g) apresentam as médias mensais das notas atribuídas à percepção do incômodo relatado pelos respondentes em cada sub-região e as incertezas associadas às notas, no período entre agosto de 2011 e julho de 2014. Observa-se variabilidade temporal dos valores médios em todas as sub-regiões. Por exemplo, na sub-região de em torno da estação Laranjeiras observa-se que a menor média das notas dadas ao incômodo foi em torno de 4 e a maior média superior a 8; na sub-região ao redor da estação Jardim Camburi, a menor média das notas foi cerca de 5,8 e a maior 8,6; na sub-região em torno da estação Enseada do Suá, a menor média observada foi de 5,5 e a maior de 8,8; na sub-região nas redondezas da estação Vitória-Centro, a menor média das notas foi 5,2 e a maior 8,5; na sub-região ao redor da estação Vila Velha-Centro a menor média foi 4,8 e a maior 8,5; na sub-região em torno da estação Ibes, a menor média das notas foi em torno de 5 e a maior 8,5; e na sub-região em torno da estação Cariacica, a menor média das notas dadas ao incômodo foi próxima a 4 e a maior em torno de 8.

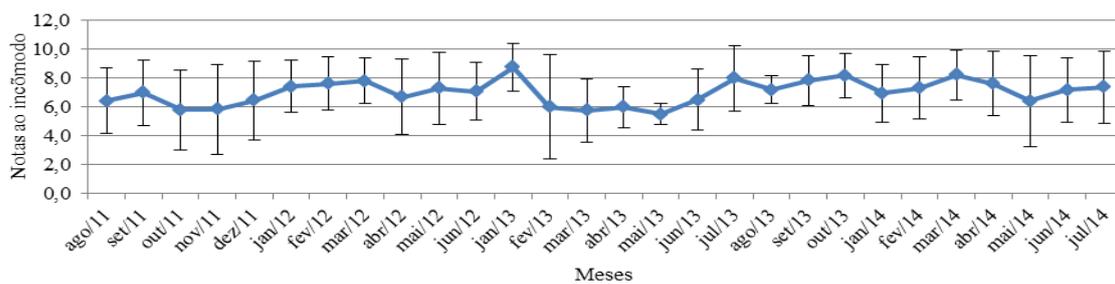


(a) Laranjeiras

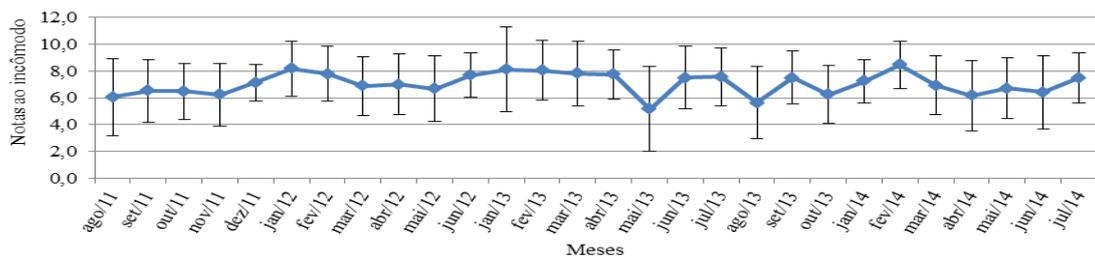


(b) Jardim Camburi

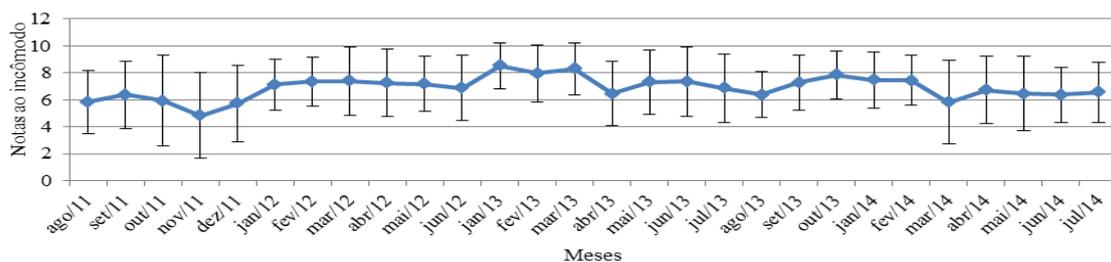
Figura 9. Média das notas relatadas mensalmente separadas por sub regiões: (a) Laranjeiras, (b) Jardim Camburi, (c) Enseada do Sua, (d) Vitória-Centro, (e) Vila Velha-Centro, (f) Ibes e (g) Cariacica



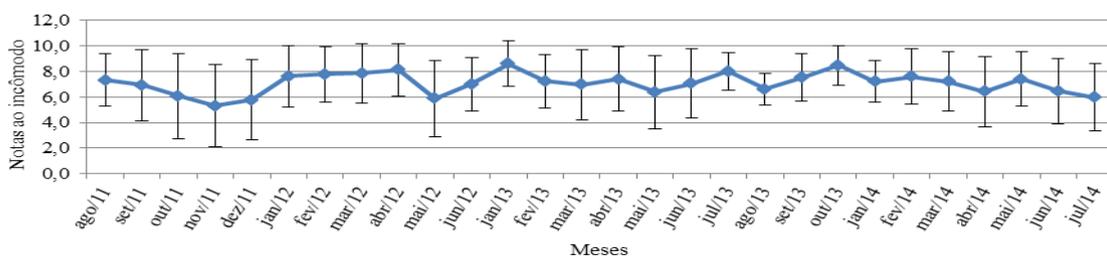
(c) Enseada do Suá



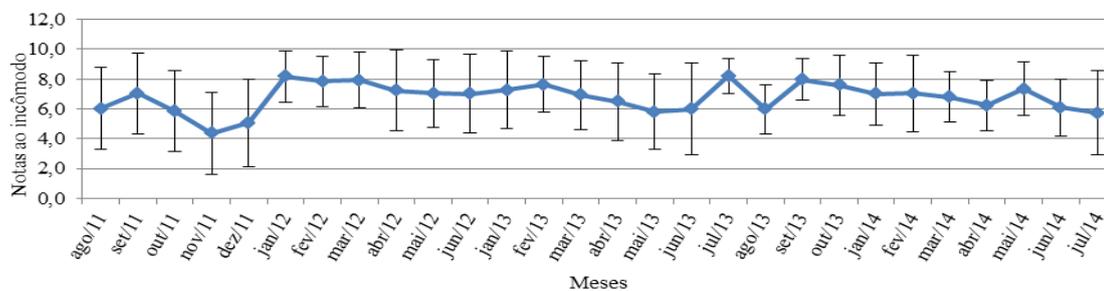
(d) Vitória-Centro



(e) Vila Velha-Centro



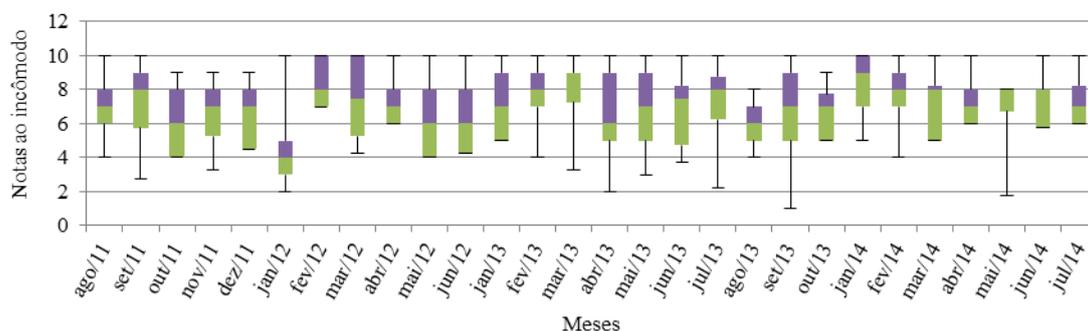
(e) Ibes



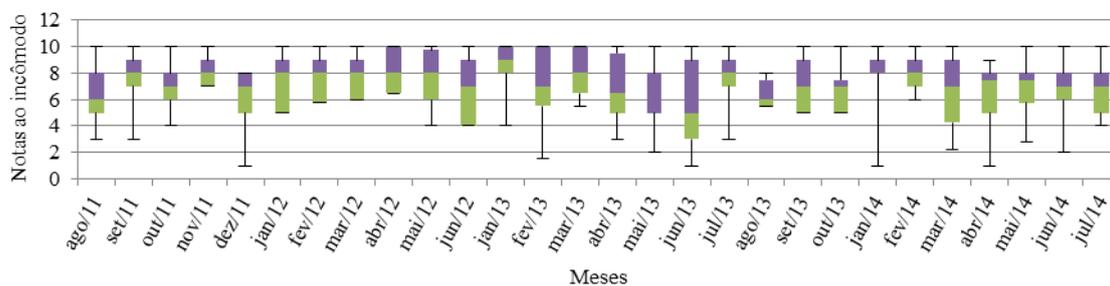
(g) Cariacica

Figura 9. (Continuação)

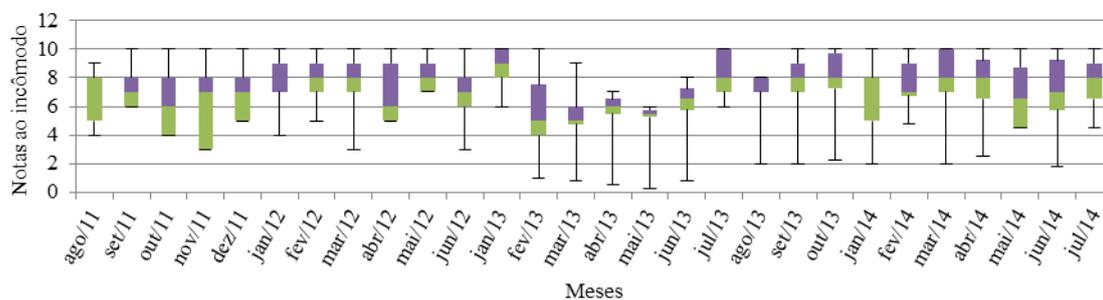
A Figura 10 apresenta os *box-plot* da variação das notas de incômodo relatadas mensalmente pelos respondentes por sub-região. Pode se observar a variabilidade das medianas mensais das notas dadas em todas as regiões. Ou seja, em Laranjeiras, a menor mediana das notas ao incômodo foi igual a 4 e a maior igual a 9; em Jardim Camburi, a menor mediana observada foi 5 e a maior igual a 9; na Enseada do Suá, a menor mediana foi 5 e a maior 9; em Vitória-Centro, a menor mediana foi igual a 5,5 e a maior foi 10; em Vila Velha-Centro, a menor mediana observada foi 5 e a maior 9; no Ibes, a menor mediana observada para as notas do incômodo foi 5,5 e a maior 9,5; em Cariacica, a menor mediana foi 4,5 e a maior 9.



(a) Laranjeiras

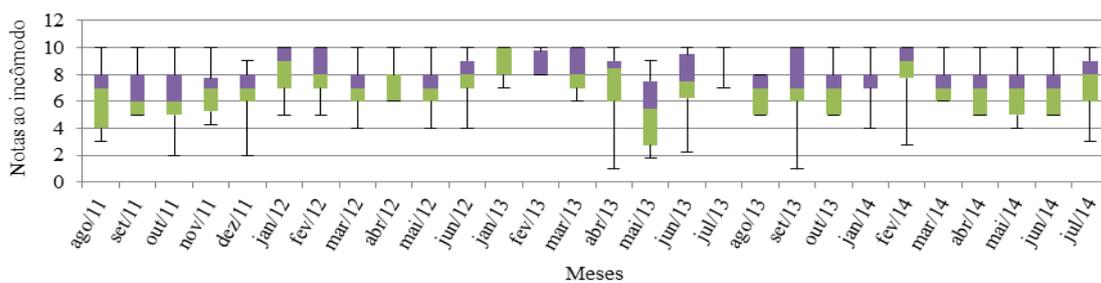


(b) Jardim Camburi

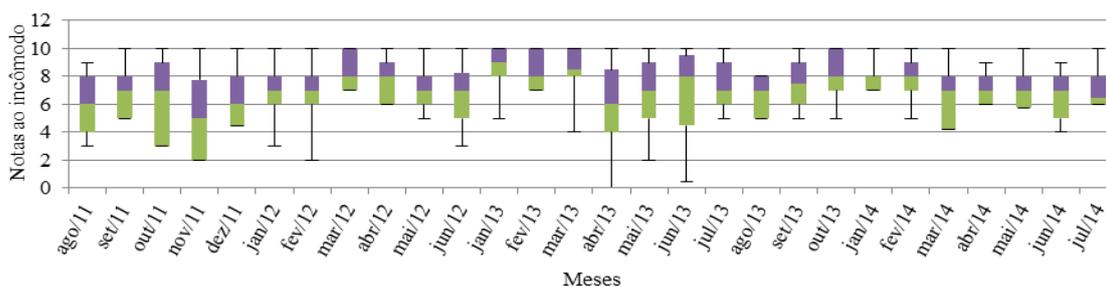


(c) Enseada do Suá

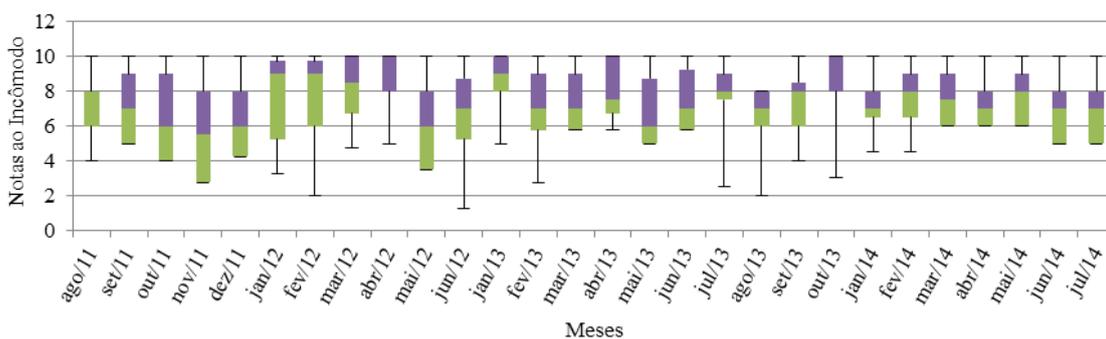
Figura 10. Box-plot da variação de notas relatadas mensalmente por sub regiões: (a) laranjeiras, (b) jardim camburi, (c) enseada do sua, (d) vitória-centro, (e) vila velha-centro, (f) ibes e (g) cariacica



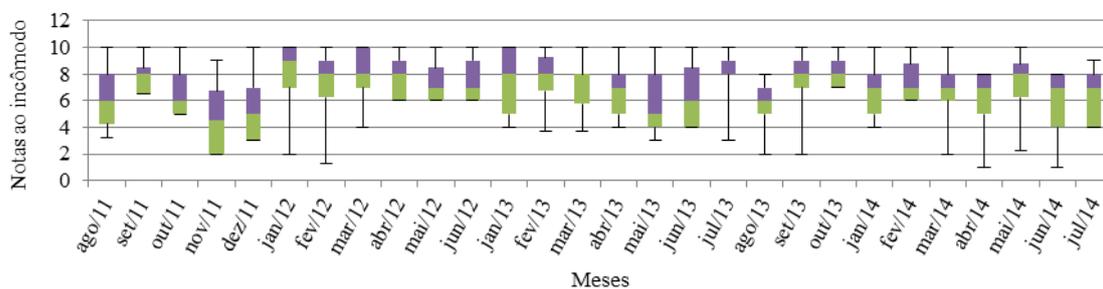
(d) Vitória-Centro



(e) Vila Velha-Centro



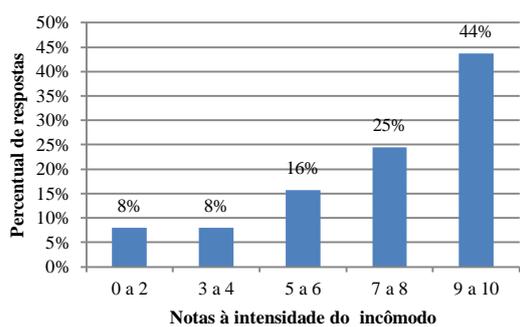
(f) Ibes



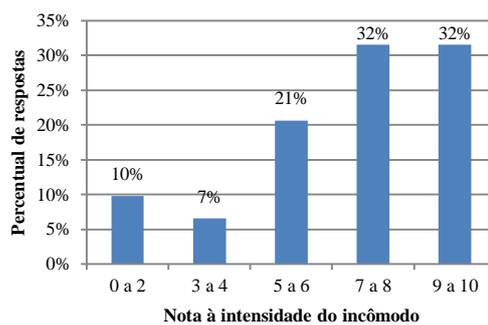
(g) Cariacica

Figura 10. (Continuação)

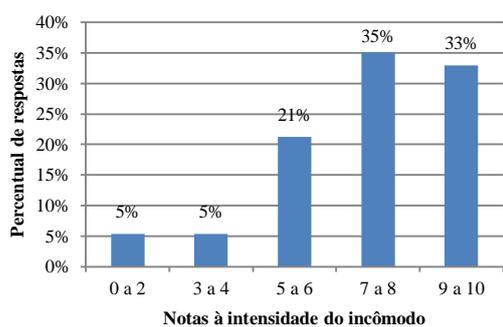
A Figura 11 (a-h) apresenta os histogramas do percentual das notas dadas mensalmente (na pesquisa painel por telefone) ao incômodo causado pela presença de partículas sedimentadas, por sub-região de estudo.



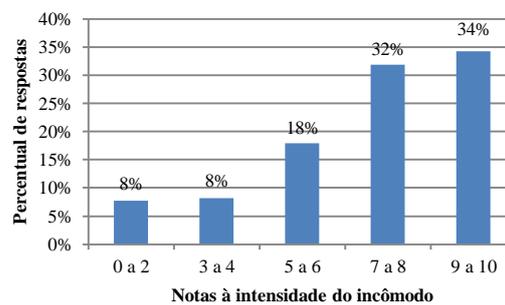
(a) Laranjeiras



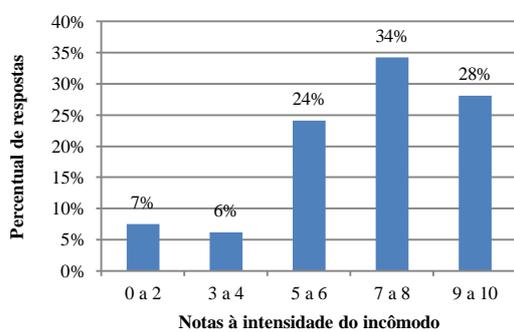
(b) Carapina



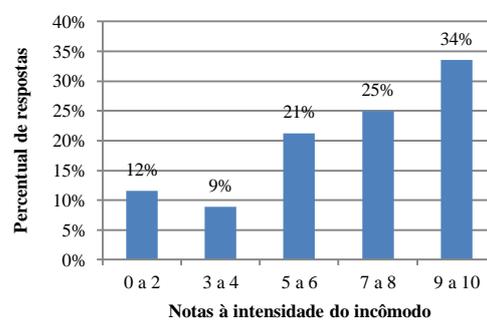
(c) Jardim Camburi



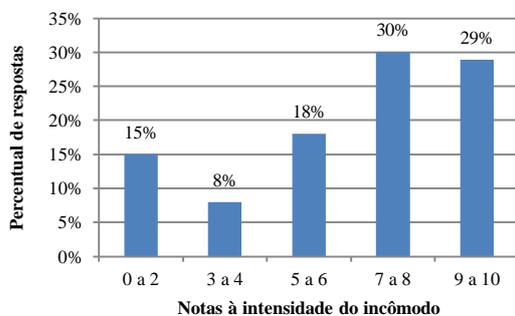
(d) Enseada do Suá



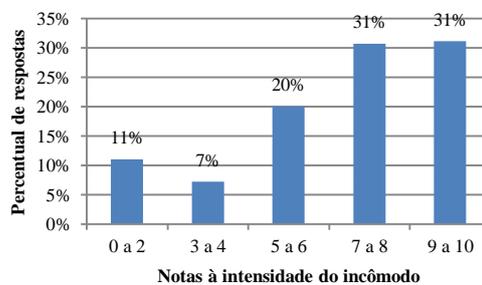
(e) Vitória-Centro



(f) Ibes



(g) Vila Velha-Centro



(h) Cariacica

Figura 11. Histogramas da distribuição de notas à intensidade do incômodo por sub-região.

Em todos os casos, mais de 50% das notas atribuídas ao incômodo refere-se às notas das classes 7 a 8 e 9 a 10, resultado que confirma que a maioria dos respondentes reporta mensalmente elevados níveis de incômodo de incômodo causado pelas partículas sedimentadas.

4.3. Análise da taxa de deposição de partículas

A Tabela 6 apresenta a estatística descritiva dos dados mensais da taxa de deposição de partículas para cada sub-região, no período entre 2009 a 2014. O valor mínimo da taxa de deposição de partículas varia de 1,7 g/(m² 30 dias) na Enseada do Suá a 4,7 g/(m² 30 dias) em Jardim Camburi. As taxas máximas variam de 10,3 g/(m² 30 dias) em Jardim Camburi a 20 g/(m² 30 dias) em Vila Velha-Centro. As médias das taxas estão entre 6,1 em Vila Velha-Centro e 11,6 em Enseada do Suá e a mediana entre 5,7 em Vila Velha-Centro e 11,8 em Enseada do Suá. E, o percentil 90% foi superior a 5 g/(m² 30 dias) em todas as sub-regiões, sendo que especificamente, o percentil 90 varia de 8,8 g/(m² 30 dias) em Jardim Camburi a 14,7 g/(m² 30 dias) em Laranjeiras. Os valores dos 95º percentis estão entre 9,2 g/(m² 30 dias) em Vila Velha-Centro e 16,4 g/(m² 30 dias) na Enseada do Suá.

TABELA 6
ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS DADOS HISTÓRICOS DA TAXA DE DEPOSIÇÃO DE
PARTÍCULAS (g/(m² 30 dias)) MEDIDAS NAS SUB-REGIÕES DA RMGV ENTRE 2009 E 2014.

Sub-região	Min	Máx	Média	Mediana	90º percentil	95º percentil	Razão 90º percentil/ mediana	Razão 95º percentil/ mediana
Laranjeiras	4,5	18,9	9,6	8,8	14,7	15,5	1,7	1,8
J. Camburi	4,7	10,3	7,1	7,1	8,8	9,6	1,2	1,3
Enseada Suá	1,7	17,5	11,6	11,8	14,2	16,4	1,2	1,4
Vitória-centro	3,8	18,8	7,9	7,7	10,7	11,1	1,4	1,4
Ibes	2,8	17,5	8,0	7,5	11,2	12,2	1,5	1,6
Vila Velha-Centro	3,2	20,0	6,1	5,7	8,9	9,2	1,6	1,6
Cariacica	4,6	18,5	10,6	10,4	13,1	15,5	1,3	1,5
						Média:	1,4	1,5

Ao comparar as médias da taxa de deposição de partículas (Tabela 6) com a percepção do incômodo em cada sub-região (Figura 7), observa-se a maior média da taxa de deposição de partículas é observada na estação Enseada do Suá, que corrobora com o maior percentual de respondentes que reportaram o nível extremamente incomodado. Tabela 6 apresenta também o resultado da razão entre os percentis 90% e 95% e a mediana de cada sub-região de interesse e a média das razões entre as sub-regiões de interesse (1,4 e 1,5) na última linha (razão proposta no estudo de Vallack e Shillito, 1998). Como exemplo da interpretação prática dos valores da referida razão encontrados para a RGV, quando a razão for superior a 1,4 há probabilidade de

quase certeza de ocorrência de reclamações por parte da população e quando a razão for superior a 1,5 a probabilidade de reclamações são muito mais prováveis de ocorrer.

Como ilustração da aplicação da metodologia proposta por Vallack e Shillito (1998), que não considera a percepção de incômodo reportada pela população, uma análise por município com base no valor do percentil 90%, o valor limite aceitável na Serra seria 15 g/(m² 30 dias), em Vitória 9 g/(m² 30 dias), em Vila Velha 9 g/(m² 30 dias) e em Cariacica 13 g/(m² 30 dias). O que significa que quando a taxa de deposição de partículas for superior que tais valores limites há probabilidade de ocorrência de reclamações. Finalmente, considerando o valor do percentil 90% calculados para todas as sub-regiões, o valor limite mais restritivo seria 9 g/(m² 30 dias). Dessa forma, nos meses em que valores inferiores a 9 g/(m² 30 dias) forem registrados é improvável que haja reclamações na região sobre incômodo causado por partículas sedimentadas, mas quando a taxa de deposição for superior a 9 g/(m² 30 dias) há probabilidade de haver manifestações de incômodo.

4.4. Incômodo *versus* taxa de deposição de partículas

A Tabela 7 apresenta os parâmetros estimados ($\widehat{\beta}_0$ e $\widehat{\beta}_1$) do modelo de regressão logística, no qual a variável independente é a taxa de deposição de partículas e a variável dependente as médias das notas atribuídas ao incômodo (dicotomizadas) para cada sub-região de estudo. Vale ressaltar que os dados da região Carapina foram excluídos por considerar-se que os dados referentes às partículas sedimentadas monitoradas nessa estação não refletem a realidade da região em sua área de abrangência devido às características do local de instalação da estação.

TABELA 7
PARÂMETROS ESTIMADOS DO MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA E PROBABILIDADES DE INCÔMODO CONFORME A TAXA DE DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS

Sub-região	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	Exp($\widehat{\beta}_1$)	P (x= 5)	P(x=10)	P(x=14)
Laranjeiras	-4,57	0,50	1,6	11%	61%	92%
Jardim Camburi	-9,19	1,35	3,9	8%	99%	100%
Enseada do Suá	-4,18	0,46	1,6	13%	61%	91%
Vitória-Centro	-4,39	0,68	2,0	28%	92%	99%
Ibes	-4,93	0,74	2,1	23%	93%	100%
Vila Velha-Centro	-6,52	0,99	2,7	17%	97%	100%
Cariacica	-4,48	0,51	1,7	13%	65%	93%

Ainda na Tabela 7, apresenta-se as razões de chances ou (Exp($\widehat{\beta}_1$)) e as probabilidades de indivíduos incomodados quando expostos à taxa de deposição de partículas igual a 5, 10 e 14 g/(m² 30 dias). As razões de chance de incômodo variam de 1,6 em Laranjeiras e Enseada a 3,9 em Jardim Camburi. Isto significa que, por exemplo, na sub-região em torno da estação Laranjeiras os residentes têm 1,6 vezes mais chance de relatarem sentir-se altamente

incomodados, enquanto na sub-região em torno da estação Jardim Camburi, os residentes têm 3,9 vezes mais chances de relatarem altos níveis de incômodo, quando expostos ao aumento de 1 g/(m² 30 dias) de PS. Para a taxa de deposição de partículas igual a 5 g/(m²30 dias) ($x=5$), a probabilidade dos indivíduos manifestarem elevados níveis de incômodo varia de 8% na sub-região em torno de Jardim Camburi a 28% em Vitória-Centro. Para a taxa de deposição igual a 10 g/(m² 30 dias) ($x=10$), a probabilidade de indivíduos incomodados é superior a 60% em todas as sub-regiões. E, finalmente, para a taxa de deposição igual a 14 g/(m² 30dias) (meta intermediária estabelecida no Decreto Estadual N° 3463-R de 17/12/2013) ($x=14$), a probabilidade de indivíduos incomodados é superior a 90% em todas as sub-regiões, chegando a 100% de indivíduos incomodados nas sub-regiões em torno das estações Jardim Camburi, Ibes e Vila Velha-Centro.

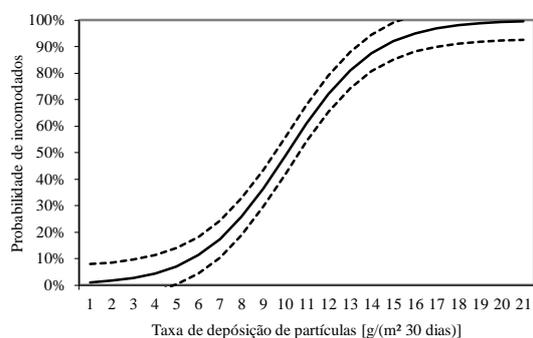
Ao considerar todo o conjunto de dados obtidos na RGV (dados de todas as sub-regiões em conjunto) no modelo de regressão logística, obtém-se os parâmetros estimados que são apresentados na Tabela 8. Onde a razão de chances ou *odds ratios* ($\text{Exp}(\widehat{\beta}_1)$) igual a 1,5 indica que os residentes da RGV têm 1,5 vezes mais chance de relatar elevados níveis de incômodo quando expostos à cada aumento de 1 g/(m² 30 dias) na taxa de deposição de partículas. Ainda, na Tabela 8 observa-se que para a taxa de deposição de partículas igual a 5 g/(m² 30 dias) ($x=5$), a probabilidade de incomodados é de 26%, para uma taxa igual a 10g/m²30 dias ($x=10$), a probabilidade de incomodados é de 74%. E, finalmente, quando expostos a uma taxa de deposição de partículas igual a 14 g/(m² 30dias) ($x=14$), há uma probabilidade de 94% de indivíduos incomodados na RGV. Ou seja, percentual muito próximo do percentual encontrado na pesquisa de opinião face a face em que observou que mais de 90% dos respondentes afirmaram sentir-se incomodados devido a presença de partículas sedimentadas (poeira).

TABELA 8
PARÂMETROS ESTIMADOS DO MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA
(MUITO/EXTREMAMENTE INCOMODADO) PARA RGV.

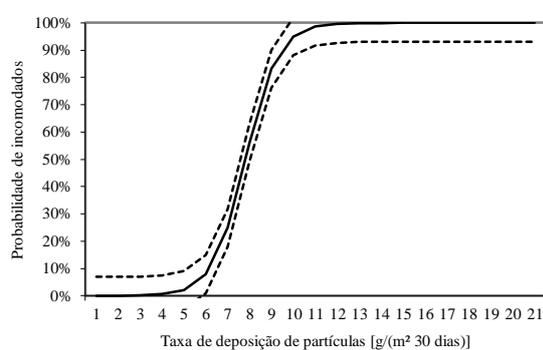
	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\text{Exp}(\widehat{\beta}_1)$	$P(x=5)$	$P(x=10)$	$P(x=14)$
RGV	-3,165	0,419	1,520	26%	74%	94%

A Figura 12 de (a) a (h) apresenta as curvas da relação exposição-resposta que representa a relação de probabilidade estimada do percentual de indivíduos incomodados e quando expostos a valores gradativos da taxa de deposição de partículas para cada sub-região em torno das estações: (a) Laranjeiras, (b) Jardim Camburi, (c) Enseada do Suá, (d) Vitória-Centro, (e) Ibes, (f) Vila Velha-Centro e (g) Cariacica, além do conjunto de todas as sub-regiões (h) RGV. As

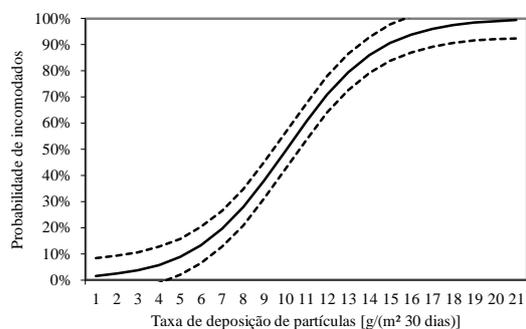
curvas em pontilhado indicam os intervalos de confiança de 95% para cada uma das diferentes curvas.



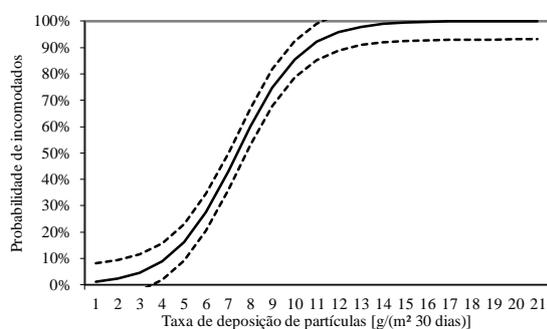
(a) Laranjeiras



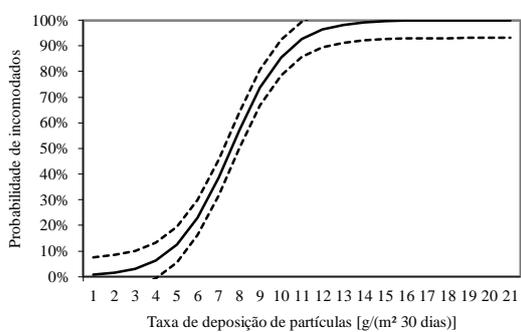
(b) Jardim Camburi



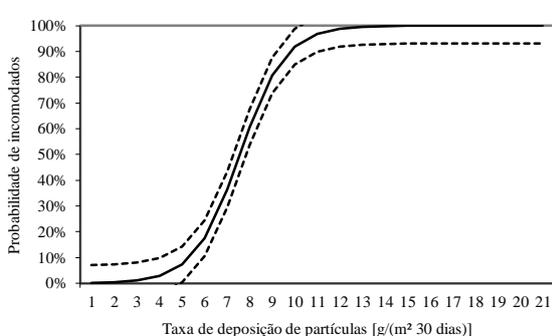
(c) Enseada do Suá



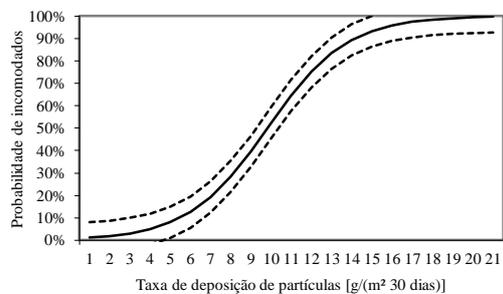
(d) Vitória-Centro



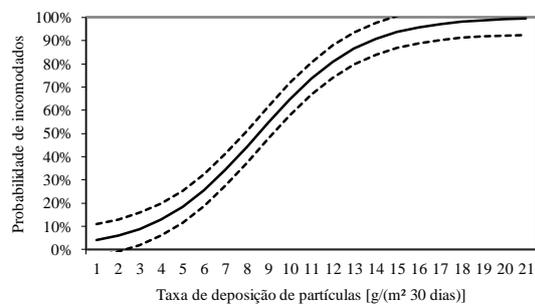
(e) Ibes



(f) Vila Velha-Centro



(g) Cariacica



(h) RGV

Figura 12. Relação exposição às partículas sedimentadas *versus* resposta ao incômodo para (a) Laranjeiras, (b) Jardim Camburi, (c) Enseada do Suá, (d) Vitória-Centro, (e) Ibes, (f) Vila Velha-Centro, (g) Cariacica e (h) RGV.

Os resultados das curvas exposição versus resposta ao incômodo foram obtidos com base nas respostas das médias das notas atribuídas à percepção do incômodo pelo número médio de respondentes distribuídos proporcionalmente em cada sub-região conforme apresentado na Tabela 9.

TABELA 9
NÚMERO MÉDIO DE RESPONDENTES NA PESQUISA PAINEL (DADOS MENSAIS) POR SUB-REGIÃO E TOTAL RGV

Sub região	Respondentes por mês	Percentual (%)
Laranjeiras	25	12%
Jardim Camburi	29	14%
Enseada do Suá	19	9%
Centro de Vitória	26	12%
Centro de Vila Velha	38	18%
Ibes	39	18%
Cariacica	38	18%
Total	214	100%

5. Conclusões e recomendações

Os resultados obtidos na pesquisa de opinião face a face mostraram que na RGV aproximadamente 90% dos participantes relatam sentir-se incomodados com a poluição do ar. Foi constatada diferenças entre os percentuais de níveis de incômodo relatados nas diferentes sub-regiões investigadas, que podem ser justificados pela diferença no perfil dos respondentes característico das particularidades sociodemográficas de cada sub-região como apresentado na análise realizada por Melo et al., (2015).

As séries temporais da taxa de deposição de partículas monitoradas entre 2009 e 2014, e apresentadas neste estudo mostraram que os valores da taxa de deposição são significativamente diferentes entre as estações da rede manual de partículas sedimentadas da RGV. Baixa variabilidade foi observada em Jardim Camburi e alta variabilidade em Vila Velha-Centro e Enseada do Suá, comportamento sazonal semelhante em Vila Velha-Centro e Ibes, valores elevados em Laranjeiras e valores sistematicamente baixos em Carapina. Tais diferenças podem ser explicadas pela influência e contribuição de diferentes fontes de poluição em cada sub-região além das condições meteorológicas que promovem o transporte dos poluentes.

As diferenças observadas entre as sub-regiões tanto no que se refere às taxas de deposição medidas nas estações quanto na percepção dos níveis de incômodo relatado pelos respondentes, justificam as análises independentes realizadas por cada sub-região da RGV.

A metodologia proposta por Vallack e Sillito (1998) para estabelecimento de diretrizes para partículas sedimentadas, embora tenha sido proposta há mais de 15 anos, foi utilizada em 2013 para estabelecer essas diretrizes na Austrália (PEPR, 2012). Essa metodologia é simples, de fácil aplicação e bastante útil se não houver dados disponíveis de percepção do incômodo relatado pela população na região. Ao aplicar a metodologia proposta por Vallack e Shillito (1998) na RGV, foi encontrado limite igual a $9 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ 30 dias})$ (valor inferior ao limite estabelecido no Decreto em vigor na região) para o qual espera-se que somente haverá reclamações por parte da população quando esse valor for ultrapassado. Conforme citado anteriormente, é importante ressaltar que a metodologia proposta por Vallack e Shillito (1998) baseia-se em estimar um limite de taxa de deposição fundamentada na premissa de que taxas de deposição atípicas para região, não seriam aceitáveis para a população, e sem considerar o incômodo reportado pela população na região de interesse.

A metodologia proposta neste trabalho, que utiliza o modelo de regressão logística, permite relacionar uma variável quantitativa (taxa de deposição de partículas) e uma variável qualitativa (incômodo percebido pelos respondentes) a fim de encontrar a relação exposição versus resposta e estabelecer diretriz para a taxa de deposição de partículas a fim de subsidiar a definição dos padrões legais. A vantagem dessa metodologia consiste em considerar a participação da população local, por meio da pesquisa de opinião (conduzida face a face e por telefone), para quantificar o incômodo causado pelas partículas sedimentadas num determinado período de tempo.

Por meio da regressão logística foi possível estimar os parâmetros de modelos específicos por cada sub-região, o que permitiu identificar as localidades onde há maior chance dos residentes relatarem incômodo (razão de chances) bem como as localidades com maior probabilidade de indivíduos incomodados. Na sub-região Jardim Camburi existe maior chance dos residentes relatarem incômodo, quando expostos a acréscimos de $1 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ 30 dias})$ na taxa de deposição de partículas. Para o valor de $5 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ 30 dias})$, a sub-região com o maior percentual de respondentes incomodados foi Vitória-Centro e o menor foi observado na sub-região ao redor da estação Jardim Camburi. No caso de um valor limite de exposição igual a $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ 30 dias})$, Jardim Camburi apresentou maior percentual de respondentes incomodados e Laranjeiras o menor percentual. E, para um valor limite de exposição igual a $14 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ 30 dias})$, observou-se que em todas as sub-regiões de interesse, mais 90% dos respondentes reportariam incomodados.

Ao considerar a mobilidade da população entre as sub-regiões, foi proposta uma análise com todos os dados em um único modelo a regressão logística fim de estimar um modelo global da RGV. O modelo global da RGV considera toda a variabilidade presente em cada sub-região em

relação às duas variáveis de interesse, a percepção do incômodo e a taxa de deposição de partículas.

A Tabela 10 apresenta a diretrizes para taxa de partículas sedimentadas propostas com base nas análises e resultados apresentados no presente documento. Para o padrão estadual atua, previsto no Decreto No. 3463-R/2013, de 14 g/(m²30 dias), é possível prever que 90% da população relataria sentir-se incomodada com a presença de poeira. Para valores iguais a 5 e 10 g/(m² 30 dias), que são utilizados em várias países/cidades (Tabela 1) observa-se que 25% e 70% respectivamente, reportaria incômodo. E, ainda, conforme metodologia desenvolvida por Vallack e Shillito (1998), o valor limite de exposição deveria ser igual a 9 g/(m²30 dias), baseando nos resultados obtidos com o modelo de regressão logística, pode se estimar que esse valor limite implicaria em 60% da população reportar sentir-se incomodada com a presença de poeira.

TABELA 10
DIRETRIZES PARA PARTÍCULAS SEDIMENTADAS.

Diretriz	Metodologia utilizada	Referência	Probabilidade de Incômodo
14 g/(m ² 30 dias)	Regressão logística	Presente trabalho	94% (91% -100%)*
10 g/(m ² 30 dias)	Regressão logística	Presente trabalho	74% (61% - 99%)*
9 g/(m ² 30 dias)	90° percentil	Vallack e Shillito (1998)	60%**
5 g/(m ² 30 dias)	Regressão logística	Presente trabalho	26% (8%-28%)*

(*) valores mínimos e máximos entre as sub-regiões investigadas.

(**) valor indicado pela regressão logística apresentada na Figura 15(h) uma vez que a metodologia proposta por Vallack e Shillito (1998) não incorpora a percepção da população.

A literatura de referência adotada que contempla a análise da relação entre incômodo e poluição ar, utiliza dados de concentração de poluentes (por exemplo, PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂) como indicadores da poluição do ar principalmente para correlacionar com o incômodo causado pelo tráfego de veículos (ver por exemplo, Klaeboe, *et al.* (2000); Rotko *el al.*, (2002); Amundsen *et al.* (2008)). Mas em nenhum desses estudos as análises consideraram dados de taxa de deposição de partículas, nem tampouco com o propósito de definir diretrizes de qualidade de ar. Nesse contexto, o presente estudo contribui no sentido de apresentar uma metodologia com aplicação prática social a qual pode ser adotada em outras regiões/ localidades que vivenciam problemas semelhantes (incômodo causado por poeira), tanto para definição de diretrizes quanto para revisão ou atualização de padrões em uso.

6. Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - **NBR 3402**: Atmosfera - determinação da taxa de poeira sedimentável total. Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ABRAHAM, B.; LEDOLTER, J. **Introduction to regression modeling**. Belmont/CA: Thomson Brooks/Cole, 2006.
- AGRESTI, A. **Categorical data analysis**. New York: John Wiley, 1990.
- ALVES, M. R; TRINDADE, C. C; QUEIROZ, S. Q; MATHIAS S. M. H; ENTRINGER, S. M. J. **Análise da percepção ambiental da população da Grande Vitória à poeira sedimentável**. In: VIII SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – SIBESA. Fortaleza/CE – Brasil. Resumo dos trabalhos técnicos “Mudanças globais: desafios para o saneamento ambiental”. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.339, 2006.
- AMUNDSEN, A. H.; KLÆBOE, R.; FYHRI, A. Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for Norway. **Atmospheric Environment**. Elsevier Science, v.42, p.7679–88, 2008.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **D 1739**: Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), American Society for Testing and Material. West Conshohocken, PA: ASTM, 1998.
- ATARI D.O., LUGINAAH I.N., FUNG K. The relationship between odour annoyance scores and modelled ambient air pollution in Sarnia, "Chemical Valley", Ontario. **Int J Environ Res Public Health**, v.6 p. 2655–75, 2009.
- BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 7.ed. Florianópolis: UFSC, 2008.
- BARNETT, V. **Sample survey principles and methods**. 3.ed. London: Arnold. 1991.
- BERGLUND B, BERGLUND U, LINDVALL T. Measurement and control of annoyance. In: KOELGA, H.S. **Environmental annoyance**: characterization, measurement and control. Amsterdam: Elsevier Science, p.29-43, 1987.
- BLANES-VIDAL, V., SUH H., NADIMI E. S., LØFSTRØM P., ELLERMANN T., ANDERSEN H. V., SCHWARTZ J. Residential exposure to outdoor air pollution from livestock operations and perceived annoyance among citizens. **Environment International**, v. 40, p. 44-50, 2012.
- CENTNER J.T, COLSON, G, Rationing health protection: A proposal to exempt nuisance dust from US Clean Air Act Regulations. **Journal of Environmental Management**, v. 117 p. 219 e 225, 2013.
- COLLS, J. **Air Pollution**. 2ed. USA: SPON Press Taylor & Francis Group, 2002.
- CONTI, M. M. Caracterização química e morfológica de partículas sedimentadas na região metropolitana da grande Vitória-E.S. **Tese** (Doutorado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória/ES, 2013.
- CONSELHO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS - COPAM. **Deliberação Normativa N° 01** de 26 de maio de 1981. Conselho Estadual de Proteção Ambiental do Estado de Minas Gerais/Brasil, 1981.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA N° 03**. Brasília: CONAMA, 1990.
- DEPARTAMENT OF ENVIRONMENT NEW YORK/UNITED STATES - DENY (2009). Disponível em: <<http://www.dec.ny.gov/regs/2492.html>>. Acesso em: 8 abr. 2015.
- DEPARTAMENT OF ENVIRONMENT QUALITY MONTANA-DEQM- **Air monitoring**, 2005. Montana /USA. Disponível em: <<http://www.deq.state.mt.us/AirMonitoring/citguide/appendixb.html>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto nº 3463-R**, de 16 de dezembro de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Vitória: DOE, 17 dez. 2013.

ECOSOFT CONSULTORIA E SOFTWARES AMBIENTAIS (EcoSoft). **Inventário de emissões atmosféricas da região da Grande Vitória**. Acordo de Cooperação Técnica IEMA & EcoSoft nº 010/2009. RTC10131-R1, Vitória, 2011.

EGONDI, T. ; KYOBUTUNGI, C. ; Ng, N. ; MUINDI, K.; OTI, S.; VIJVER, S. V. De ; ETTARH, R. ; ROCKLOV, J. Community perceptions of air pollution and related health risks in Nairobi Slums. **Int. J. Environ. Res. Public Health**. In: <www.mdpi.com/journal/ijerph>, no.10, p. 4851-68, 2013.

FIELDS JM, DE JONG RG, GJESTLAND T, FLINDELL IH, JOB RFS, KURRA S, et al. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. **J Sound Vibration**, v.242(4) p. 641–79, 2001.

GROOTHUIS-OUDSHOORN CG, MIEDEMA HM. Multilevel grouped regression for analyzing self-reported health in relation to environmental factors: the model and its application. **Biomed Journal**, v. 48(1) p. 67–82, 2006.

HYSLOP, N.P. Impaired visibility: the air pollution people see. **Atmospheric Environment**, v. 43, p.182-195, 2009.

HOLGATE, S. T.; SAMET, J. M.; KOREN, H.S; MAYNARD, R. L. **Air Pollution and Health**. 1a. ed. London/UK: Academic Press, 1999.

HOAMER, D.W. e LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. 2ª ed. New York: John Wiley, 2000.

HU, T. et al. Morphology and elemental composition dustfall particles inside emperor qinsterra-cotta warriors and horses museum. **China particuology**, Vol. 4, No. 6, 346-351, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) – **Censo 2010**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2011.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN. **Perfil regional 2008**: Região Metropolitana da Grande Vitória. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br>. Acesso em 09 de junho de 2011.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. **Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória**. Acordo de Cooperação Técnica IEMA-ECOSOFT. Vitória, 2011a. Disponível em www.iema.gov.br.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. **Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado do Espírito Santo**. 2011b. Disponível em www.iema.gov.br.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. **Relatório de Qualidade do Ar da Grande Vitória 2013**. Instituto Estadual De Meio Ambiente, Vitória, Espírito Santo, Brasil. Disponível em:www.iema.gov.br. Acesso em 11 de julho de 2014.

JACQUEMIN, B., SUNYER, J., FORSBERG, B., GOTSCHI, T., OGLESBY, L., ACKERMANN-LIEBRICH, U., DE MARCO, R., HEINRICH, J., JARVIS, D., TOREN, K., KUNZLI, N. Annoyance due to air pollution in Europe. **International Journal of Epidemiology**. Oxford University Press, v. 36 p. 809–820, 2007.

KLAEBOE, R.; KOLBENSTVEDT, M.; CLENCH-AAS, J., BARTONOVA, A.; Oslo traffic study - part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. **Atmospheric Environment**. Elsevier. V. 34, p.4727-4736, 2000.

KLÆBOE R, ÖHRSTRÖM E, TURUNEN-Rise IH, BENDSTEN H, NYKÄNEN H. Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part III: towards a common methodology for socio-vibrational surveys. **Appl. Acoustic**. Elsevier. V. 64 p.111–120, 2003.

KLAEBOE, R., AMUNDSEN A.H., FYHRI A. Annoyance from vehicular air pollution: A comparison of European exposure–response relationships. **Atmospheric Environment**. Elsevier, v. 42, p.7689-7694, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DO MACAPÁ- PMM. **LEI nº 948**. Dispõe sobre a Lei de Proteção, Controle, Conservação e Melhoria do Meio Ambiente do Município de Macapá, Macapá – AP, 1998.

LINDVALL, T.; RADFORD, E. Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. **Environment Research**, v.6, p.1-36, 1973.

LLOP, S., BALLESTER, F., ESTARLICH, M., et al. Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women. **Atmospheric Environment**. Elsevier, v.42, p.2982-92, 2008.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MICHAELIS: **Moderno dicionário inglês-português, português-inglês**. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 2000.

MELO M.M., SANTOS, Jane Meri, REIS JUNIOR, Neyval C, REISEN, Valdério Anselmo. Annoyance caused by air pollution in urban industrialized regions. **International Journal of Medical, Health, Biomedical and Pharmaceutical Engineering**, v.:9, No:2, 2015.

NIKOLOPOULOU M., KLEISSL J., LINDEN P.F., LYKOUDIS S., Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution. **Science of the Total Environment**. Elsevier, v. 409 p.2493–2502, 2011.

NORDIN S., LIDÉN E. Environmental odor annoyance from air pollution from steel industry and bio-fuel processing. **Journal of Environmental Psychology**, v. 26 p. 141–145, 2006.

RIO DE JANEIRO. **NT. 603.R-4** - Critérios e Padrões de Qualidade do Ar Ambiente. Deliberação CECA Nº 021 de 15 de março de 1978.

OGLESBY, L.; KUNZLI, N.; MONN, C.; SCHINDLER, C.; ACKERMANN-LIEBRICH, U.; LEUENBERGER, P. Validity of annoyance scores for estimation of long term air pollution exposure in epidemiologic studies: The swiss study on air pollution and lung diseases in adults (SAPALDIA). **Am. J. Epidemiology**, v.152, p. 75–83, 2000.

PASSCHIER V. W, PASSCHIER WF. Noise exposure and public health. **Environ Health Perspective**, v. 108, p.123–31, 2000.

PROGRAM FOR ENVIRONMENT PROTECTION AND REHABILITATION-PEPR. **Compliance Report: Dust deposition Limit Determination**. AECOM Australia, 2012.

ROTKO T., OGLESBY L., UNZLI N.K., NIEUWENHUIJSEN M.J., JANTUNEN M. Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM2.5, NO2) concentrations in the European EXPOLIS study. **Atmospheric Environment**. Elsevier, v.36, p.4593–4602, 2002.

SANTOS, J. M.; REIS JR, N.C. **Caracterização e quantificação de Partículas Sedimentáveis na Região da grande Vitória**. Relatório Técnico Final elaborado para o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Vitória, 2011.

SOUZA, L. B. Estudo de correlação entre a percepção do incômodo causado pelas partículas sedimentadas e os níveis de concentração na atmosfera em uma região impactada. **Dissertação de Mestrado** - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

STENLUND, T., LIDÉN, E., ANDERSSON, K., GARVILL, J., NORDIN, S. Annoyance and health symptoms and their influencing factors: A population-based air pollution intervention study. **Public Health**, v. 123, p.339-345, 2009.

VALLACK, H. W., SHILLITO, D. E. Suggested guidelines for deposited ambient dust. **Atmospheric Environment**, v.32, n° 16, p.2737-2744, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. **Air quality guidelines for Europe**. 2^a ed., Copenhagen, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. **Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide**. Global update 2005. Summary of Risk Assessment. Geneva, 2006.

WHITTLE N., PERIS E., CONDIE J. WOODCOCK J., BROWN P., MOORHOUSE A.T., WADDINGTON D.C., SLEELE A. Development of a social survey for the study of vibration annoyance in residential environments: Good practice guidance. **Applied Acoustics**, v. 87 p.83–93, 2015.

5.5 Análise de componentes principais e regressão logística para quantificação do incômodo causado por material particulado

Em continuidade à investigação do problema do incômodo causado pela poluição do ar, uma lacuna observada na literatura científica refere-se às metodologias adotadas para análise da relação incômodo versus níveis de poluição. Em geral observa-se o uso de modelos de regressão (simples, múltipla, ordinal e logística) no qual a variável dependente é o incômodo relatado pela população e a variável independente ou covariável, a concentração dos poluentes atmosféricos. Em tais estudos observa-se a inclusão das covariáveis (concentração de poluentes) individualmente nos modelos, gerando resultados independentes para cada poluente estudado, o que não expressa o efeito dos poluentes presentes na atmosfera. No entanto, a aplicação de modelos independentes pode ser justificada devido às características das séries temporais (típicas da concentração dos poluentes), e a presença de multicolinearidade entre os poluentes estudados, ou seja, a autocorrelação e a correlação serial entre as variáveis inviabiliza a aplicação direta de mais de uma covariável em um único modelo de regressão.

Neste trabalho o poluente de interesse é o material particulado o qual apresenta-se em diferentes frações na atmosfera ou sedimentado em superfícies. Assim, a contribuição científica é a proposta metodológica por meio da análise das séries temporais de cada fração do material particulado bem como a aplicação da técnica análise de componentes principais afim de remover a multicolinearidade presente entre os poluentes em estudo, para permitir a inclusão de todas as covariáveis em um mesmo modelo de regressão.

O procedimento de modelagem, constitui o coração central da presente tese e é apresentado no artigo intitulado “*Application of principal component analysis and logistic regression to investigate annoyance caused by particulate matter*”, que recebeu o prêmio “*Award of The Best Oral Presentation*” na conferência internacional DUST 2014, ocorrido na Itália.

APPLICATION OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND LOGISTIC REGRESSION TO INVESTIGATE THE RELATIONSHIP BETWEEN ANNOYANCE AND THE COMBINED EFFECT OF PARTICULATE MATTER

Milena Machado de Melo^{1,*}, Valderio Anselmo Reisen⁴, Jane Meri Santos², Ilias Mavroidis³, Neyval Costa Reis Junior², Higor Henrique Aranda Cotta²

Instituto Federal do Espírito Santo, Guarapari, Brazil⁽¹⁾ (milenam@ifes.edu.br), Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Environmental Engineering, Vitoria, Brazil⁽²⁾, Hellenic Open University, Patras, Greece⁽³⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Department of Statistic, Vitoria, Brazil⁽⁴⁾

Abstract

Particulate matter is an air pollutant that causes damage to human health, animals and plants, affects the climate and is a potential cause of annoyance through deposition on materials and buildings. The perceived annoyance caused by particulate matter is related mainly to the increase of dust in urban and residential environments when it settles. Settled particles can originate from many sources, e.g., paved and unpaved roads, buildings, agricultural operations and wind erosion that represent the largest contributions beyond the relatively minor vehicular and industrial sources emissions. The aim of this paper is to estimate the risk between exposure to particulate material concentrations (SP, PM₁₀ and TSP) and perceived annoyance, reported by respondents in Vitoria Region (Brazil). For that, a survey by phone (panel survey) from 2011 to 2014 with a representative sample of the region was conducted. It was examined the behaviour of particulate matter, as PM₁₀, Total Suspended Particles (TSP) and Settled Particles (SP), monitored in the air quality stations, through the analysis of time series and their self-correlations and different inter-relations with perceived annoyance data. The results show time and cross correlation in and between pollutant data. Thus, the variables of interest were modelled using techniques of time series analysis and multivariate analysis, namely principal component analysis (PCA) and logistic regression. In summary, the findings of this study show the relative risk values significant for each pollutant demonstration that there is a strong association between the observed concentration levels of PM₁₀, TSP, SP and perceived annoyance reported by people.

Key words: Annoyance, particulate material time series, principal component analyses, logistic regression, relative risk.

1. Introduction

Adverse health effects, such as respiratory and cardiovascular diseases, caused by inhalable particles have been of great concern due to the high exposure risk even at relatively low concentrations of air pollutants (WHO, 2006). These particles poses more danger to human health than tropospheric ozone or other common air pollutant (e.g. Dockery and Pope, 1994; Brunekreef and Forsberg, 2005; Kim et al., 2015). Furthermore, particulate matter, such as dust, dirt, soot, or smoke, is an environmental stressor and can cause annoyance as it impairs well-being. WHO (1946) defines health as a state of complete physical, mental and social well-

being and not merely the absence of disease or infirmity. Therefore, diseases as well as impairment of well-being can be both described as health impacts.

Annoyance levels are likely to be influenced by risk perception, air pollution perception and occurrence of health problems (Stenlund et al, 2009). According to Nordin and Lidén (2006), annoyance can be considered a community problem even if only a small proportion of the population is annoyed in sparse occasions. Several studies have quantified the relationship between annoyance from environmental stressors and measured levels of these stressors, such as odours (Blanes-Vidal, 2012), noise (Klaeboe et al., 2000), vibration (Klaeboe et al., 2003) and various air pollutants (Klaeboe et al., 2000; Oglesby et al., 2000a; Rotko et al. 2002; Jacquemin et al., 2007; Llop et al., 2008; Klaeboe, 2008; Amundsen et al. 2008; Nikolopoulou et al., 2011).

Klaeboe et al. (2000) applied logistic regression to correlate NO_2 concentration and noise degrees of annoyance due to traffic. The authors pointed out that exposure-effect models for noise and air pollution annoyance only including noise and air pollution indicators, respectively, will give misleading results as combined effects were not investigated. Oglesby et al. (2000) applied a linear regression model to investigate correlations between annoyance and concentration levels of NO_2 and PM_{10} and found significant correlations between these variables. Rotko et al. (2002) compared exposures to $\text{PM}_{2.5}$ and NO_2 and perceived annoyance levels using a linear regression model and observed a high correlation between personal 48h- $\text{PM}_{2.5}$ and 48h- NO_2 exposure and perceived annoyance at home. Annoyance in traffic was also found to correlate with home outdoor $\text{PM}_{2.5}$ and NO_2 concentrations. These authors also found a correlation between annoyance at work and personal work time exposure to $\text{PM}_{2.5}$ and work indoor $\text{PM}_{2.5}$ concentration, while home indoor NO_2 concentration was found to correlate with annoyance at home. Jacquemin et al. (2007) used a linear regression model and found that as $\text{PM}_{2.5}$ concentration (and its sulphur content) increases, annoyance levels also increases. Llop et al. (2008) used the Spearman correlation coefficient to determine the correlation between levels of annoyance perceived by pregnant women at home and NO_2 concentration, noise due to traffic and distance from streets with heavy traffic. Low correlation was found between annoyance and ambient NO_2 and noise. The correlation between the distance to streets with heavy traffic and annoyance was found to be non-linear. Amundsen et al (2008) established exposure-response relationships between PM_{10} and annoyance caused by dust/dirt and between $\text{PM}_{2.5}$ and NO_2 and annoyance caused by odour due to exhaust gases in traffic using a logistic regression model. These authors pointed out that these relationships were established using PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ and NO_2 individually. Nikolopoulou et al. (2011) also used a logistic regression

model to investigate the correlation between air quality perception of pedestrians and PM_{1-10} concentration measured on sidewalks close to streets.

These authors have used techniques of linear regression and logistic regression to establish a relationship between annoyance and concentration levels of air pollutants. However, it can be observed that each pollutant is included as single covariate in the regression model and, it is well-known that pollutants concentrations are inter-correlated. Therefore, the multicollinearity between pollutants concentration must be taken into account to evaluate their relationship with annoyance due to air pollution.

The combination of logistic regression and PCA techniques was applied by Roberts & Martins (2006) to evaluate the associations of pollutants (PM_{10} , O_3 , SO_2 , NO_2 and CO) and their health effects avoiding the problem of multicollinearity. Likewise, Mustapha et al. (2011) investigated the association between respiratory health problems in schoolchildren and pollutants (PM_{10} and CO) using the combination of both techniques. Recently, Majewski et al. (2014) also used the combination of logistic regression and PCA techniques to evaluate the influence of air pollutants (PM_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3) in visibility.

However, as pointed out by Zamprogno (2013), the PCA technique requires variables that are not correlated in time, i. e., stationary time series (serially independent) and air pollutants concentration time series can hardly be assumed stationary. Thus, it is necessary to use the autocorrelation functions and partial correlation in these time series to identify the existence of temporal correlation and to apply a Vector Autoregressive Model as a filter to eliminate the temporal correlation.

The aim of this study is to investigate the annoyance caused by particulate matter. For this objective, the use of multivariate logistic regression model to consider the combined effects of total suspended particles (TSP), PM_{10} and settled particles (SP) is proposed. The PCA technique is used in combination with logistic regression in order avoid to the multicollinearity problem. As PCA requires the data to be time uncorrelated and stationary, the vector autoregressive model is also applied with the purpose of removing the temporal dependence.

2. Material and methods

The Region

The Vitoria Region is located on the east coast of Brazil, in the state of Espirito Santo and is densely populated region, with 1,500,000 inhabitants. It is a port region and industrialized area, formed by the cities of Vitoria, Vila Velha, Serra and Cariacica. The study is aimed to this region because of the potentially polluting industrial sources, such as steel, pelletizing, mining

and cement industries, together with the traffic, especially of large vehicles, which lead to an increase of complaints by the population that is annoyed by air pollution (IEMA, 2011; SOUZA, 2011). In many developing countries, the air quality monitoring and regulation are not a top priority. However, in Vitoria region, there is an interest to investigate the impact caused by particulate matter due to population reports of being constantly annoyed (approximately 25% of the complaints to environmental agency in 2008, are about air pollution), specially by the amount of dust (Souza, 2011).

Figure 1 shows the map of the Vitoria region together with the main industrial sources of particulate matter and the eight stations monitoring air quality: Laranjeiras, Carapina, Jardim Camburi, Enseada do Sua, Vitoria centro, Vila Velha centro, Ibes and Cariacica. All monitoring stations are managed by the local environmental agency (IEMA) which provided the data of PM₁₀ (particulate matter less than 10µg/m³), TSP (total suspended particles) and SP (settled particles) used in this study.

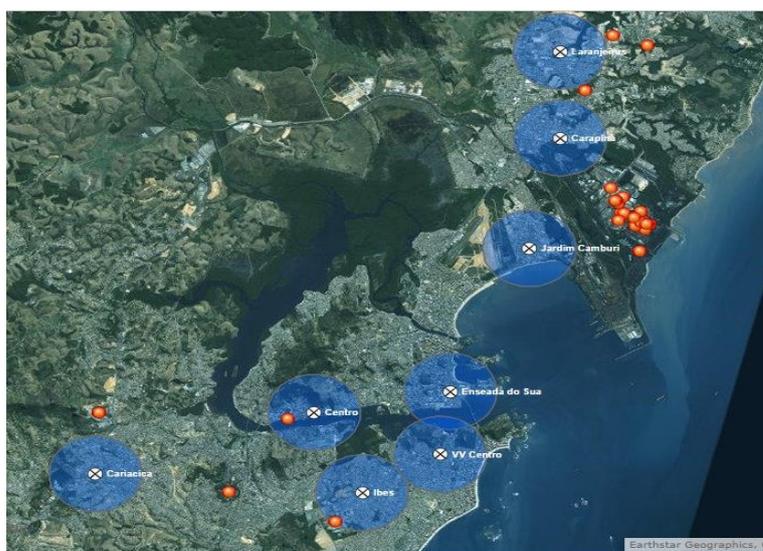


Figure 1- Vitoria urban conurbation comprises of the cities (in parenthesis the monitoring stations): Vitoria (Vitoria Centro, Enseada do Suá and Jardim Camburi monitoring stations), Serra (Carapina and Laranjeiras monitoring stations), Vila Velha (Vila Velha centro and Ibes monitoring stations) and Cariacica (Cariacica monitoring station). The monitoring stations are marked with white circles with a cross, the survey areas around the stations with large blue circles and the main point sources of air pollution with red circles.

The Survey

The face-to-face survey was carried out randomly in order to select a sample representative of the population living in a radius of 1.5 km around the eight air quality monitoring stations that had voluntarily interested in answering a monthly survey by phone (panel survey) about perceived annoyance caused by dust.

About 220 respondents (over 16 years old) residents in a radius of 1.5 km around the eight air quality monitoring stations located in Vitoria region answered the questions by phone from July 2011 to July 2014. The main question (applied by phone) to obtain a clear measure of the perceived annoyance, monthly, was: "Considering this month, what grade would you give to the perceived annoyance on a scale from 1 to 10, where 10 is the maximum level of annoyance?", with the answer options ranging from 1 to 10.

Monthly, was calculated the average of annoyance reported by all respondents, and usually the average of annoyed attributed high scores (≥ 7) was codify as 1 and the average of annoyed given low scores to annoyance (< 7) was codify as 0. So the answers of perceived annoyance was dichotomized to be possible applied the regression model.

Statistical Techniques

The variables in question were modelled using time series, regression models and multivariate analysis techniques. The datasets used are the flow of monthly settled particles (SP) as well as daily average of particulate matter (PM_{10}) and total suspended particle (TSP) concentrations obtained from the State Institute of Environment (IEMA), measured at the eight air quality monitoring stations located in Vitoria region. Since data of settled particles are only on a monthly basis, monthly average and monthly maxim values are also calculated for TSP and PM_{10} .

The analysis of the characteristics of the time series of data can help investigate the association between pollutant concentrations and health effects (Cox, 2000; Wang & Pham; 2011). A similar analysis can be applied for the annoyance caused by air pollution. However, the specifications of the environmental time series of data require the application of complex statistical techniques sufficiently sensitive to detect the combined effects of covariates over time, taking into account the seasonal fluctuation of parameters that may interfere in the dynamics of observed pollutant concentrations (Schwartz et al., 2000, Gouveia et al., 2004).

To analyse the annoyance caused by particulate matter a joint analysis of settled particle (SP), particulate matter (PM_{10}) and total suspended particles (TSP) is required. That is, an analysis of the multivariate data set will be performed, without simply isolating the effects of a single pollutant. This section presents the description of the statistical techniques applied in this study, considering the assumptions of the multiple logistic regression model about the independence between the covariates. Therefore, the data require a prior treatment using principal component analysis. Although the components obtained from PCA are not correlated, they can also present autocorrelation, which is transferred to the residuals of the fitted model. Thus, in this work, data

are filtered through a multivariate time series model before applying the PCA technique, as shown by Souza et al. (2014).

In this study, a methodology is developed as the combined use of multivariate statistical techniques for analysing the association between annoyance and the effects of deferent measures of particulate matter. The proposed methodology differs from other related works and is an important scientific contribution of this work.

Logistic Regression

Let $\mathbf{X}' = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ be a vector containing p random variables; then the logistic regression models the success probability of getting extremely annoyed as a function of these p variables (air pollutants). According to Abraham and Ledolter (2006) the use of the logistic model is appropriate when the response variable is dichotomous categorical, i.e, the variable takes values $Y = 1$ or $Y = 0$. In this study, the outcome variable Y is the scores of annoyance which may take only two distinct values (0 and 1). For that, the average of annoyance grade less than 7 were given value 0 and for average equal to or higher than 7 were given the value 1. The outcome Y is assumed to have a Bernoulli distribution with “success” (high annoyed) and “failure” (slight annoyed) probabilities denoted by,

$$P(Y = 1|\mathbf{X}) = \pi(\mathbf{X}) \text{ and } P(Y = 0|\mathbf{X}) = 1 - \pi(\mathbf{X}) . \quad \text{Eq.(1)}$$

The dichotomized scores of annoyance are the dependent variable, and the time series of monthly concentrations of air pollutants (PM₁₀, TSP, SP) are the independent variables or covariates. The logit of the multiple logistic regression model is given by

$$g(\mathbf{X}) = \beta_0 + \beta_1 + \dots + \beta_p . \quad \text{Eq.(2)}$$

The probabilities are nonlinear functions of the parameters β . Thus, the logistic regression model is perfectly applicable to the problem, because it expresses the relationship between the pollutants that reflect the perception and the annoyance (effect). The logistic regression model calculates the probability of the effect by the following equation:

$$P(Y = 1) = \pi(\mathbf{X}) = \frac{e^{g(\mathbf{X})}}{1 + e^{g(\mathbf{X})}} = \frac{e^{\beta_0 + \dots + \beta_p x}}{1 + e^{\beta_0 + \dots + \beta_p x}} \quad \text{Eq. (3)}$$

The $\beta_i, i = 0, \dots, p$, terms in this model represent unknown parameters to be estimated based on sample data obtained by the maximum likelihood method (maximizes the probability of obtaining the observed group data) given by

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{Z}, \quad \text{Eq. (4)}$$

where $\widehat{\mathbf{W}}$ is a diagonal matrix of dimension $n \times n$ with elements given by $\widehat{\pi}_i(1 - \widehat{\pi}_i)$, $i = 1, \dots, n$, where $\widehat{\pi}_i$ is estimated using Maximum Likelihood. \mathbf{Z} is a $n \times 1$ matrix which elements are

$$Z_i = \ln \left\{ \frac{\widehat{\pi}_i}{1 - \widehat{\pi}_i} \right\} + \left\{ \frac{Y_i - \widehat{\pi}_i}{\widehat{\pi}_i(1 - \widehat{\pi}_i)} \right\}. \quad \text{Eq. (5)}$$

It can be demonstrated that

$$\widehat{Var}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}) = (\mathbf{X}'\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X})^{-1} \quad \text{Eq. (6)}$$

Regarding Equations 4 and 6 it is possible to identify a problem that may occur: the multicollinearity. The multicollinearity occurs when the matrix of covariates is not a full rank matrix, i.e., when the number of rows or columns of the matrix in reduced form are not equal to the dimension of the matrix, as a direct consequence of this fact, the determinant of the matrix is 0 and the matrix is not invertible.

This problem can be seen writing $\widehat{\mathbf{W}} = \widehat{\mathbf{W}}^{\frac{1}{2}}\widehat{\mathbf{W}}^{\frac{1}{2}}$, then

$$\left(\mathbf{X}'\widehat{\mathbf{W}}^{\frac{1}{2}}\widehat{\mathbf{W}}^{\frac{1}{2}}\mathbf{X} \right)^{-1} = (\mathbf{L}'\mathbf{L})^{-1}. \quad \text{Eq. (7)}$$

It can be shown that $rank(\mathbf{X}'\widehat{\mathbf{W}}^{\frac{1}{2}}) = rank(\mathbf{X}')$. Therefore, if \mathbf{X} is not full rank or its rows and columns are very close to being linearly dependent (highly correlated), this will have an effect on $(\mathbf{L}'\mathbf{L})^{-1}$ matrix, thus, affecting the estimated parameters.

Principal Component Analysis

PCA multiple analyses were used to evaluate the joint effects of the pollutants, mitigating the multicollinearity between them and the simultaneous effect of the pollutants was investigated. The PCA preserves most of the variability in the covariates (air pollutants) and allows the grouping of pollutants in the regression model. In general, the total variability of a data set of p variables can only be explained using p components. However, a large part of this variability can be explained using an r lower number of components ($r \leq p$) (Jonhson, 2007).

Let $\mathbf{X}' = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ be a vector containing p random variables and $(\lambda_1, \alpha_1), (\lambda_2, \alpha_2), \dots, (\lambda_k, \alpha_k)$, with $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k \geq 0$, be the eigenvalue/eigenvector pairs of the covariance matrix of vector \mathbf{X} . The i th principal component of covariance matrix is given below:

$$Y_i = \alpha_i' \mathbf{X} = \alpha_{i1}X_1 + \alpha_{i2}X_2 + \dots + \alpha_{ip}X_p, \quad i = 1, 2, \dots, p. \quad \text{Eq. (8)}$$

That is, the covariates generated by the PCA are linear combinations of the original variables. As mentioned before, the use of PCA requires attention regarding the covariates that are correlated in time (serial correlation) as it does in the case of air pollutants. The time correlation

of the vector \mathbf{X}' will give PCAs with also serial and cross-correlations variables. In such case, the effect of time correlation in atmospheric pollutants strongly influences the estimates of the principal components, addressing the variability of the data for the first component (Zamprogno, 2013). For example, if the series are in non-stationary region (unit root), the traditional PCA tends to provide a few dominating linear combinations. It is then not surprising to see that a small number of components explain a high percent of variations. However, this phenomenon could be misleading in real applications, which is similar to a high R^2 in linear regression when dealing with unit root time series.

One possible approach to avoid this problem is to apply time series model (pre-filter the original series by using a standard linear filter), e.g., a Vector Autoregression Model - VAR (Lutkepohl, 1991) as a way to mitigate the effect of temporal correlation before applying the PCA technique. Therefore, in this work, the VAR filter was utilized in order to remove the temporal correlation of the air pollutant variables followed by the use of PCA and logistic regression model. This issue has been recently discussed in economics related areas (see for example, Hu and Tsay, 2014) as well as in pollution and health issues (Souza, 2014).

Relative Risk

The relative risk (RR) is frequently used in epidemiological studies to measure the impact of atmospheric pollutant concentrations on the health of the exposed population. The RR can be defined as the association that an effect can be occur (annoyance) following a certain exposure to a risk factor, which corresponds to the exposure to particulate material concentration levels in this study. The relative risk is used in data analysis with binary outcomes (0 or 1) as in the case of annoyance. According to Bishop (2007) the relative risk is the result of dividing the probability of the event (being annoyed when exposed – A/B) by the probability of the event (being annoyed when not exposed – A/B^c), i.e.:

$$RR(A, B) = \frac{P(A|B)}{P(A|B^c)} \quad \text{Eq. (9)}$$

According to Baxter (1997), by analogy, the relative risk function at level x_i of the desired pollutant, denoted $RR(x_i)$, is defined as:

$$RR(x) = \frac{E(Y|X = x_i)}{E(Y|X = 0)} \quad \text{Eq. (10)}$$

It is the ratio of the expected number of end points at level x_i of the independent variable to the expected number of end points if the independent variable was 0. For logistic regression, it can be shown that,

$$\widehat{RR}_*(x_i) \approx e^{x_i \widehat{\beta}_{i*}} \quad \text{Eq. (11)}$$

where x is the variation in the pollutant concentrations given by the inter-quartile variation and $\widehat{\beta}_{i*}$ is represented by the equation,

$$\widehat{\beta}_{i*} = \sum_{j=1}^k \alpha_{ij} \widehat{\beta}_j \quad j = 1, 2, \dots, k \quad \text{Eq. (12)}$$

where α_{ij} are the auto vectors by the covariates j ; $\widehat{\beta}_{i*}$ is the estimated coefficient for the i -th principal component that can be found by the Equation (8). Through the coefficient $\widehat{\beta}_{i*}$ it is possible to find the individual contribution of each pollutant for the linear combination in Equations (11) and (12) and it is also possible to estimate the relative risk for each pollutant, as demonstrated by Souza et al. (2013).

In the present study, we are going to investigate the likelihood of perceived annoyance by the population of Vitoria region when exposed to different concentrations levels of the examined pollutants (settled particles, PM₁₀ and TSP monthly mean and PM₁₀ and TSP maxim mean).

3. Results and discussion

The variables of interest in this study is the particulate material measured as SP, PM₁₀ and TSP monthly mean and PM₁₀ and TSP maxim mean. Table 1 presents the descriptive statistics (minimum, maximum, average and standard deviation) of the pollutants measured in the Vitoria region from 2011 to 2014. It is important to observe that the pollutants have different units, therefore it is necessary to consider these differences in estimates of the relative risk for each pollutant.

TABLE 1
DESCRIPTIVE STATISTICS OF POLLUTANTS (JULY 2011 TO NOVEMBER 2014).

Variable	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
<i>Monthly mean</i>				
SP (g/m ² 30 days)	23,002	35,167	28,818	2,962
PM10 (µg/m ³)	33,166	61,167	48,665	7,808
TSP (µg/m ³)	6,267	13,283	9,097	1,680
<i>Monthly maxim</i>				
PM10 (µg/m ³)	28,000	53,000	41,524	5,863
TSP (µg/m ³)	48,000	97,000	69,415	13,327

In the regression model, the annoyance is the dependent variable and the pollutants are the independent variables. Initially, it is noted that the observed pollutants present correlation, this fact can be observed from the correlation matrix presented in Table 2. All forms of particles measure are significant correlated, excepted for the SP and TSP (mean). These results are

indicating that data need to be treated in advance before applying the multiple logistic regression model.

TABLE 2
CORRELATION MATRIX FOR THE ORIGINAL VARIABLES (BEFORE TIME SERIES ANALYSIS)

Variables	SP	PM ₁₀ (mean)	TSP (mean)	PM ₁₀ (maxim)	TSP (maxim)
SP	1.				
PM ₁₀ (mean)	0.424**	1			
TSP (mean)	0.278	0.764**	1		
PM ₁₀ (maxim)	0.409**	0.681**	0.654**	1	
TSP (maxim)	0.342*	0.701**	0.754**	0.772**	1

**p-value=0,01

*p-value=0,05

Figures 2 to 6 show the monthly data time series of each air pollutant (particles deposition rate, monthly averages of PM₁₀ and TSP, monthly maxim averages of PM₁₀ and TSP) from July 2011 to October 2014. It is possible to observe that the series are not stationary and have apparently yearly seasonality; it is seen by the graphs of the sample autocorrelation functions (ACF) and partial correlation (PACF) for each pollutant studied here (Wei, 2006). The ACF provides a measure of the dependence between the observations of the time series at different lags. The PACF provides similar measure of the ACF, however, the PACF does not considers the linear dependence between the intermediate variables. In the following ACF and PACF figures, the series present a significantly correlation if for each lag (x-axis), the value of the corresponding bar (y-axis) is above or below the horizontal dotted blue lines.

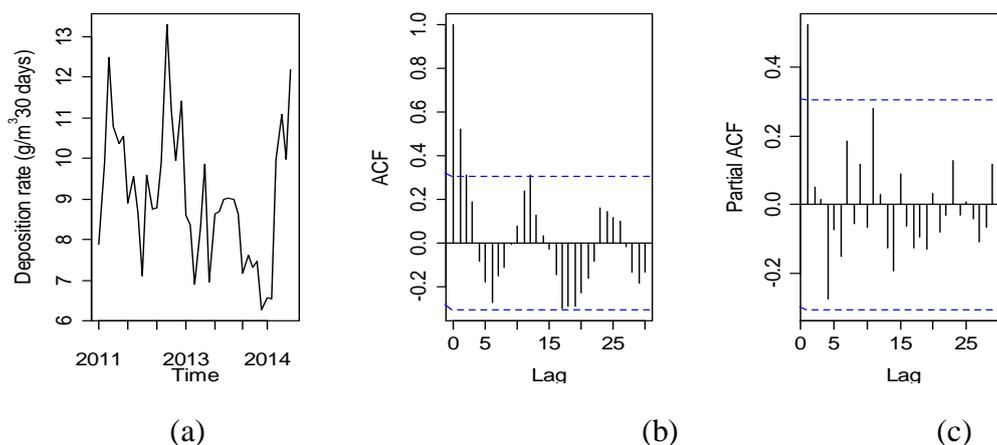


Figure 2 – Time series (a), autocorrelation function (b) and partial autocorrelation function (c) for particles deposition rate from 2011 to 2014.

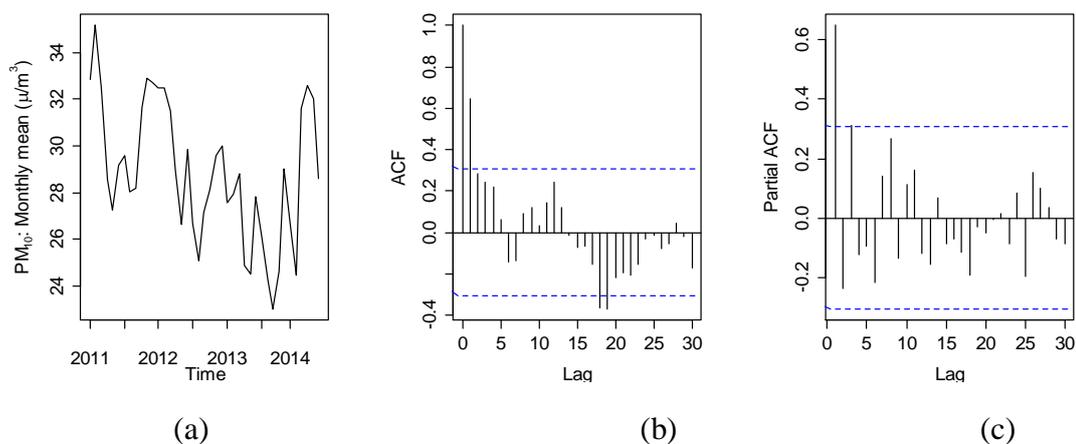


Figure 3- Time series (a), autocorrelation function (b) and partial autocorrelation function (c) for monthly mean concentration of PM₁₀ from 2011 to 2014.

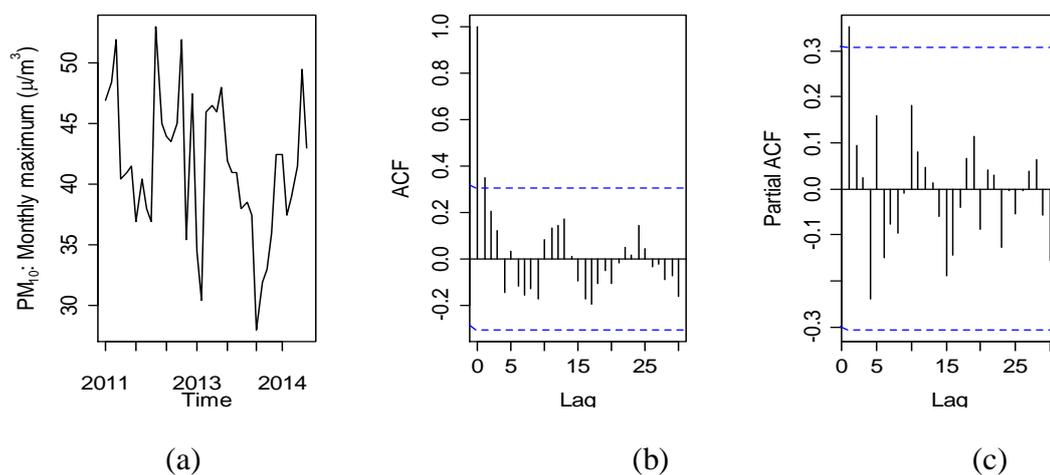


Figure 4- Time series, autocorrelation function and partial autocorrelation function for monthly maximum PM₁₀ concentration from 2011 to 2014.

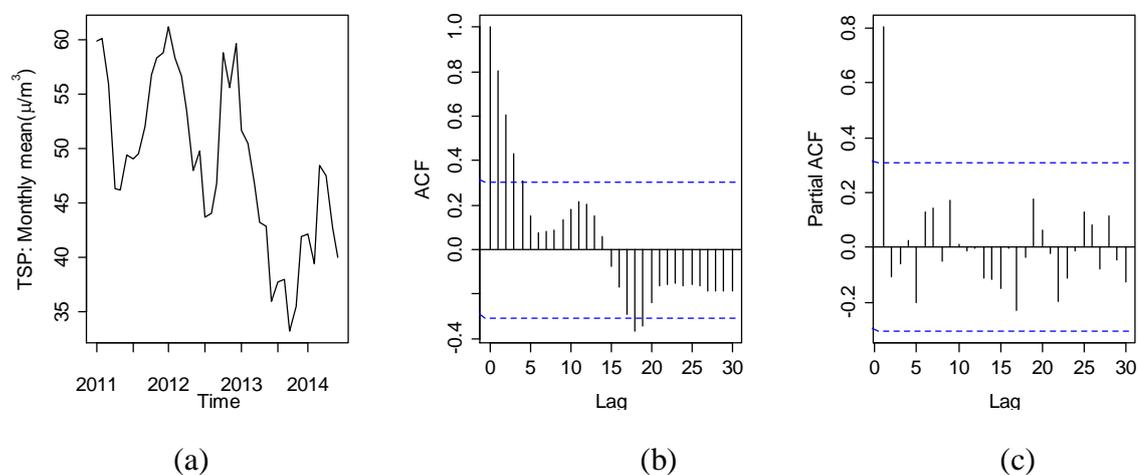


Figure 5- Time series, autocorrelation function and partial autocorrelation function for monthly mean TSP concentration from 2011 to 2014.

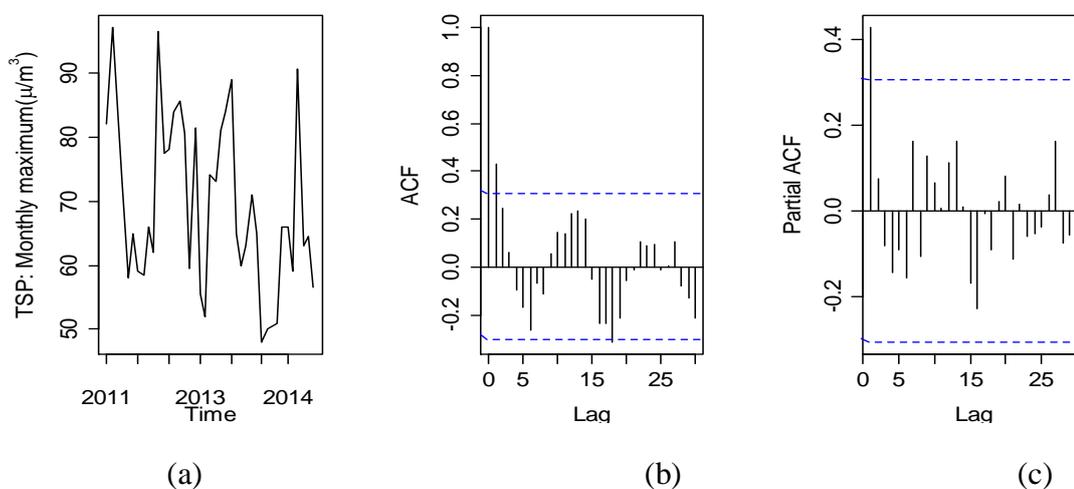


Figure 6- Time series, autocorrelation function and partial autocorrelation function for monthly maximum TSP concentration from 2011 to 2014.

To mitigate the time correlation (serial-correlation) on the previous time series, it is suggested the use of a time series filter as a procedure to transform the data into a “white noise” process. (for details, see Wei, 2006). Figures 7 to 11 show the correlation functions and partial autocorrelation of the residuals after the time series was filtered by a Vector Autoregressive Model of order 1, denoted VAR(1). As one can see, the temporal correlation was removed from the data and the filtered data are behaving similar to a white noise process, that is, they are not time correlated. The use of a multivariate time series filter applied to the covariates before to obtaining the principal components was showed by Zamprogno (2013) as a necessary procedure, and it is one of the steps suggested by the methodology of this work.

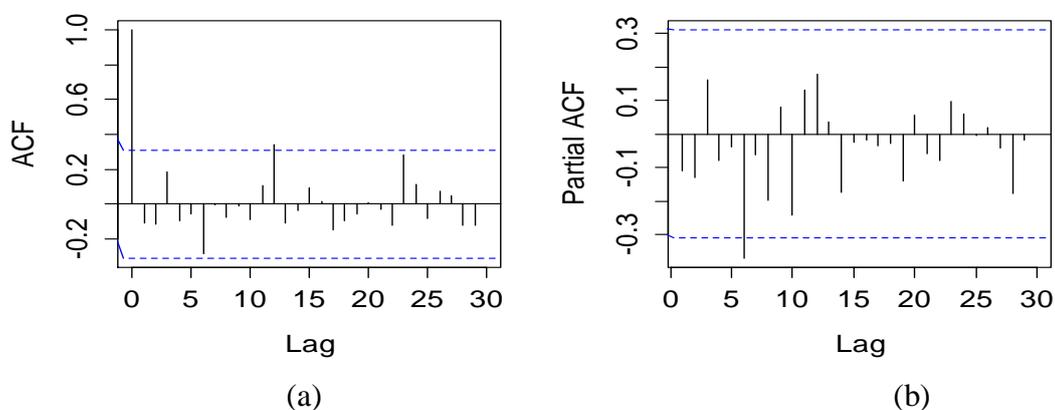


Figure 7 - Autocorrelation function (a) and partial autocorrelation function (b) for particles deposition rate from 2011 to 2014 after filtering.

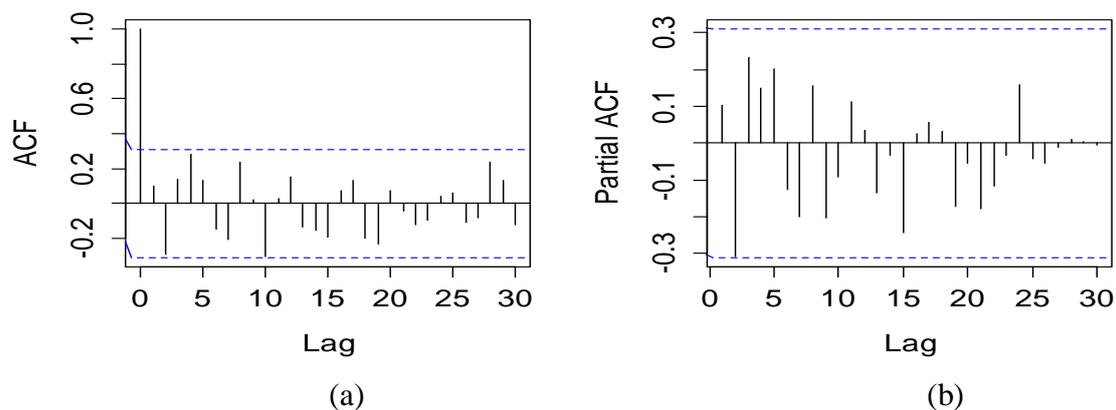


Figure 8- Autocorrelation function (a) and partial autocorrelation function (b) for monthly mean concentration of PM_{10} from 2011 to 2014 after filtering.

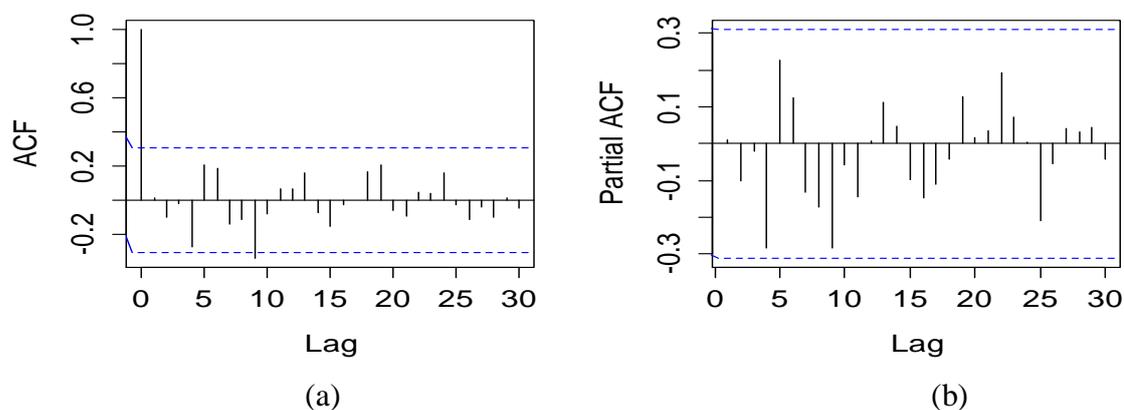


Figure 9- Autocorrelation function (a) and partial autocorrelation function (b) for monthly maximum PM_{10} concentration from 2011 to 2014 after filtering.

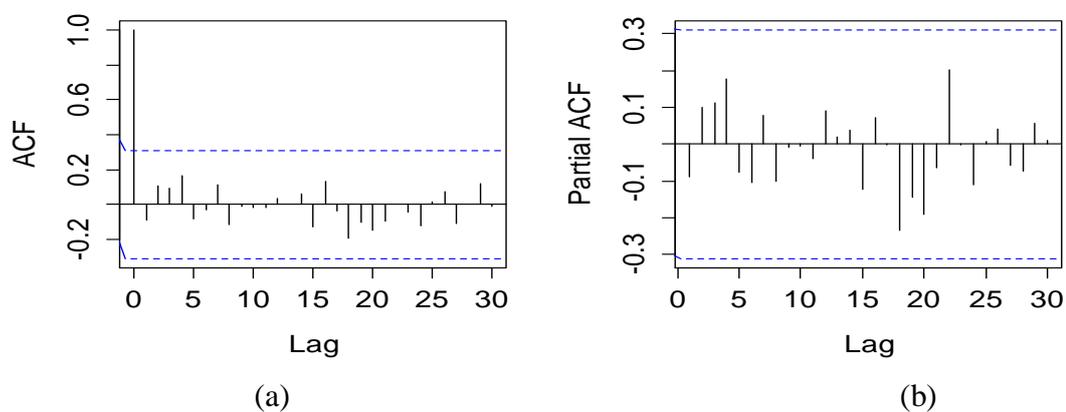


Figure 10- Autocorrelation function (a) and partial autocorrelation function (b) for monthly mean TSP concentration from 2011 to 2014 after filtering.

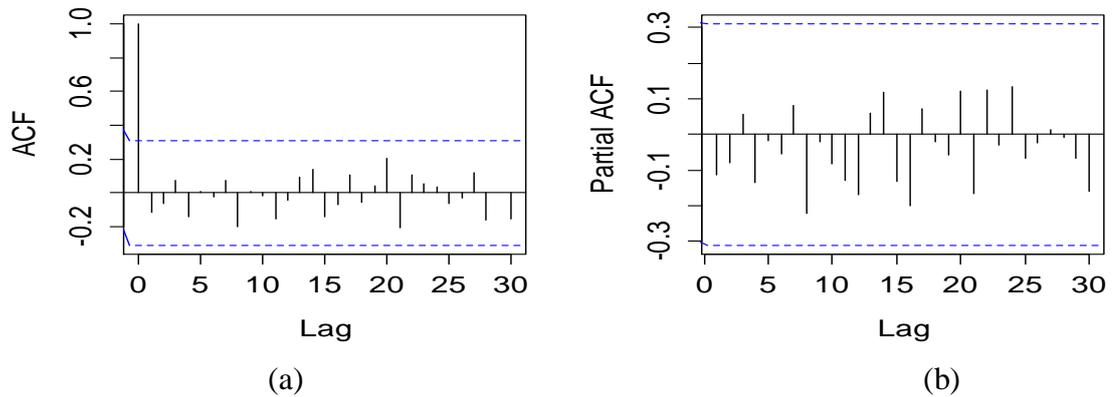


Figure 11- Autocorrelation function (a) and partial autocorrelation function (b) for monthly maximum TSP concentration from 2011 to 2014 after filtering.

Table 3 shows the correlation matrix for the air pollution after apply time series filtering model. A significant correlation between some variables is still observed, indicating the existence of multicollinearity (e.g. cross-correlation between: SP and TSP max, TSP mean and PM₁₀ mean, PM₁₀ max and PM₁₀ mean, TSP max and PM₁₀ mean, PM₁₀ max and TSP mean, TSP max and TSP mean, TSP max and PM₁₀ max). The multicollinearity has a direct impact on the least squares estimation of the regression parameters, causing spurious results. Therefore, the PCA technique is going to be applied at the filtered series in order to avoid the cross-correlation among variables.

TABLE 3
CORRELATION MATRIX FOR THE VARIABLES AFTER APPLYING THE FILTERING MODEL

Variables	SP	PM ₁₀ (mean)	TSP (mean)	PM ₁₀ (maxim)	TSP (maxim)
SP	1,000				
PM ₁₀ (mean)	0,214	1,000			
TSP (mean)	-0,004	,573**	1,000		
PM ₁₀ (maxim)	0,234	,428**	,344*	1,000	
TSP (maxim)	,378*	,533**	,337*	,685**	1,000

**p-value=0,01

*p-value=0,05

Table 4 presents the results of the PCA technique applied at the filtered series. The components (PC1, PC2, PC3, PC4 PC5) are linear combination of the pollutants (SP, PM10 (mean and maxim) and TSP (mean and maxim), whereas the three first components (PC1, PC2 and PC3) explain about 86% of the total variability the original data. Was used the cumulative variance as a criterion for choosing the number of components resultant by the PCA modelling. Thus, the first three components were chosen and for each component (PC1, PC2 and PC3), the cumulative variability values are shown in bold (Cadima and Julliffe, 1995).

TABLE 4
RESULTS OF FACTOR LOADINGS STATISTICS AND APPLICATION OF PCA

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigenvalue	2,576	1,071	0,681	0,396	0,276
Variability (%)	51,528	21,426	13,622	7,913	5,510
Cumulative %	51,528	72,955	86,577	94,490	100,000
SP (monthly rate)	0,267	0,733*	-0,554	-0,269	-0,112
PM ₁₀ (monthly mean)	0,495*	-0,257	-0,365	0,674	-0,319
TSP (monthly mean)	0,400*	-0,583	-0,318	-0,607	0,172
PM ₁₀ (monthly maxim)	0,492*	0,104	0,611*	-0,254	-0,557
TSP (monthly maxim)	0,531*	0,214	0,293	0,200	0,739

The high coefficients (auto vectors) expressed the contributions of each pollutant in the construction of the each principal component. For the PC1 the high contributions are the pollutants, respectively: TSP (monthly maxim), PM₁₀ (monthly mean), PM₁₀ (monthly maxim) and TSP (monthly mean); for the PC2 the high coefficient are the pollutant SP (monthly rate); and for the PC3 are the pollutant PM₁₀ (monthly maxim). In Table the pollutants which give more contribution to the three first components are indicated by (*).

In the multiple logistic regression model the three first principal components (PC1, PC2 and PC3) were used as the covariates and a dichotomised mean of annoyance (annoyance scores ≥ 7 versus < 7) rating of air pollution annoyance was used as the outcome measure. Table 5 displays the estimated parameters (β_1 , β_2 , β_3 and intercept) according to Equation (3). The model have a good fitted, but there is no sense to analyse, individually, each parameters estimated here, they are important to calculate the relative risk shown in Table 6 according Equations 12 e 13.

TABLE 5
PARAMETERS ESTIMATED BY THE MULTIPLE LOGISTIC MODEL ESTIMATED FOR THE FIRST THREE COMPONENTS

	β	Standard error	Exp(β)
PC1	0,053	0,202	1,054
PC2	0,058	0,309	1,060
PC3	-0,245	0,390	0,783
Intercept	0,204	0,320	-

The relative risk (RR) of annoyance results were expressed by the interquartile variation range, since the RR analysis was performed for different levels of pollutants concentrations. The results show that for all air pollutants the RR of annoyance are significant. According to Table

6, the RR of annoyance estimated for the pollutant Settled Particles (SP) increases approximately by a factor of 1.5 considering the interquartile variation equal to 2g/m^2 30 days. For the pollutant PM_{10} (monthly mean) the RR increases by a factor of 1.6 considering the interquartile variation equal to $5\mu\text{g/m}^3$. For the pollutant TSP (monthly mean) the RR increases by a factor of 2.2 when exposed to the interquartile variation equal to $13\mu\text{g/m}^3$. For the PM_{10} (monthly maxim) the RR increases by a factor of 2.4 considering the interquartile variation equal to $8\mu\text{g/m}^3$. Finally, for the TSP (monthly maxim) the RR estimated increase by a factor equal to 1.8 considering the interquartile variation equal to $20\mu\text{g/m}^3$. The estimated intervals of confidence were calculated based on central limit theorem as showed by Souza et al. (2013). The RR values means that all pollutants contributes significantly for increase the probability of being annoyed with 95% of confidence. The less difference observed between the upper and the lower limit (Dif IC) refers to the pollutant SP, confirming to be as accurate RR value from all pollutants.

TABLE 6
THE MODEL ESTIMATED BY THE LOGISTIC REGRESSION

Pollutants	RR	IC (95%)	Dif IC
SP	1.462	(1.070; 1.854)	0,784
PM_{10} (monthly mean)	1.649	(1.061; 2.237)	1,176
TSP (monthly mean)	2.181	(1.471; 2.891)	1,42
PM_{10} (monthly maxim)	2.411	(1.401; 3.421)	2,02
TSP (monthly maxim)	1.822	(0.592; 3.052)	2,46

4. Conclusion

This study proposes the application of multivariate statistical techniques (principal component analysis and logistic regression) to estimate the effect between exposure to particulate material concentrations (SP, PM_{10} and TSP) and response of the population, as measured by their perceived annoyance levels.

In order to analyse the combined effect of different measures of particulate material was proposed the multiple logistic modelling. However, to satisfy the presupposed of independence by the regression model regression model it is important to solve the multicollinearity problem, generally common in air pollutants variables.

The descriptive and graphical analysis motivated the use of the PCA technique for the air pollutant data, by the initial indication of cross correlation between covariates (pollutants). The problem was that the components obtained by the PCA can also present autocorrelation (serial correlation), which are transferred to the residuals of the fitted model. Therefore, a time series model was adjusted to transform the original time series of air pollutants, resulting in time

uncorrelated data (white noise) before the applying of the PCA technique. By the filtering analysis (VAR (1)) and PCA technique, was possible to obtain components (linear combination of air pollutants) which are not autocorrelated (time correlated series data) and not cross-correlated (no-multicollinearity).

The logistic regression model was applied by the degree of annoyance as a dependent variable and the air pollutants as covariates. The PCA technique built a set of variables which that are linearly uncorrelated and the times series model (VAR-1) produce a set of variables without time correlation. Moreover, by the methodology developed as a differential scientific of this study, by the combination of statistical techniques proposed (VAR-PCA-LOG), to be possible analysed the combined effect of particulate material and finally calculate the relative risk of annoyance for each original air pollutants.

The relative risk (RR) provide data on the strength of association between the risk factor (air pollution) in the study and the outcome (annoyance). In this context, the estimates relative risk showed that, in general, an increase in air pollutant concentrations (i.e., the particulate matter metrics examined here: TSP, PM₁₀ and SP) significantly contributes in increasing the probability of being annoyed. For example, for the settled particles (SP), the estimated relative risks increased the probability of annoyance by a factor of 1.5. For the other pollutants the relative risk varied from 1.6 (PM₁₀ mean) to 2.4 (PM₁₀ maxim) and from 1.8 (TSP mean) to 2.2. (TSP maxim). Thus, as in the cases of health outcomes the relative risk proved to be a useful measure to better understand the main cause of annoyance due to air pollution. By calculating the difference between the upper and lower limit of the confidence intervals, it was possible to verify that the value more accurate of the RR refers to the settled particles.

These results may help policymakers understand the need for development programs aimed to make the residents in local neighbourhoods aware of sources of particulate material, related to annoyance and health risks. The environmental management authorities need to direct effort on risk communication strategies to motivate personal direct perception and awareness of an environmental problem such as annoyance caused by particulate material. This approach enhances the individual's understanding of the importance of environmental policy measures, and consequently prioritization of define or revise legal limits measures to this region for reducing emissions of particulate matter, primarily for settled particles.

In summary, the results obtained in this study provide evidence of a significant correlation between particulate matter and perceived annoyance levels, also indicating that, at least for particulate matter, perceived annoyance is not related only to one pollutant but to a group of pollutant metrics together. In future work, PCA should be used to analyses with others

pollutants. Other methodologies, such as bootstrap techniques, could also be used to estimate the confidence intervals more precisely, and GLARMA modelling could be used to solve the data serial autocorrelation problem.

5. References

- Abraham B. & Ledolter J. *Introduction to Regression Modeling*. Thomson Brooks/Cole, 2006
- Amundsen A.H., Klæboe R. & Fyhri A. (2008). Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for Norway. *Atmospheric Environment*, 42, 679–688.
- Bishop, Y., Fienberg, S., Holland, P. (2007). *Discrete multivariate analysis: theory and practice*. Cambridge: MIT, 575 p.
- Baxter L., Finch S., Lipfert F., and Yu Q. (1997). Comparing estimates of the effects of air pollution on human mortality obtained using different regression methodologies. *Risk Analysis*, 17, 273–278.
- Blanes-Vidal, V., Suh H., Nadimi E. S., Løfstrøm P., Ellermann T., Andersen H. V., Schwartz J., (2011) Residential exposure to outdoor air pollution from livestock operations and perceived annoyance among citizens. *Environment International*, 40, 44–50.
- Brunekreef, B., Forsberg, B., 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *European Respiratory Journal*, 26, 309–318.
- Cadima J., Julliffe I.T. (1995). Loadings and correlations in the interpretation of principal components. *Journal of Applied Statistics*, 22(2), 203–214.
- Cox, L. (2000). Statistical issues in the study of air pollution involving airborne particulate matter. *Environmetrics* 11, 611–626.
- Dockery, D.W. and Pope, C.A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*, 15, 107–132.
- Gouveia, N., Bremner, S.A., Novaes, H.M. (2004). Association between ambient air pollution and birth weight in São Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58, 11–17.
- INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória. Acordo de Cooperação Técnica IEMA-ECOSOFT. Vitória, 2011a. Disponível em www.iema.gov.br.
- Jacquemin B., Sunyer J., Forsberg B., Gotschi T., Oglesby L., Ackermann-Lieblich U., De Marco R., Heinrich J., Jarvis D., Toren K., Kunzli N. 2007. Annoyance due to air pollution in Europe. *International Journal of Epidemiology*, 36, 809–820.
- Johnson, R.A., Wichern, D.W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis*. 6th edition. Prentice Hall, New Jersey, 800 p.
- Kim K-H., Kabir E., Kabir S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136–143.
- Klæboe, R., Kolbenstvedt, M., Clench-Aas, J., Bartonova, A. (2000). Oslo traffic study - part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. *Atmospheric Environment*, 34, 4727–4736.
- Klæboe R., Öhrström E., Turunen-Rise I., Bendsten H., Nykänen H. (2003). Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part III: towards a common methodology for socio-vibrational surveys. *Applied Acoustics*, 64, 111–120.
- Klæboe, R., Amundsen A.H., Fyhri A. (2008). Annoyance from vehicular air pollution: A comparison of European exposure–response relationships. *Atmospheric Environment*, 42, 7689–7694.

- Hu Y-P., Tsay R.S. (2014) Principal Volatility Component Analysis. *Journal of Business and Economic Statistics*, 32(2), 153-164.
- Llop S., Ballester F., Estarlich M., Esplugues A., Fernández-Patier R., Ramón R., Marco A., Aguirre A., Sunyer J., Iñiguez C., on behalf of INMA-Valencia cohort (2008). Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women. *Atmospheric Environment*, 42, 2982-2992.
- Lutkepohl, H. (1991). *Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer-Verlag, Berlin.
- Majewski G., Czechowski P.O., Badyda A., Brandyk A.(2014) Effect of air pollution on visibility in urban conditions. Warsaw case study. *Environmental protection Engineering* Vol.40.
- Mustapha B. A., Blangiardo M., Briggs D.J., Hansell A.L. (2011) Traffic air pollution and other risk factor for respiratory illness in schoolchildren in the Niger-Delta Region of Nigeria. *Environ Health Perspect* 119: 1478-1482.
- Nikolopoulou M., Kleissl J., Linden P.F., Lykoudis S. (2011). Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution. *Science of the Total Environment*, 409(13), 2493-202.
- Nordin S., Lidén E. (2006). Environmental odor annoyance from air pollution from steel industry and bio-fuel processing. *Journal of Environmental Psychology*, 26, 141–145.
- Oglesby, L.; Kunzli, N.; Monn, C.; Schindler, C.; Ackermann-Liebrich, U.; Leuenberger, P. (2000). Validity of annoyance scores for estimation of long term air pollution exposure in epidemiologic studies: The Swiss study on air pollution and lung diseases in adults (SAPALDIA). *American Journal of Epidemiology*, 152, 75–83.
- Rotko T., Oglesby L., Kunzli N., Carrer P., Nieuwenhuijsen M.J., Jantunen M. (2002) Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM2.5, NO2) concentrations in the European EXPOLIS study. *Atmospheric Environment*, 36, 4593–4602.
- Stenlund, T.; LIDÉN, E.; Anderson, K.; Garvill, J.; Nordin, S. Annoyance and health symptoms and their influencing factors: A population-based air pollution intervention study. *Public Health*. Vol. 123, p. 339-345, 2009.
- Schwartz, J. (2000). Harvesting and long term exposure effects in the relationship between air pollution and mortality. *American Journal of Epidemiology*, 151(5), 440- 448.
- Souza J.B., Reisen V.A., Santos J.M. Franco G.C. (2014). Componentes principais e modelagem linear generalizada na associação entre atendimento hospitalar e poluição do ar. *Rev Saúde Pública*, 48(3), 451-458.
- Souza J.B. *Análise de Componentes Principais e a Modelagem Linear Generalizada: uma associação entre o número de atendimentos hospitalares por causas respiratórias e a qualidade do ar, na Região da Grande Vitória ES*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.
- Souza, L. B. *Estudo de correlação entre a percepção do incômodo causado pelas partículas sedimentadas e os níveis de concentração na atmosfera em uma região impactada*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
- Wang, Y., Pham, H. (2011). Analyzing the effects of air pollution and mortality by generalized additive models with robust principal components. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2, 253- 259.
- Wei, W.W.S. (2006). *Time series analysis: Univariate and Multivariate Methods*. Pearson Addison Wesley.
- WHO (1987). *Air quality guidelines for Europe, No 23*. Copenhagen: WHO Regional Publications, European Series.

WHO (1946). Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide. Global update 2005. Summary of Risk Assessment. Geneva, 2006.

Zamprogno, B. (2013). Análise de componentes principais no domínio do tempo e suas implicações em dados autocorrelacionados. PHD Thesis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico, UFES, Vitoria, Brasil.

6. Conclusão

Esta tese teve como objetivo geral investigar e quantificar o incômodo causado pela poluição do ar à população residente em regiões metropolitanas industrializadas para correlacionar com níveis de concentração de material particulado medidos em estações de monitoramento da qualidade do ar.

A pesquisa iniciou-se por meio de um projeto de cooperação científica entre duas cidades (consideradas irmãs): Dunkerque, na França, e Vitória, no Brasil, que possuem algumas características semelhantes (áreas urbanas, industrializadas, localizadas no litoral, com porto e fontes de poluição do ar) além de vivenciarem o problema da poluição do ar no dia a dia das populações. A partir de um questionário desenvolvido e aplicado na Communauté Urbaine de Dunkerque (CUD) no ano de 2008, foi traduzido e adaptado o instrumento de coleta de dados para pesquisa de opinião face a face conduzidas em quatro municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) nos anos de 2011, 2012 e 2013, além de um questionário destinado à pesquisa de opinião por telefone (painel) sobre a percepção mensal do incômodo causado por poeira.

Foi proposta uma análise comparativa entre os resultados encontrados na pesquisa de opinião face a face realizada na RMGV, em 2011, com os dados da pesquisa realizada na CUD em 2008. Tal análise teve o objetivo de investigar e comparar os níveis de incômodo percebidos pelos participantes das duas regiões considerando as diferenças culturais, climáticas e geográficas. Os resultados obtidos mostram que, em ambas regiões, a maioria dos entrevistados reportaram sentir-se incomodados com a poluição do ar e atribuíram à poeira a principal forma de poluição percebida. Ao comparar a poluição do ar em ambas as regiões, observa-se que as concentrações de PM10 são elevadas, principalmente na RMGV, mas ao considerar as diferenças climáticas entre elas, há indicações de que o incômodo percebido pode ser influenciado pelas condições atmosféricas, especialmente na CUD onde os respondentes consideram o verão a época em que a poluição do ar é pior, o que está de acordo com as elevadas taxas de deposição de partículas. Constatou-se ainda, que a poluição do ar percebida influencia no bem estar e na qualidade de vida, pois foi comprovada a influência das seguintes variáveis na percepção dos níveis de incômodo: importância declarada da qualidade do ar, percepção do risco industrial e percepção da poluição por poeira. Algumas diferenças encontradas entre as amostras da CUD e da RMGV como, por exemplo, frequência de ocorrência de problemas de

saúde, gênero feminino e idade, indicam que a percepção do incômodo, em geral, depende de características do local, nível social, cultural e econômico da população.

A fim de aprofundar a análise do incômodo percebido, foi realizada uma análise multivariada das variáveis qualitativas observadas nas pesquisas de opinião face a face, conduzidas na CUD e RMGV, por meio da aplicação da técnica denominada análise de correspondência múltipla (ACM). Além de reforçar os resultados encontrados no Artigo 1, por meio das ACM's é possível constatar que outras variáveis também estão associadas à percepção do incômodo. Por exemplo, a avaliação da qualidade do ar, gênero feminino, faixa etária, ocorrência de problemas de saúde, influência de mudança das condições meteorológicas, estações do ano, tipos de fontes de poluição e o local de residência dos respondentes. Os resultados mostram também que a percepção do incômodo causado pela poluição do ar depende da identificação e predominância das fontes de poluição do ar, que se diferem entre as duas regiões estudadas. Como conclusão, a Análise de Correspondência Múltipla é uma ferramenta muito útil e proporciona uma visão global das variáveis ambientais que afetam a percepção do incômodo causado pela poluição do ar. Além disso a aplicação da ACM em problemas práticos sobre poluição do ar pode complementar as análises sobre a percepção da qualidade do ar a fim de minimizar a ocorrência de reclamações e contribuir para a melhoria da qualidade de vida de populações em regiões urbanas industrializadas.

Diante da especificidade do problema do incômodo rotineiramente manifestado pela população da RMGV, esta tese propõe comparar se a opinião dos respondentes sobre a percepção do incômodo muda conforme a época do ano, por exemplo no inverno e no verão, entretanto, não foi observada diferença significativa. Mas, foi constatada diferenças entre as sub-regiões estudadas separadamente, tanto no que se refere à resposta dada aos níveis de incômodo (relatados nas pesquisas de opinião face a face) quanto aos níveis de concentração de PM_{10} e PTS medidos nas diferentes estações da qualidade do ar. Os resultados, por cada sub-região da RMGV, demonstram que os maiores percentuais de respondentes extremamente incomodados com a poluição do ar são residentes nas sub-regiões em torno das estações em Jardim Camburi e Enseada do Suá. Foi comprovado também que os maiores percentuais de indivíduos que consideram a qualidade do ar extremamente importante e extremamente expostos ao risco da poluição do ar são residentes nas sub-regiões em torno das estações em Jardim Camburi e Enseada do Suá. Estes resultados foram explicados pelo perfil dos respondentes, principalmente faixa etária e nível de escolaridade, uma vez que não foi observado os maiores níveis de

concentração de PM_{10} e PTS nessas regiões. Tais resultados indicam que o incômodo está mais relacionado com a poluição do ar percebida em função da localização do que propriamente com a concentração de PM_{10} e PTS medidas nas estações. Tal indicativa pode ser reforçada pelos resultados adicionais observados em todas as sub-regiões da RMGV avaliadas, isto é, entre as possíveis formas de percepção da poluição do ar a mais frequentemente percebida pela maioria dos respondentes foi a presença de poeira. Sobre as consequências da percepção da poeira na qualidade de vida, a maioria dos respondentes afirma que precisam limpar a casa frequentemente para retirada poeira e manter as janelas e portas sempre fechadas para evitar a sua entrada. E ainda, a maior parte dos respondentes percebe que a quantidade de poeira é maior no verão, dias ensolarados, e durante o dia.

Sobre a percepção das fontes predominantes aonde residem ou trabalham, observa-se diferenças relevantes entre os participantes de cada sub-região. Isto é, os respondentes das sub-regiões em torno de Jardim Camburi, Enseada do Suá, Carapina e Laranjeiras identificam a fonte industrial como principal fonte de poluição do ar. Os respondentes em torno de Vitória-Centro, Ibes e Cariacica identificam a fonte veicular. As fontes construção civil e suspensão do solo também foram citadas pelos respondentes em torno de Laranjeiras, Carapina, Vitória-Centro, Ibes, Vila Velha-centro e Cariacica. Estes resultados demonstram que a população é consciente sobre a predominância das fontes de poluição do ar na região em que residem ou trabalham.

Sobre os possíveis benefícios e os malefícios proporcionados pelas indústrias instaladas na RMGV observa-se os respondentes reconhecem ambos (benefícios e malefícios). Mas, ao comparar todas as opções de benefícios e malefícios, em termos percentuais observa-se que o percentual de todos os benefícios é superior ao percentual de todos os malefícios. Tal resultado comprova que a população tem consciência e conhecimento sobre os prós e contras trazidos pelas indústrias, e que, embora incomodados com a poluição do ar e embora reconheçam a contribuição da fonte industrial para a poluição do ar, os respondentes reconhecem os benefícios trazidos pelas sob a ótica da geração de emprego, do desenvolvimento e economia da região.

A maioria dos respondentes afirma desconhecer ou nunca ter acesso a informações sobre a qualidade do ar na RMGV e não sabe qual é o órgão responsável pela divulgação da qualidade do ar. Este resultado sugere que a falta de conhecimento sobre os índices de qualidade do ar pode contribuir para os relatos/ reclamações sobre incômodo causado pela poluição do ar por parte da população. Além de apresentar a necessidade de melhorar e aumentar os veículos de

divulgação dos índices de qualidade do ar, bem como do papel e atribuições do órgão responsável pela gestão da qualidade do ar na RMGV.

Os dados da percepção do incômodo causado pela poluição do ar (pergunta geral, sem considerar o tempo ou especificar a forma de poluição) obtidos nas pesquisas face a face foram correlacionados (por meio da regressão logística) com a concentração média diária de 30 dias de PM_{10} e PTS, para cada sub-região de estudo e para toda a RMGV, embora tenha-se identificado diferenças significativas entre as sub-regiões. As curvas estimadas mostram que, na maioria, mesmo não expostos à qualquer valor de concentração de PM_{10} ou PTS há probabilidade de manifestação de incômodo. A partir de tais resultados é possível concluir que o incômodo relatado está muito mais relacionado com a poluição percebida pela poeira depositada ao limpar a casa, ou por deixar as janelas abertas (como já foi mostrado) do que com os níveis de concentração de PM_{10} e PTS medidos nas estações.

Este estudo propôs uma metodologia com fins à definição de diretrizes para o incômodo associado às partículas sedimentadas (em termos da massa de partículas sedimentadas por unidade de área por 30 dias). A proposta é inicialmente fundamentada no estudo de Vallack e Shillito (1998), que por meio do cálculo dos percentis 90% e 95% das partículas sedimentadas, é sugerido estimar a probabilidade de reclamações sobre incômodo. Os resultados da aplicação do referido método mostram que, com base no valor do 90% percentil, o valor limite aceitável no município da Serra seria 15 g/(m² 30 dias), em Vitória 9 g/(m² 30 dias), em Vila Velha 9 g/(m² 30 dias) e em Cariacica 13 g/(m² 30 dias). Ao considerar os valores do percentil 90% encontrados para todas as sub-regiões, o valor mais restritivo a ser adotado como limite aceitável seria 9 g/(m² 30 dias) para RMGV. Assim, conforme a metodologia (que não considera a opinião da população estudada), é possível afirmar que nos meses em que forem registrados valores inferiores a 9 g/(m² 30 dias) é improvável que haja reclamações na região sobre incômodo causado por partículas sedimentadas.

A presente tese apresenta uma proposta de construção de um guia que contempla a participação da população local por meio de pesquisa de opinião face a face e por telefone (painel), como diferencial para definição de diretriz de qualidade do ar para o incômodo causado por poeira. Especificamente os resultados da pesquisa por telefone, realizada mensalmente, sobre as notas atribuídas ao incômodo foram correlacionadas com as taxas mensais de deposição de partículas por meio do modelo de regressão logística. Sendo assim, foi possível estimar a probabilidade

de indivíduos incomodados, quando expostos a níveis gradativos da taxa de deposição de partículas sedimentadas para cada sub-região e para toda a RMGV. Tais resultados revelam que, para a taxa de deposição de partículas igual a 5 g/(m² 30 dias), a probabilidade estimada da população incomodada varia de 8% em Jardim Camburi a 28% em Vitória-Centro e para uma taxa de deposição de partículas igual a 10 g/(m² 30 dias) a probabilidade estimada de indivíduos incomodados varia de 61% em Laranjeiras e Enseada do Suá a 99% em Jardim Camburi. Ao considerar o padrão estadual vigente na RMGV igual a 14 g/(m² 30 dias), a probabilidade estimada de indivíduos incomodados ultrapassa 90% em todas as sub-regiões. Ao considerar todas as sub-regiões juntas, foi possível estimar os parâmetros para o modelo da RGV, constatando-se que para a taxa de deposição iguais a 5 e 10 g/(m² 30 dias), as probabilidades estimadas da população relatar incômodo é de 26% e 74%, respectivamente.

Portanto, a metodologia proposta é útil para definição de diretrizes de qualidade do ar para o incômodo causado por partículas sedimentadas. Tais diretrizes têm o propósito de apoiar ações para promover a melhoria da saúde, bem estar, e qualidade de vida da população que vivencia o problema. Vale ressaltar que, para definição de padrões de qualidade do ar (os quais a definição é de responsabilidade do município, estado ou país) como valores limites legais de determinados poluentes atmosféricos, deve ser considerado, além dos riscos à saúde, bem estar e qualidade de vida, a viabilidade econômica e tecnológica, além do contexto político e social, que dependem, entre outros fatores, do nível de desenvolvimento local e da capacidade de gestão e gerenciamento da qualidade do ar. Assim, aos órgãos responsáveis pela tomada de decisão fica explícita a importância de avaliar cuidadosamente as circunstâncias locais, antes de adotar diretamente as diretrizes recomendadas neste trabalho como metas intermediárias e padrão final de qualidade do ar para as partículas sedimentadas.

A última contribuição da presente tese é analisar o efeito combinado de diferentes formas do material particulado PS e PM₁₀, PTS, (médias mensais e máximas médias de 24h) considerando as características de autocorrelação temporal e intercorrelação das covariáveis. Os resultados mostram presença de estrutura de autocorrelação significativa nas séries temporais e intercorrelação entre as covariáveis (poluentes estudados). A autocorrelação temporal é tratada por meio da aplicação de modelos de séries temporais, de forma a garantir os pressupostos básicos do modelo de regressão, e a intercorrelação entre as covariáveis é solucionada com a aplicação da técnica análise de componentes principais, que culmina no modelo híbrido de regressão logística com PCA.

A partir dos coeficientes estimados no modelo de regressão logística foi possível calcular os valores dos riscos relativos (RR) de incômodo para cada fração do material particulado avaliada. Os resultados mostram que o RR varia aproximadamente de 1,5 para PS a 2,4 para o MP_{10} (máxima mensal) na RMGV, o que comprova, portanto, que a concentração de MP_{10} , PTS e a taxa de PS constituem risco de manifestação de incômodo por parte da população.

7. Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros recomenda-se aprofundar as análises e incluir novas técnicas e ferramentas como por exemplo:

- ✓ Detalhar a relação entre as variáveis qualitativas e os níveis de incômodo relatados pelos respondentes em cada sub-região da RMGV por meio da técnica de análise de correspondência múltipla (ACM).
- ✓ Modelar a relação múltipla entre o incômodo, poluentes atmosféricos além de incluir as variáveis determinantes identificadas nas análises da ACM.
- ✓ Analisar as especificidades econômicas e sociais, bem como casos de ocorrência de doenças que possam ser associadas aos níveis de concentração de material particulado de diversas granulometrias.
- ✓ Modelar a relação multivariada entre o incômodo e outros poluentes monitorados nas estações da RMGV.
- ✓ Avaliar o incômodo causado por odour em regiões críticas como, por exemplo, no município de Vila Velha.
- ✓ Utilizar a técnica *bootstrap*, ou outras, para estimar os intervalos de confiança mais precisos dos resultados obtidos com a utilização conjunta do modelo de regressão logística e da técnica de análise de componentes principais.

8. Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - **NBR 3402**: Atmosfera - determinação da taxa de poeira sedimentável total. Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ABRAHAM, B.; LEDOLTER, J. **Introduction to regression modeling**. Belmont/CA: Thomson Brooks/Cole, 2006.
- AGRESTI, A. **Categorical data analysis**. New York: John Wiley, 1990.
- ALVES, M. R. Estudo do fluxo de deposição de partículas para a Região Metropolitana da Grande Vitória usando dados de PTS, 2011. 144 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2011.
- ALVES, M. R.; TRINDADE, C. C.; QUEIROZ, S. Q.; MATHIAS S. M. H.; ENTRINGER, S. M. J. **Análise da percepção ambiental da população da Grande Vitória à poeira sedimentável**. In: VIII SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – SIBESA. Fortaleza/CE – Brasil. Resumo dos trabalhos técnicos “Mudanças globais: desafios para o saneamento ambiental”. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.339, 2006.
- AMUNDSEN, A. H.; KLÆBOE, R.; FYHRI, A. Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for Norway. **Atmospheric Environment**. Elsevier Science, v.42, p.7679–88, 2008.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **D 1739**: Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), American Society for Testing and Material. West Conshohocken, PA: ASTM, 1998.
- BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 7.ed. Florianópolis: UFSC, 2008.
- BARNETT, V. **Sample survey principles and methods**. 3.ed. London: Arnold. 1991.
- BAXTER, L.; FINCH, S.; LIPFERT, F.; YU, Q. Comparing estimates of the effects of air pollution on human mortality obtained using different regression methodologies. **Risk Analysis**. 17(3), p.273–278, 1997.
- BERGLUND B, BERGLUND U, LINDVALL T. Measurement and control of annoyance. In: KOELGA, H.S. **Environmental annoyance**: characterization, measurement and control. Amsterdam: Elsevier Science, p.29-43, 1987.
- BRAGA L. F.; PEREIRA, L. A. A.; PROCÓPIO, M.; ANDRÉ, P. A.; SALDIVA, P. H. N. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v. 23, suppl. 4, Rio de Janeiro, 2007.
- BÜCHER, A. Recherches sur les poussières minérales d’origine saharienne. 1986. **Tese de PhD**. Universidade de Reims—Champagne-Ardenne, França, 1986.

BUSSAB, W. M.; MORETTIN, P. A. Estatística básica. 6.ed. São Paulo, Saraiva, 2010.

CALVO-MENDIETA, I.; FLAQUART, H.; FRERE, S.; GONTHIER, F.; HELLEQUIN, A. P.; LE BLANC, A. **Perception du risque industriel par les populations du Dunkerquois. Rapport intermédiaire. Contrat de recherche pour la “Fondation pour une Culture de la Sécurité Industrielle”** (FonCSI). Dunkerque, 2008.

CARLSSON, F.; KARLSSON, B.; RBAEK, P.; STERBERG, K.; OSTERGREN, P. O. Prevalance of annoyance attributed to electrical equipment and smells in a Swedish population, and relationship with subjective health and daily function. **Public Health**. Elsevier, 119(7):568–77, 2005.

CHAMBERLAIN, A. C. Transport of lycopodium spores and other small particles to rough surfaces. In: **Proceedings of the Royal Society of London**. A. 296, p. 45-70, 1967.

CHEN R. J.; CHU C.; TAN, J.; CAO, J.; SONG, W.; XU, X. JIANG, C.; MA, W. YANG, C.; CHEN, B.; GUI, Y.; KAN, H. Ambient air pollution and hospital admission in Shanghai, China. **Journal of Hazardous Materials**. Elsevier, v.181, Issues 1–3, p. 234–240, 2010.

CLEMENTS, T; STONE, R. O; MANN, J. F; EYMAN, J. L. A study of windborne sand and dust in desert areas. U.S. Army, Natick Laboratories Mass. **Earth Science Division**. Technical Report ES-8, Project Ref. 7x83-01-008, 1963.

CLOUGH, W. S. The deposition of particles on moss and grass surfaces. **Atmospheric Environment**. Elsevier, v.9, p. 1113-1119, 1975.

COLLS, J. **Air Pollution**. 2.ed. New York/USA: SPON Press Taylor & Francis Group, 2002.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 03**. Brasília: CONAMA, 1990.

CONNER, L.; WILLIAMS, W. Identification of possible sources of particulate matter in the personal cloud using SEM/EDX. **Atmospheric Environment**, Elsevier, v.38, p.5305-10, 2004.

CONTI, M. M. Caracterização química e morfológica de partículas sedimentadas na região metropolitana da grande Vitória-E.S. **Tese** (Doutorado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória/ES, 2013.

CONTI, M. M.; MENEGUSSI, L.R.; REIS, N.C., SANTOS, J.M.; SILVA, F.J.; SCANDIAN, C. **Chemical and morphological characterization of dustfall (dry deposition) in Vitória-ES Brazil**. In: EUROPEAN AEROSOL CONFERENCE. Karlsruhe/Germany, 2009.

CONSELHO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS -COPAM. **Deliberação Normativa Nº 01** de 26 de maio de 1981. Conselho Estadual de Proteção Ambiental do Estado de Minas Gerais/Brasil, 1981.

DASCH, J. M. Direct measurement of Dry Deposition to a Polyethylene Bucket and various surrogate surfaces. **Environment Science Technology**, v.19, p. 721-725, 1985.

DAWES, J. G; SLACK, A. Deposition of airborne dust in a wind tunnel. Safety in Mines Research establishment, **Research report**, London: v.105, p. 41, 1954.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto nº 3463-R**, de 16 de dezembro de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Vitória: DOE, 17 dez. 2013.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT NEW YORK/UNITED STATES - DENY (2009). Disponível em: <<http://www.dec.ny.gov/regs/2492.html>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT QUALITY MONTANA-DEQM- Air monitoring, 2005. Montana /USA. Disponível em: <<http://www.deq.state.mt.us/AirMonitoring/citguide/appendixb.html>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

EEK, F.; KARLSON, B.; OSTERBERG, K.; OTERGREN, P. Factors associated with prospective development of environmental annoyance. **Journal of Psychosomatic Research**, Elsevier, n.69, p.9-15, 2010.

EGONDI, T. ; KYOBUTUNGI, C. ; Ng, N. ; MUINDI, K.; OTI, S.; VIJVER, S. V. De ; ETTARH, R. ; ROCKLOV, J. Community perceptions of air pollution and related health risks in Nairobi Slums. **Int. J. Environ. Res. Public Health**. In: <www.mdpi.com/journal/ijerph>, n.10, 4851-68, 2013.

FORSBERG, B., STJERNBERG, N., WALL, S. 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**. PubMed, v.54, 44-48, 1997.

FREITAS, C.; BREMNER, S. A.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista Saúde Pública**. São Paulo, v.38, n.6, 2004.

GOOSSENS, D. Quantification of the dry deposition of dust on horizontal surfaces: an experimental comparison of theory and measurements. **Sedimentology**. No.52, p.859-73, 2005.

GOOSSENS, D. The aeolian dust accumulation curve. **Earth Surface Processes and Landforms**. No.26, Issue 11, p. 1213–19, 2001.

GOOSSENS, D; OFFER, Z. Y. An evaluation of the efficiency of some eolian dust collectors. **Soil Technology**. No.7, p.25-35, 1994.

GOOSSENS, D; OFFER, Z. Y. ZANGVIL, A. Wind tunnel experiments and field investigations of eolian dust deposition on photovoltaic solar collectors. **Solar Energy**, v.50, p.75-84, 1993.

GREENACRE, M. **Correspondence analysis in practice**, 2.ed. London: Chapman & Hall/CRC, 2007.

GREGORY, P. H. **The microbiology of the atmosphere**. London: Interscience, 1961.

GUTJAHR, M. R.; TARIFA, J. R. Avaliações da qualidade do ar em Paulínia/SP. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS. **Anais** anais do VI Congresso brasileiro de Geógrafos. Goiânia: AGB/UFG. v. 24, n.1-2, 2004.

HALL, D. J; UPTON, S. L. A wind tunnel study of the particle collection efficiency of an inverted Frisbee used as a dust collector. **Atmospheric Environment**, v. 22, p. 1383-1394, 1988.

HALL, D. J; UPTON, S. L. A wind tunnel study of the particle collection efficiency of an inverted Frisbee used as a dust collector. **Atmospheric Environment**, v. 22, p. 1383-1394, 1988.

HALL, D. J; WATERS, R. A. An improved readily available dust gauge. **Atmospheric Environment**, v. 22, p. 1383-1394, 1986.

HALL, D.J; UPTON, S. L; MARSLAND, G. W. Designs for a deposition gauge and a flux gauge for monitoring ambient dust. **Atmospheric Environment**, v. 28, p. 2963-2979, 1994.

HOLGATE, S. T.; SAMET, J. M.; KOREN, H.S; MAYNARD, R. L. **Air Pollution and Health**. 1a. ed. Academic Press. London – UK, 1999.

HOSMER JR, D. W.; LEMESHOW S.; STURDIVANT R. X. **Applied Logistic Regression**. Ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2000.

HU, T.; LI, X.; DONG, J.; RONG, B.; SHEN, Z.; CAO, J.; LEE, S.C.; CHOW, J.C.; WATSON, J.G. Morphology and elemental composition dustfall particles inside emperor Qin's Terra-Cotta warriors and horses museum. **China Particuology**, v. 4, p. 346-351, 2006.

HYSLOP, N.P. Impaired visibility: the air pollution people see. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 182-195, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) – **Censo 2010**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2011.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. **Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória**. Acordo de Cooperação Técnica IEMA-ECOSOFT. Vitória, 2011a. Disponível em www.iema.gov.br.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. **Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado do Espírito Santo**. 2011b. Disponível em www.iema.gov.br.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. **Relatório de Qualidade do Ar da Grande Vitória 2013**. Instituto Estadual De Meio Ambiente, Vitória, Espírito Santo, Brasil. Disponível em:www.iema.gov.br. Acesso em 11 de julho de 2014.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN. **Perfil regional 2008**: Região Metropolitana da Grande Vitória. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br>. Acesso em 09 de junho de 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET. **Gráficos Climáticos**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>. Acesso em: 22 mar. 2014.

JACOBSON, M. Z. **Atmospheric pollution**: history, science and regulation. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

JACQUEMIN, B., SUNYER, J., FORSBERG, B., GOTSCHI, T., OGLESBY, L., ACKERMANN-LIEBRICH, U., DE MARCO, R., HEINRICH, J., JARVIS, D., TOREN, K., KUNZLI, N. Annoyance due to air pollution in Europe. **International Journal of Epidemiology**. Oxford University Press, v. 36 p. 809–820, 2007.

JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6.ed. , New Jersey: Prentice Hall, 2007.

KLAEBOE, R.; AMUNDSEN, A.H.; FYHRI, A. Annoyance from vehicular air pollution: A comparison of European exposure–response relationships. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 7689-7694, 2008.

KLÆBOE, R.; KOLBENSTVEDT, M.; CLENCH-AAS, J., BARTONOVA, A. Oslo traffic study - part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 4727-4736, 2000.

LEEM, J.H.; KAPLAN, B.M.; SHIM, Y.K.; POHL, H.R.; GOTWAY, C.A.; BULLARD, S.M.; ROGERS, J.F.; SMITH, M.M.; TYLEND, C.A. Exposures to air pollutants during pregnancy and preterm delivery. **Environ. Health Perspect**, v. 114, p. 905–910, 2006.

LI, Z.; ZHAO, S.; EDWARDS, R.; WANG, W.; ZHOU, P. Characteristics of individual aerosol particles over Ürümqi Glacier No. 1 in Eastern Tianshan, Central Asia, China, **Atmospheric Research**, v. 99, p. 57–66, 2011.

LINDVALL, T.; RADFORD, E. Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. **Environ. Research**, v.6:1-36, 1973.

LLOP, S., BALLESTER, F., ESTARLICH, M., et al. Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women. **Atmospheric Environment**, v. 42, 2982-2992, 2008.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 3a.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MCTAINSH, G. Harmattan dust deposition in northern Nigeria. **Nature**, v. 286, p. 587-588, 1980.

MIRANDA, R. M.; ANDRADE, M. F.; WOROBIEC, A.; GRIEKEN, R. V. Characterisation of aerosol particles in the São Paulo Metropolitan Area. **Atmospheric Environment**, v. 36, p. 345-352, 2002.

MIRJANA TASIĆ, M.; ĐURIĆ-STANOJEVIĆ, B.; RAJŠIĆ, S.; MIJIĆ, Z.; VELIBOR NOVAKOVIĆ, V. Physico-Chemical Characterization of MP₁₀ and MP_{2.5} in the Belgrade Urban Area. **Acta Chim. Slov**, v.53, p. 401–405, 2006.

NIKOLOPOULOU, M.; KLEISSL, J.; LINDEN, P.F.; LYKOUDIS, S. Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution. **Science of the Total Environment**, v. 409, pp. 2493-25-2, 2011.

NOLL, K. E; JACKSON, M. M; OSKOUIE, A. K. Development of an atmospheric Particle Dry Deposition Model. **Aerosol Science and Technology**, v. 35, p. 627-636, 2001

OFFER, Z. Y; GOOSSENS, D; SHACHAK, M. Aeolian deposition of nitrogen to sandy and loessial ecosystems in the Negev Desert. **Journal of Arid Environments**, v. 23, p. 355-363, 1992.

OGLESBY, L.; KUNZLI, N.; MONN, C.; SCHINDLER, C.; ACKERMANN-LIEBRICH, U.; LEUENBERGER, P. Validity of annoyance scores for estimation of long term air pollution

exposure in epidemiologic studies: The swiss study on air pollution and lung diseases in adults (SAPALDIA). **Am. J. Epidemiol**, v. 152, p. 75–83, 2000.

PROGRAM FOR ENVIRONMENT PROTECTION AND REHABILITATION-PEPR. **Compliance Report: Dust deposition Limit Determination**. AECOM Australia, 2012.

PIPAL, A. S.; KULSHRESTHA A.; TANEJA, A. Characterization and morphological analysis of airborne MP_{2.5} and MP₁₀ in Agra located in north central India. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 3621-3630, 2011.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. W. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. **J. Air Waste Manag. Assoc**, v. 56, p. 709–742, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DO MACAPÁ- PMM. **LEI nº 948**. Dispõe sobre a Lei de Proteção, Controle, Conservação e Melhoria do Meio Ambiente do Município de Macapá, Macapá – AP, 1998.

QIANG, M; CHEN, F; ZHOU, A; XIAO, S; ZHANG, J; WANG, Z. Impacts of wind velocity on sand and dust deposition during dust storm as inferred from a series of observations in the northeastern Qinghai – Tibetan Plateau, China. **Power Technology**, v. 175, p. 82-89, 2007.

QIU H., TIAN L., HO K., PUN V.C., WANG X., YU I.T.S. Air pollution and mortality: Effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a case-only study. **Environmental Pollution**, v. 199, 192-197, 2015.

ROTKO, T.; OGLESBY, L.; UNZLI, N. K.; NIEUWENHUIJSEN, M. J.; JANTUNEN, M. Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM_{2.5}, NO₂) concentrations in the European EXPOLIS study. **Atmospheric Environment**, v. 36, p. 4593–4602, 2002.

RÜHLING, A. TAYLOR, G. Moss analysis a method for surveying heavy metal deposition. **In: Proceeding Second International Clean Air Congress**, Washington DC. Londres: Academic Press, London, p. 129-132, 1971.

SAKATA, M.; MARUMOTO, K. Dry deposition fluxes and deposition velocities of trace metals in the Tokyo metropolitan area measured with a water surface sampler. **Environmental Science & Technology**, v. 38, p. 2190-2197, 2004.

SANTOS, J. M.; REIS JR, N. C. Caracterização e quantificação de partículas sedimentáveis na Região da grande Vitória. **Relatório Técnico** Final elaborado para o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Vitória, 2011.

SCHWARTZ, J. Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. counties. **Epidemiology**, v. 10, p. 17-22, 1999.

SCHWARTZ, J. Air pollution and hospital admissions for the thelderly in Birmingham, Alabama. **American Journal of Epidemiology**, v. 139, p. 589-598, 1994.

SCHWARTZ, J. Harvesting and long term exposure e_ects in the relationship between air pollution and mortality. **American Journal Epidemiologic**, v. 151, 440- 448, 2000.

SCHWARTZ, J. Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. **Environmental Research**, v. 56(2), 204-213, 1991.

SCHWARTZ, J. Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. **Environmental Research**, v. 56, p. 204-213, 1991.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, N. S. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. New York/USA: Wiley – Interscience Publication, 2006.

SHANNIGRAHI, A.S; FUKUSHIMA, T; OZAKI, N. Comparison of different methods for measuring dry deposition fluxes of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the ambient air. **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 653-662, 2005.

SOARES, I. P. Avaliação do uso de diferentes modelos receptors para determinação da contribuição das fontes de partículas totais em suspensão. **Dissertação** de mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2011. 144p.

SOUZA, L. B. Estudo de correlação entre a percepção do incômodo causado pelas partículas sedimentadas e os níveis de concentração na atmosfera em uma região impactada. **Dissertação** de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória/ES, 2011. 104p.

SOW, M.; GOOSSENS, D.; RAJOT, J. L. Calibration of MDCO dust collector and of four versions of the inverted Frisbee dust deposition sampler. **Geomorphology**, v. 82, p. 360-375, 2006.

SOW, M.; GOOSSENS, D.; RAJOT, J. L. Calibration of MDCO dust collector and of four versions of the inverted Frisbee dust deposition sampler. **Geomorphology**, v. 82, p. 360-375, 2006.

STENLUND, T.; LIDÉN, E.; ANDERSSON, K.; GARVILL, J.; NORDIN, S. Annoyance and health symptoms and their influencing factors: A population-based air pollution intervention study. **Public Health**, v. 123, p. 339-345, 2009.

TASDEMIR, Y; ESEN, F. Dry deposition fluxes and deposition velocities of PAH's at an urban site in Turkey. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 1288-1301, 2007.

TRINDADE, C. C.; QUEIROZ, R. S. **Análise da Percepção Ambiental da População da Grande Vitória à Poeira Sedimentável**. In: VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.

TRIVUNCEVIC, B; JEREB, G; POLJSK, B; BIZJAK, M; KATZ, A. S. Application of computer software for airborne particles counting. **Association for Research**, 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – USEPA- **EPA/625/R-96**. Compendium Method IO-2.1: Sampling of ambient air for total suspended particulate matter (SPM) and PM₁₀ using High Volume (HV) sampler. USA, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY– USEPA- **EPA 600/R – 02/070** - Guidelines for the Application of SEM/EDX Analytical Techniques to Particulate Matter Samples. USA, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -USEPA -. **Guidelines for the Application of SEM/EDX Analytical Techniques to Particulate Matter Samples.** No EPA 600/R – 02/070, 2002.

VALLACK, H. W.; SHILLITO, D. E. Suggested guidelines for deposited ambient dust. **Atmospheric Environment**, Vol. 32, Issue 16, p. 2737-2744, 1998.

VARDAR, N; ODABASI, M; HOLSEN, T, M. Particulate Dry Deposition and Overall Deposition Velocities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. **Journal of Environmental Engineering**, v. 128, n° 3, p. 269-274, 2002.

VARDAR, N; ODABASI, M; HOLSEN, T, M. Particulate Dry Deposition and Overall Deposition Velocities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. **Journal of Environmental Engineering**, v. 128, n° 3, p. 269-274, 2002.

WAGNER, M. B.; JACQUES, S.M.C. Medidas de associação em estudos epidemiológicos: risco relativo e odds ratio. **Jornal de pediatria**, v.74: 247-251, 1998.

WAKEFIELD, S.E.; ELLIOTT, S.J.; EYLES, J.D.; COLE, D.C. Taking environmental action: The role of local composition, context, and collective. **Environ. Manage**, v. 37, p. 40–53, 2006.

WANG, Y.; PHAM, H. Analyzing the effects of air pollution and mortality by generalized additive models with robust principal components. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v.2, p. 253- 259, 2011.

WANG, Z.; ZHANG, L.; ZHANG, L.; ZHAO, Z.; ZHANG, S. Morphology of single inhalable particle in the air polluted city of Shijiazhuang, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, p. 429-435, 2008.

WHITTLE, N.; PERIS, E.; CONDIE, J.; WOODCOCK, J.; BROWN, P.; MOORHOUSE, A.T.; WADDINGTON, D.C.; SLEELE, A. Development of a social survey for the study of vibration annoyance in residential environments: Good practice guidance. **Applied Acoustics**. v. 87, p. 83–93, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION –WHO. **Life in the 21st century**. A Vision for all. The World Health report (1998).

WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. **Air quality guidelines for Europe**. 2^a ed., Copenhagen, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. **Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide**. Global update 2005. Summary of Risk Assessment. Geneva, 2006

WIGGS, G. F. S; LEYS, J; MCTAINSH, G. H; HEIDENRICH, S; STRONG, C. A wind tunnel study of the collection efficiency of an aerodynamically improved “Frisbee” dust trap. **In: Proc. ICAR5/GCTE-SEN Join Conference, Int. Center for Arid and Seminarid Land Studies**, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA, Publ, v.02-2, p. 133-141, 2002.

WONG, C.M.; VICHIT-VADAKAN, N.; KAN, H.; QIAN, Z. Public health and air Pollution in Asia (PAPA): a multicity study of short-term effects of air pollution on mortality. **Environ. Health Perspect**, v.116(9):1195-202, 2008.

XIE, R. K.; SEIP, H. M.; LEINUM, J. T.; WINJE, T.; XIAO, J. S. Chemical characterization of individual particles (MP10) from ambient air in Guiyang City, China. **Science of the Total Environment**, v. 343, p. 261-271, 2005.

YNOUE, R. Y.; ANDRADE, M. F. Size-resolved mass balance of aerosol particles over the São Paulo Metropolitan Area of Brazil. **Aerosol Science and Technology**, v.38, p. 52–62, 2004.

ZHANG, L; GONG, S.; PADRO, J.; BARRIE, L. A size-segregated particle dry deposition scheme for an atmospheric aerosol module. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 549-560, 2001.

APÊNDICE A – Modelo do questionário da pesquisa face a face

Meio Ambiente e Qualidade de Vida – Questionário nº _____

BLOCO A:

AA. Sobre as situações abaixo, o sr (a) pode classificar em ordem de importância (do mais ao menos importante) as 3 que mais te preocupa:

- | | |
|--------------------------------|-----------------|
| 1. () Acidente industrial | 5.() Inundação |
| 2. () Educação | 6.() Poluição |
| 3. () Epidemia (doença) grave | 7.() Saúde |
| 4. () Desemprego | 8.() Violência |
| | 9.9. () NS/NR |

AB. Sobre o meio ambiente, classifique em ordem de importancia (do mais ao menos importante) as 3 que mais te preocupa (1,2,3):

1. () Lixo
2. () Poluição do ar
3. () Poluição das águas (mar e rios)
4. () Poluição sonora
5. () Saneamento básico (água e esgoto) 99. NS/NR

A1. Indique o grau de importância da qualidade do ar para o(a) Sr(a).
Sem Importância Pouco Moderada Muito Extremamente Importante

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A2. Como o(a) Sr(a). avalia a qualidade do ar em seu bairro/região?
Péssima Ruim Regular Boa Excelente

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A3. O quanto o(a) Sr(a) se sente incomodado com a poluição do ar?
Nada Pouco Moderado Muito Extremamente Incomodado Incomodado Incômodo Incomodado Incomodado

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A4. Em uma escala de 0 a 10 o quanto o sr. (a) se sente incomodado (onde 10 é extremamente incomodo e 0 nada incomodado?)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	99.NR/NS
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----------

A5. Em relação ao risco industrial, como o(a) Sr(a). Se sente?
Nada Pouco Mais ou Menos Muito Extremamente Exposto Exposto Exposto Exposto Exposto

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A6. Em relação à poluição do ar, na sua casa, como o(a) Sr(a). se sente?

Nada Exposto	Pouco Exposto	Mais ou Menos Exposto	Muito Exposto	Extremamente Exposto
1	2	3	4	5

99. NS/NR

(Questões A7 a A10) O(A) Sr(a) percebe a poluição do ar através de quais dessas situações?

A7. Depósitos de pó, poeira, partículas, flocos, etc.
Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A8. Pela presença de odores / mal cheiro:
Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A9. Pela opacidade, turvamento, escurecimento, enfumaçamento do ar.
Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A10. Pelo mau estado da vegetação, dos jardins, do quintal, etc.
Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

99. NS/NR

A.10.1. O Sr(a). se sente incomodado com a presença de poeira?

1. Sim 2. Não 9. NS/NR

A11. Dentro de casa o quanto você se sente incomodado pela presença de poeira proveniente do meio externo?

Nada Incomodado	Pouco Incomodado	Moderado Incômodo	Muito Incomodado	Extremamente Incomodado
1	2	3	4	5

99. NS/NR

A12. Na opinião do Sr. (a) de onde vem essa poeira (fonte)?(marque até 2 opções em ordem crescente)

1. () Atividades agrícolas.
 2. () Brisa do mar/ areia da praia.
 3. () Construção civil / obras.
 4. () Ruas não pavimentadas.
 5. () Tráfego veículos (automóveis).
 6. () Emissões industriais. Qual (is)? _____
99. NS/NR.

A13. Dentro de casa o sr. (a) se sente incomodado pela presença de odor/mal cheiro proveniente do meio externo?

Nada Incomodado	Pouco Incomodado	Moderado Incômodo	Muito Incomodado	Extremamente Incomodado
1	2	3	4	5

99. NS/NR

A14. Na opinião do Sr. (a) de onde vem esse odor/mal cheiro (fonte)? (marque até 2 opções em ordem crescente)

1. () Esgoto/ fossas/ lixo.
 2. () Queimadas.
 3. () Tráfego veículos (automóveis).
 4. () Emissões industriais. Qual (is)? _____
 5. () Outros. Qual (is)? _____
99. NS/NR.

A15. Qual é a intensidade do odor/ mal cheiro?

Muito fraco	Fraco	Regular	Forte	Muito forte
1	2	3	4	5

99. NS/NR

A16. Com que frequencia o sr. (a) sente o odor/mal cheiro dentro de casa?

1. Menos do que uma vez por mês
 2. Pelo menos uma vez por mês
 3. Mais do que uma vez por semana
 4. Todos os dias
9. NR/NS

BLOCO B:

(Questões B1 a B8) A poluição do ar leva o(a) Sr(a) a:

B1. Limpar a casa para a retirada da poeira/pó:

Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
1	2	3	4	5

99. NS/NR

B2. Não deixar as janelas da casa abertas por causa da poeira/pó:

Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
1	2	3	4	5

99. NS/NR

B3. Não deixar a roupa secando/tomando sol fora de casa por causa da poeira/pó:

Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
1	2	3	4	5

99. NS/NR

B4. Renovar ou limpar ou pintar a fachada da casa por causa da poeira:

Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
1	2	3	4	5

99. NS/NR

B5. Limitar as brincadeiras das crianças fora de casa por causa da poeira:

Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre
 1 2 3 4 5
 99. NS/NR

B6. Evitar frequentar os espaços públicos (praças, ruas, etc.) por causa da poeira:

Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre
 1 2 3 4 5
 99. NS/NR

B7. Ir ao médico, posto de saúde, hospital, etc. por causa da poeira:

Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre
 1 2 3 4 5
 99. NS/NR

B8. Manter as janelas fechadas por causa do odor/ mal cheiro proveniente do meio externo.

Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre
 1 2 3 4 5
 99. NS/NR

B9. O sr(a). acha que a poeira pode causar trazer riscos à saúde?

1. Sim 2. Não 9. NS/NR

B9.1. Com que frequência o(a) Sr(a) ou alguém que mora na sua casa tem problemas de saúde causado(s) pela presença de poeira?

Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre
 1 2 3 4 5
 99. NS/NR

B10. Qual ou quais problema(s) de saúde principal(is) causados pela presença de poeira (marque em ordem de ocorrência até 3 opções)?

1. () Rinite, sinusite, alergia
 2. () Tosse, Irritação na Garganta e ouvido
 3. () Falta de ar, dificuldade respiratória
 4. () Descamação da pele, pele ressecada
 5. () Outro (s), Qual(s) _____
99. NS/NR

Bloco C:

C1. Na opinião do(a) Sr(a) qual é a principal fonte de poluição do ar na sua região? (1 opção)

1. Poluição devido à emissão dos veículos (veicular).
 2. Poluição causada pelas emissões industriais (industrial).
 3. Poluição pela ressuspensão do solo.
 4. Poluição pelas obras de construção civil
 5. Poluição trazida pela brisa do mar (ventos, etc.).
 6. Poluição trazida pela exploração de pedreiras na região.
99. NS/NR.

C2. Sobre os possíveis ganhos/benefícios trazidos pelas indústrias localizadas na sua região quais o(a) Sr(a) poderia citar como os mais importantes? (Marque até 3 opções a partir do melhor -1,2,3)

1. () São fontes de emprego.
 2. () São essenciais para o desenvolvimento da região.
 3. () São importantes para a economia da região.
 4. () São patrocinadoras projetos/ eventos para a comunidade.
99. NS/NR

C3. Sobre os possíveis prejuízos/mafeícios que as indústrias trazem para a sua região, quais o(a) Sr(a) poderia citar como os mais importantes? (Marque até 3 opções a partir do pior-1,2,3,)

1. () São prejudiciais à saúde.
 2. () São prejudiciais ao meio ambiente.
 3. () Distorcem ou enfeiam paisagem local.
 4. () Apresentam riscos de acidentes industriais graves.
99. NS/NR.

Bloco D:

D1. O(A) Sr(a) percebe se a presença de poeira muda de acordo com a época do ano?

1. Sim 2. Não 99. NS/NR

D2. Se sim, em qual/quais mês/meses do ano a presença de poeira é maior?

1. JAN 4. ABR 7. JUL 10. OUT

2. FEV 5. MAI 8. AGO 11. NOV
 3. MAR 6. JUN 9. SET 12. DEZ

D3. Na opinião do(a) Sr(a) a poluição do ar pela presença de poeira é maior em qual condição de tempo?

1. Ensolarado 2. Nublado 3. Chuvoso 99. NS/NR

D4. Para o(a) Sr(a) a poluição do ar é maior:

1. De dia 2. De noite 3. Não faz diferença 99. NS/NR

BLOCO E: ÓRGÃOS AMBIENTAIS

E1. O(A) Sr(a) acha que a qualidade do ar na sua região é monitorada?

Nunca Raramente Às vezes Frequentemente Sempre
 1 2 3 4 5
 99. NS/NR

BLOCO F: ASPECTOS PESSOAIS

F1. Sua ocupação:

1. Empregado 3. Desempregado 4. Aposentado
 5. Estudante 9. NS/NR.

F2. O(A) Sr(a) é fumante?

1. Sim 2. Nunca fumei 3. Fumei e parei 99. NS/NR

F3. Sexo do entrevistado?

1. Masculino 2. Feminino

F5. Estado Civil do entrevistado?

1. Solteiro 2. Casado 3. Separado 4. Viúvo 5. União estável 99. NS/NR.

F6. Possui Filhos?

1. Sim. Quantos? _____ 2. Não.

F7. Faixa Etária?

1. De 16 a 18 anos 2. De 19 a 24 anos 3. De 25 a 34 anos
 4. De 35 a 44 anos 5. De 45 a 54 anos 6. De 55 a 64 anos
 7. Acima de 65 anos 99. NS/NR

F8. Escolaridade do Entrevistado?

1. Não estudou
 2. Ensino Fundamental Incompleto.
 3. Ensino Fundamental Completo.
 4. Ensino Médio/ Técnico Incompleto.
 5. Ensino Médio/ Técnico Completo.
 6. Ensino Superior Incompleto.
 7. Ensino Superior Completo.
99. NS/NR

F9. Somando a renda de todas as pessoas que residem com o(a) Sr(a), qual é aproximadamente a renda familiar?

1. Até 3 SM (até R\$ 2.034,00).
 2. De 3 SM até 10 SM (de R\$ 2.034,00 até R\$ 6.780,00).
 3. De 10 SM até 20 SM (de R\$ 6.780,00 até R\$ 13.560,00).
 4. De 20 SM até 50 SM (de R\$ 13.560,00 até R\$ 33.900,00).
 5. Acima de 50 SM (mais de R\$ 23.900,00).
99. NS/NR.

F10. Nome do Entrevistado: _____

F11. Telefone para Contato: _____

F12. Endereço: Rua: _____

Nº.: _____ Complemento: _____

Bairro: _____

O(A) Sr(a) concorda em colaborar em outras entrevistas mensais?

1. Sim. 2. Não.

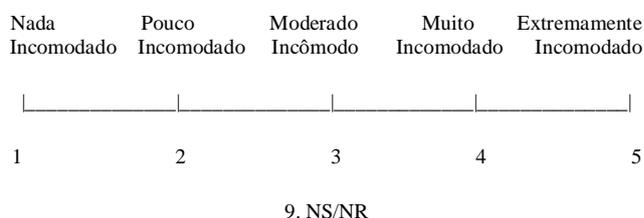
Entrevistador: _____

Data: _____ Hora: _____

APÊNDICE B – Modelo do questionário aplicado aos participantes da pesquisa painel por telefone

(Aplicar sempre na última semana de cada mês)

1. Pense sobre esse último mês, o(a) sr.(a) se sentiu incomodado com a presença de poeira?



2. E qual a nota que o sr.(a) dá a esse incômodo percebido, nesse último mês, em uma escala de 0 a 10 onde 10 é o máximo de incômodo?

NÍVEIS DE INCÔMODO

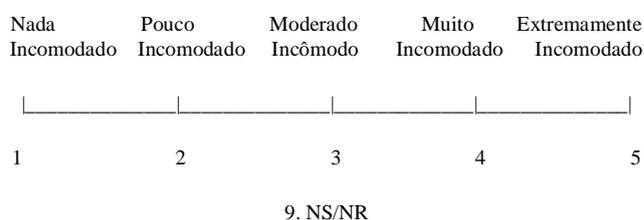


Não me sinto
incomodado(a)



Extremamente
incomodado(a)

3. E hoje? Como o sr.(a) se sente em relação ao incômodo pela poeira/ pó preto?



4. E qual a nota que o sr.(a) dá a esse incômodo, em uma escala de 0 a 10 onde 10 é o máximo de incômodo?

NÍVEIS DE INCÔMODO



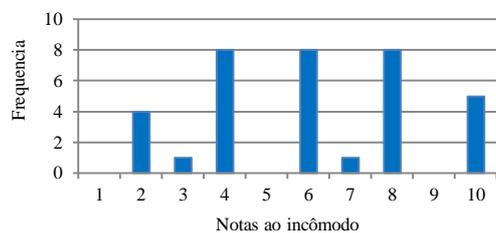
Não me sinto
incomodado(a)



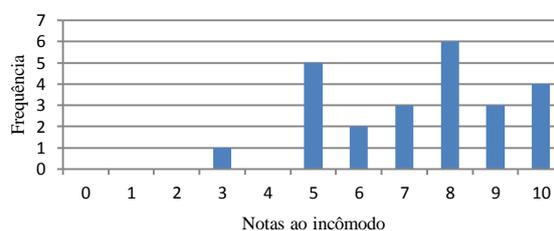
Extremamente
incomodado(a)

APÊNDICE C – Distribuição das notas atribuídas à percepção do incômodo mensalmente e número de respondentes por cada sub-região

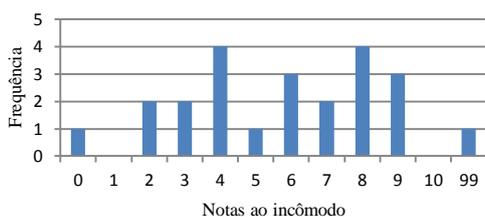
• Laranjeiras



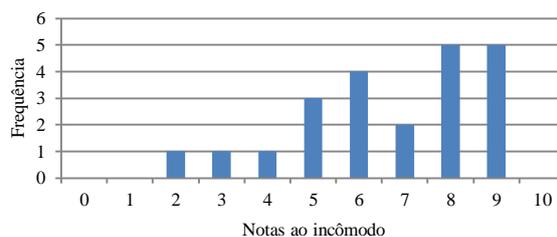
Agosto de 2011 (n=26)



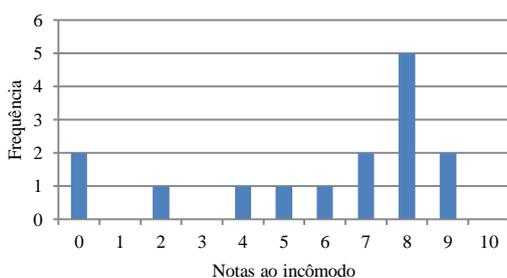
Setembro de 2011 (n=24)



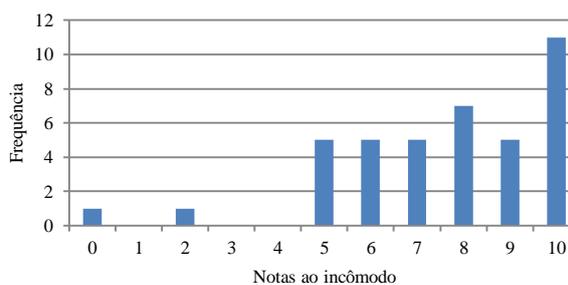
Outubro de 2011 (n=23)



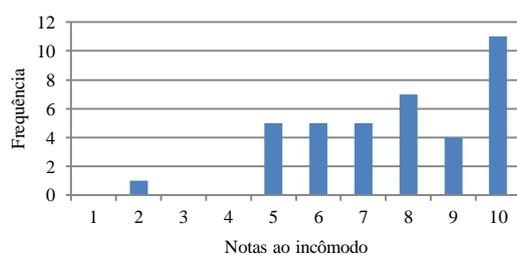
Novembro 2011 (n=22)



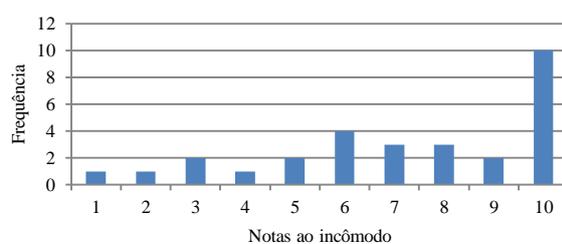
Dezembro de 2011 (n=15)



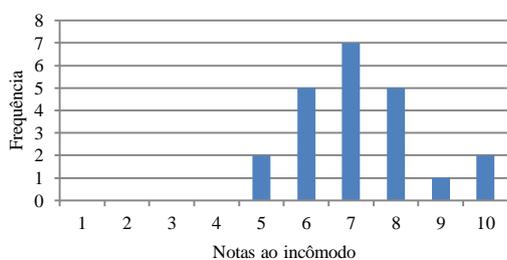
Janeiro de 2012 (n=40)



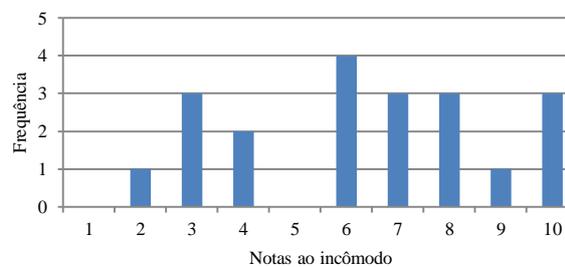
Fevereiro de 2012 (n=29)



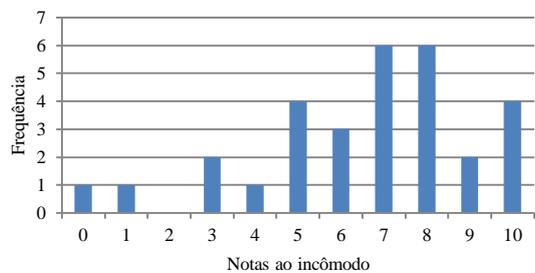
Março de 2012 (n=29)



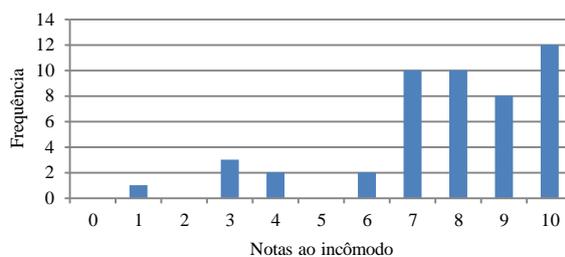
Abril de 2012 (n=23)



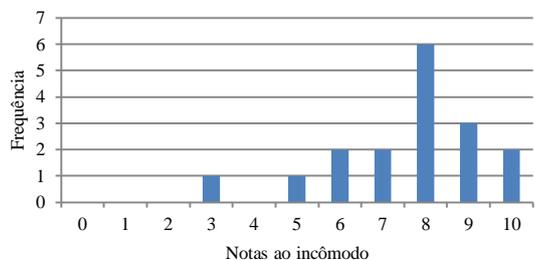
Maio de 2012 (n=21)



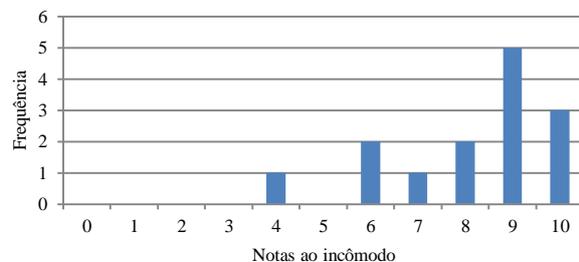
Junho de 2012 (n=30)



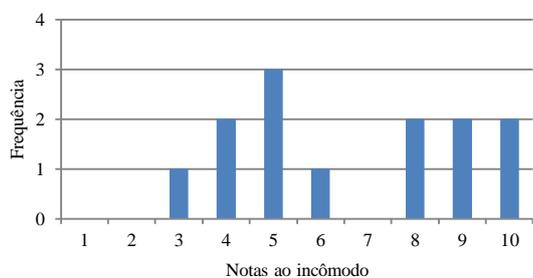
Janeiro de 2013 (n=48)



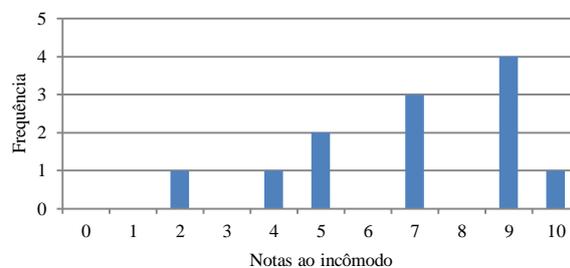
Fevereiro de 2013 (n=17)



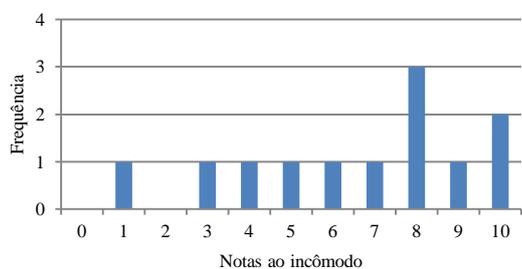
Março de 2013 (n=14)



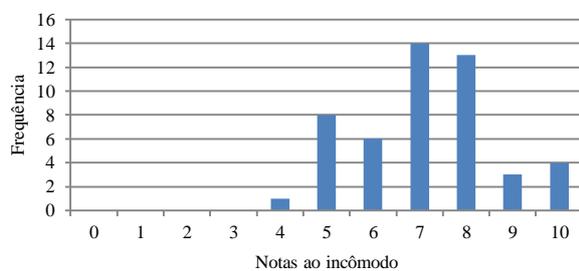
Abril de 2013 (n=13)



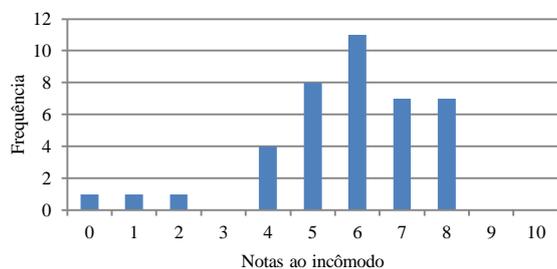
Maio de 2013 (n=12)



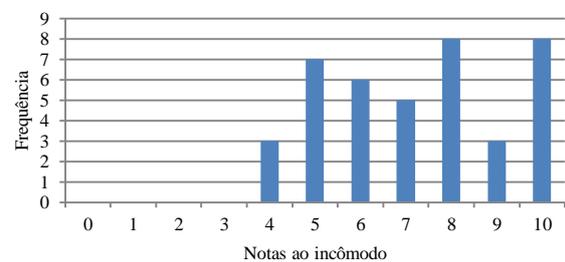
Junho de 2013 (n=12)



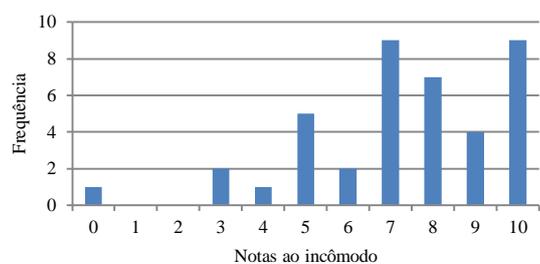
Julho de 2013 (n=49)



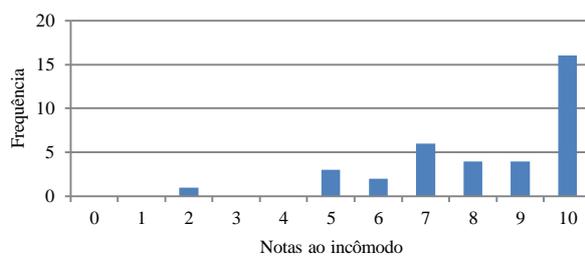
Agosto de 2013 (n=40)



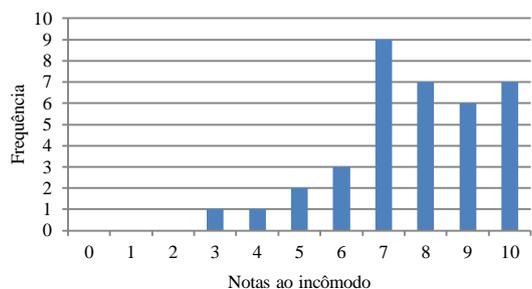
Setembro de 2013 (n=40)



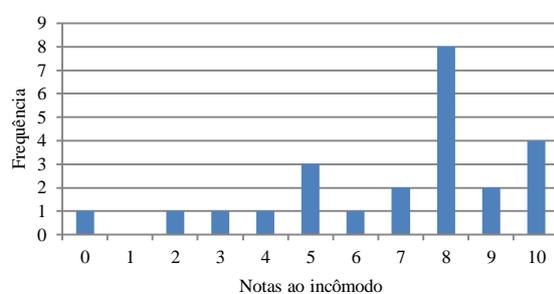
Outubro de 2013 (n=40)



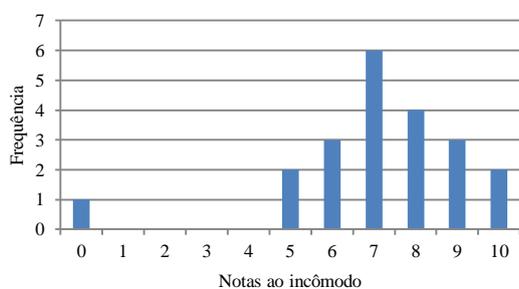
Janeiro de 2014 (n=36)



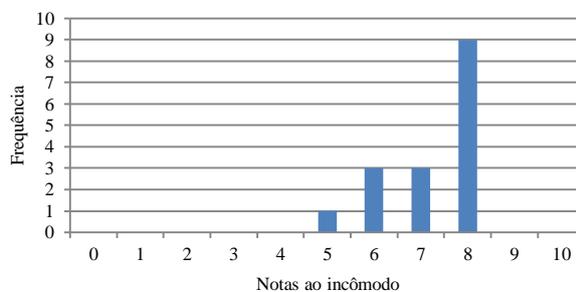
Fevereiro de 2014 (n=36)



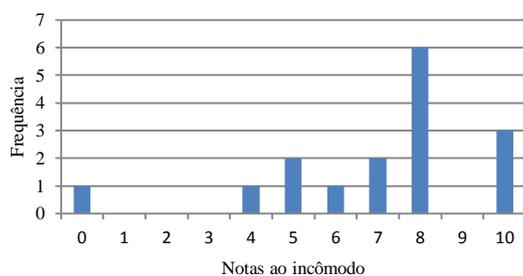
Março de 2014 (n=24)



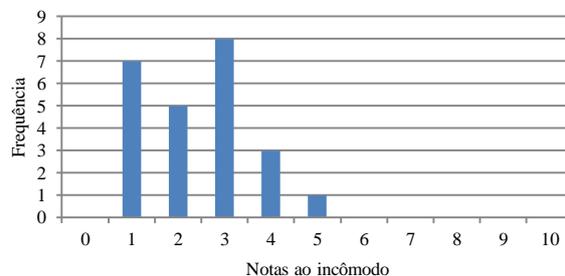
Abril de 2014 (n=21)



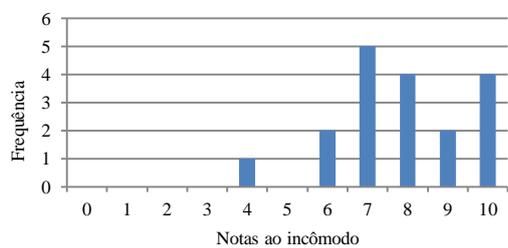
Maio de 2014 (n=16)



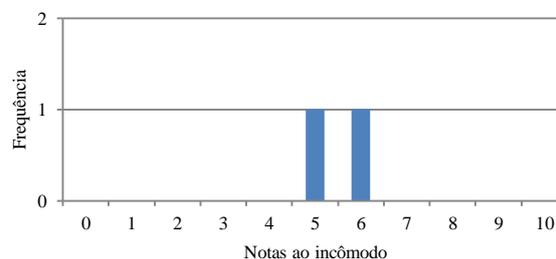
Junho de 2014 (n=16)



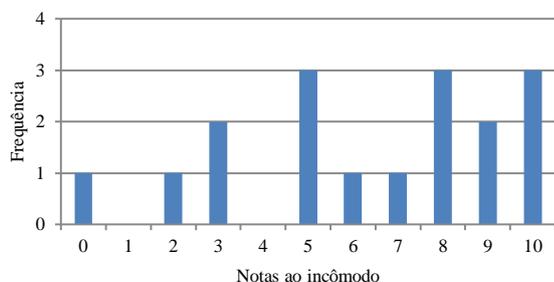
Julho de 2014 (n=24)



Agosto de 2014 (n=18)

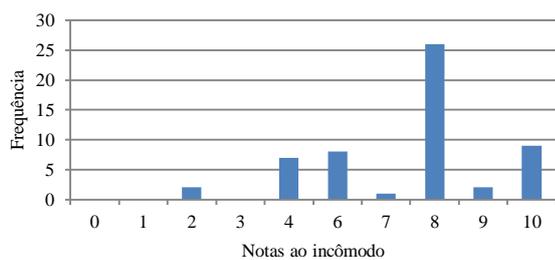


Setembro de 2014 (n=18)

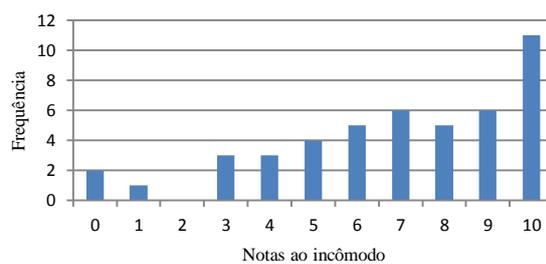


Outubro de 2014 (n=17)

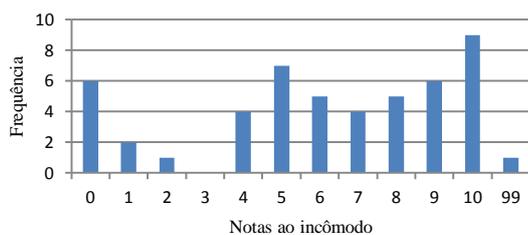
- Ibes**



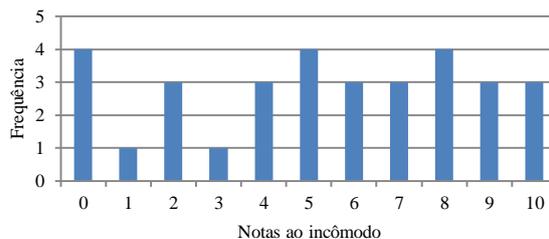
Agosto de 2011 (n=55)



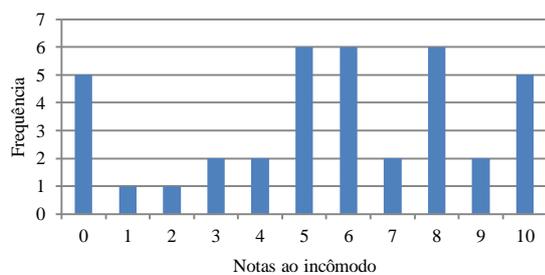
Setembro de 2011 (n=46)



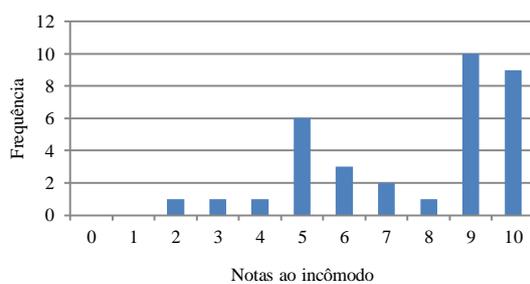
Outubro de 2011 (n=49)



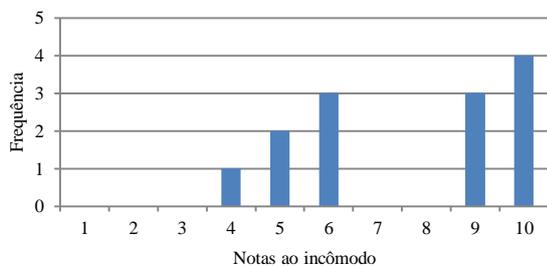
Novembro de 2011 (n=32)



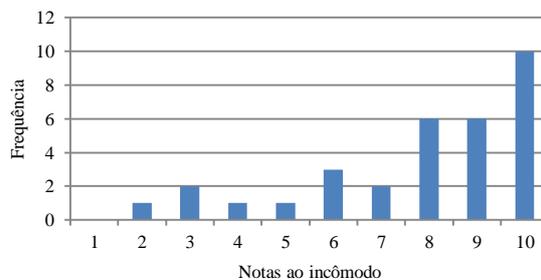
Dezembro de 2011 (n=42)



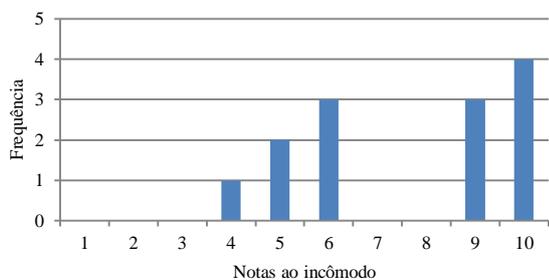
Janeiro de 2012 (n=34)



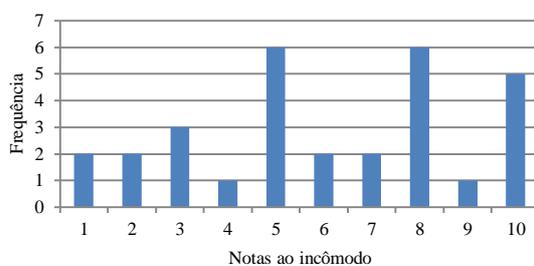
Fevereiro de 2012 (n=22)



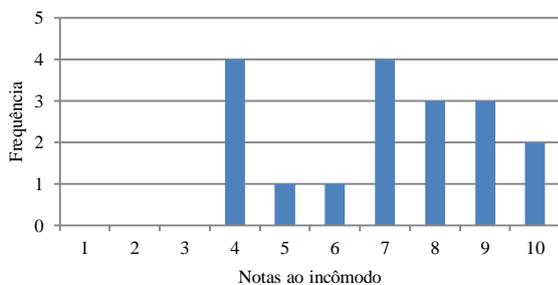
Março de 2012 (n=32)



Abril de 2012 (n=28)



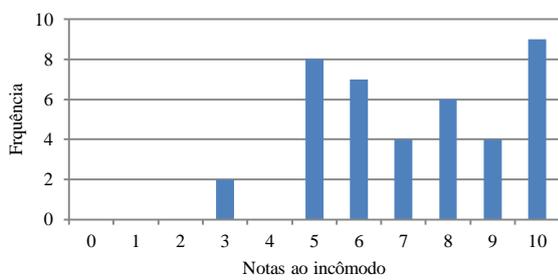
Maio de 2012 (n=31)



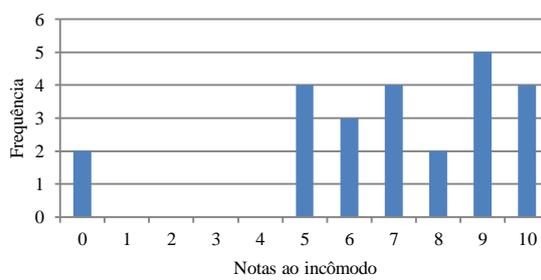
Junho de 2012 (n=19)



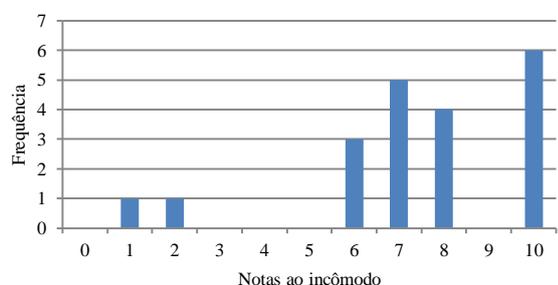
Janeiro de 2013 (n=84)



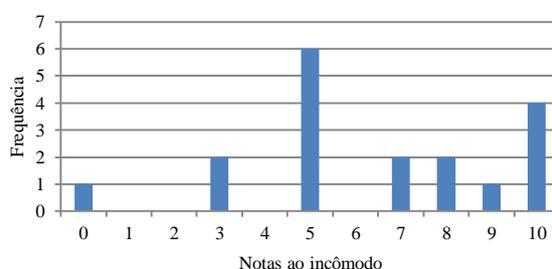
Fevereiro de 2013 (n=40)



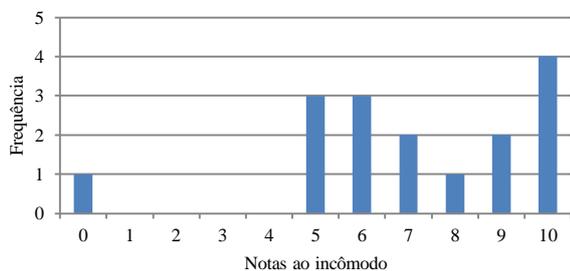
Março de 2013 (n=24)



Abril de 2013 (n=20)



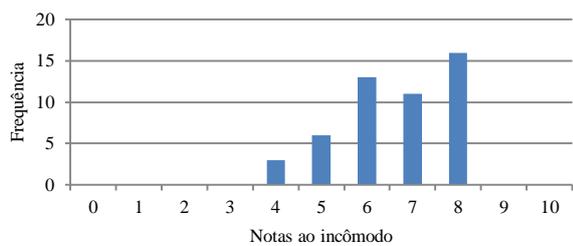
Maio de 2013 (n=18)



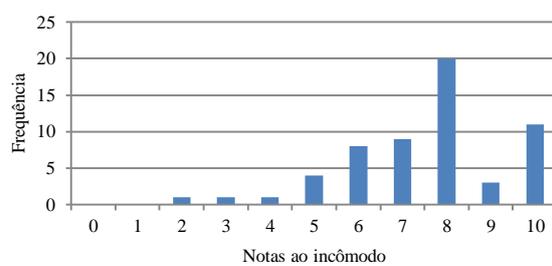
Junho de 2013 (n=16)



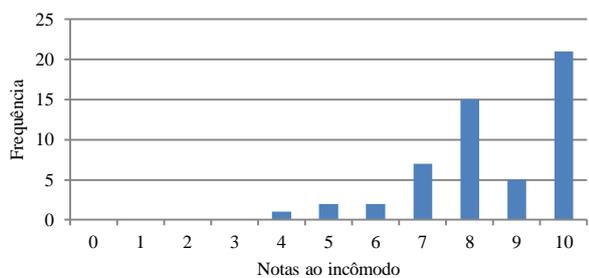
Julho de 2013 (n=83)



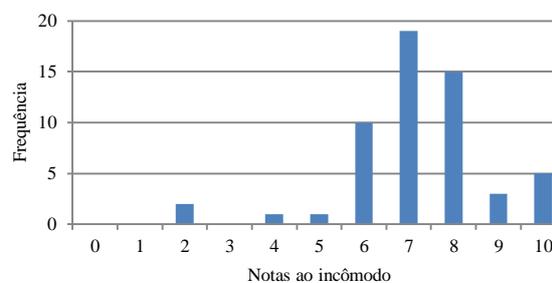
Agosto de 2013 (n=49)



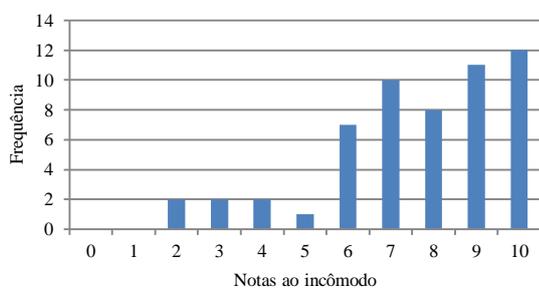
Setembro de 2013 (n=58)



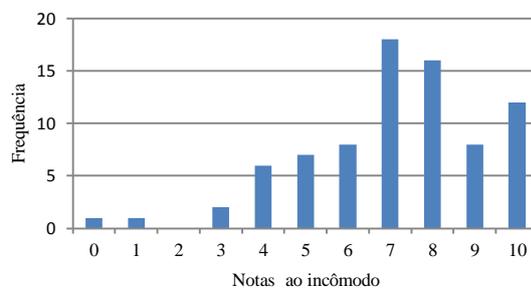
Outubro de 2013 (n=53)



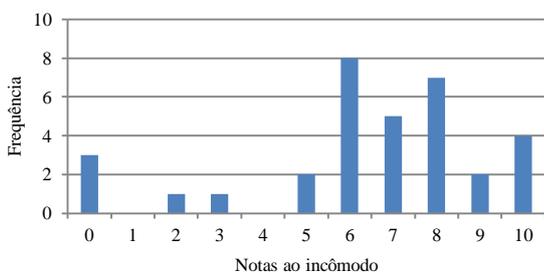
Janeiro de 2014 (n=56)



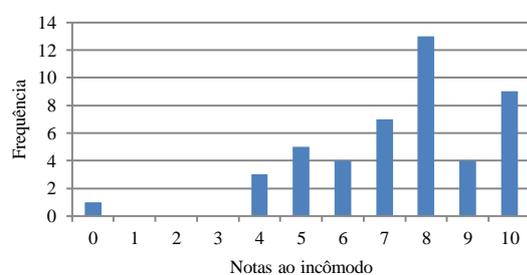
Fevereiro de 2014 (n=55)



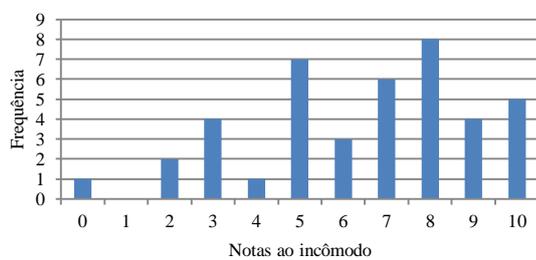
Março de 2014 (n=60)



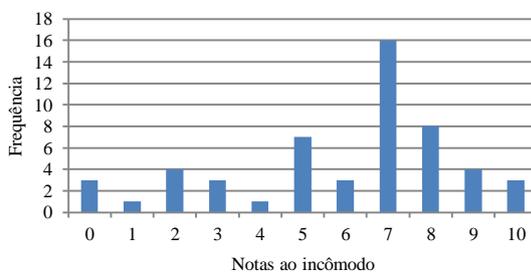
Abril de 2014 (n=33)



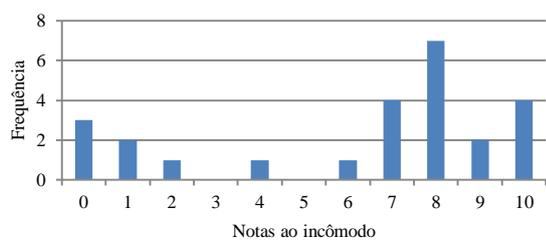
Maio de 2014 (n=44)



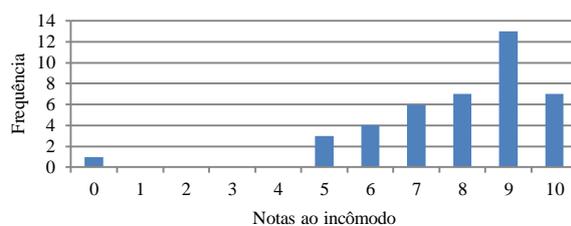
Junho de 2014 (n=41)



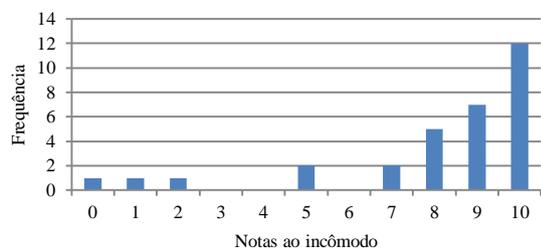
Julho de 2014 (n=53)



Agosto de 2014 (n=25)

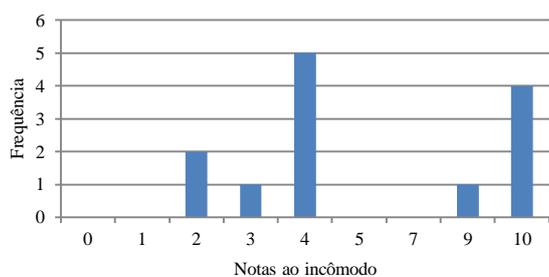


Setembro de 2014 (n=41)

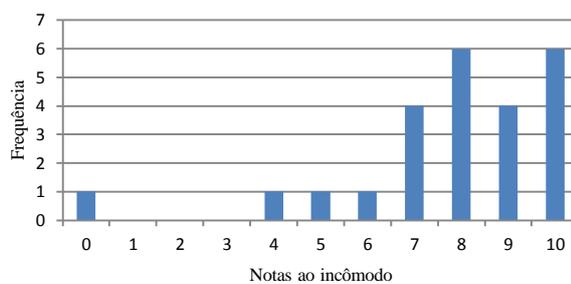


Outubro de 2014 (n=31)

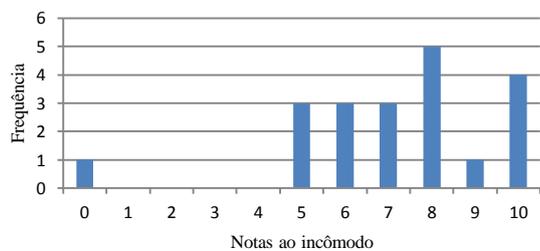
- Carapina**



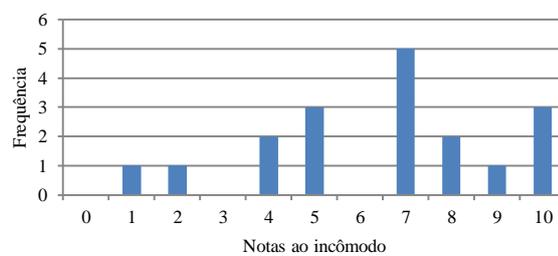
Agosto de 2011(n=26)



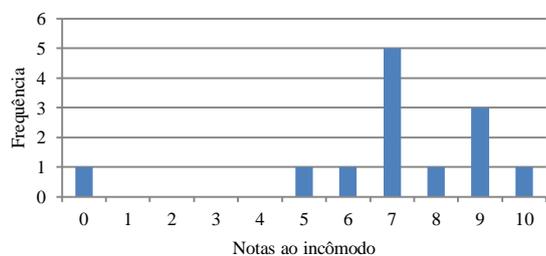
Setembro de 2011 (n=24)



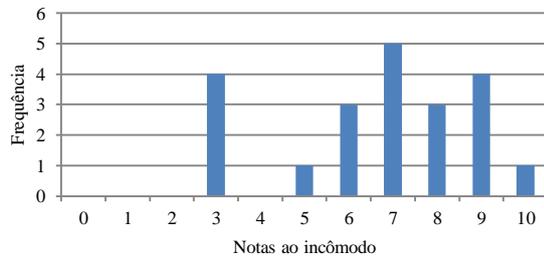
Outubro de 2011 (n=20)



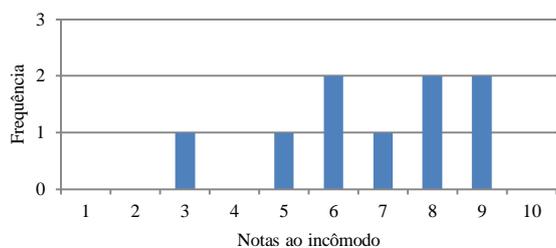
Novembro 2011 (n=18)



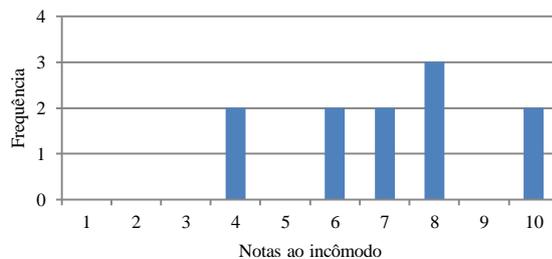
Dezembro de 2011 (n=18)



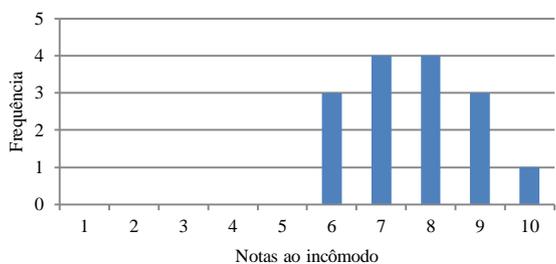
Janeiro de 2012 (n=21)



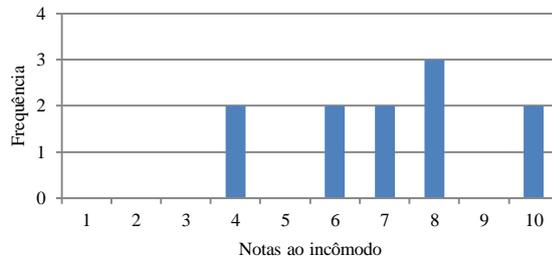
Fevereiro de 2012 (n=09)



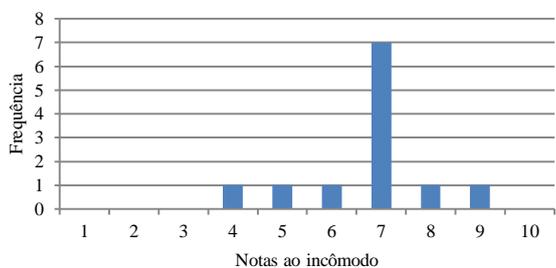
Março de 2012 (n=14)



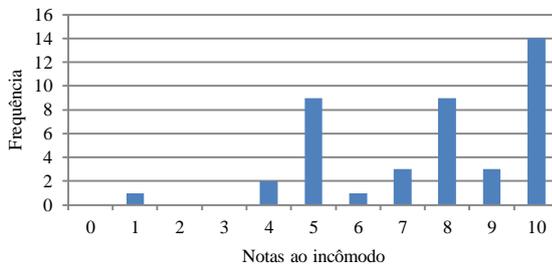
Abril de 2012 (n=15)



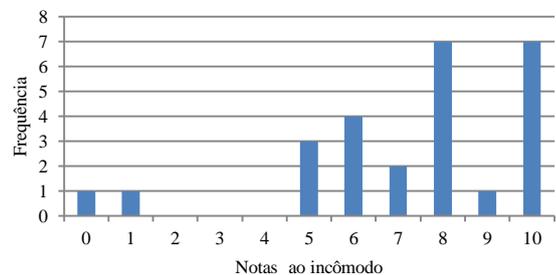
Maio de 2012 (n=11)



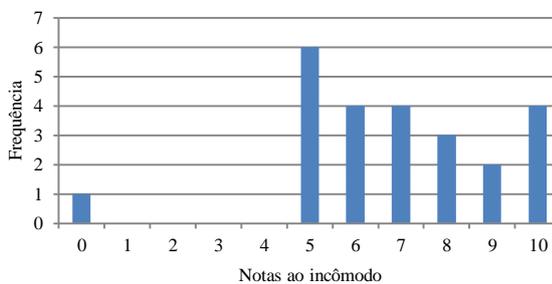
Junho de 2012 (n=12)



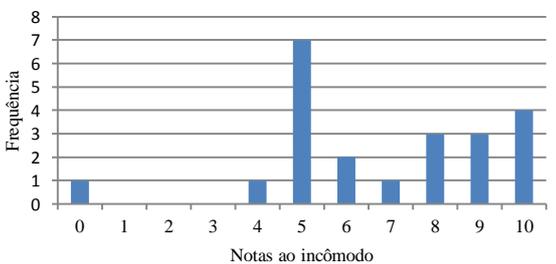
Janeiro de 2013 (n=42)



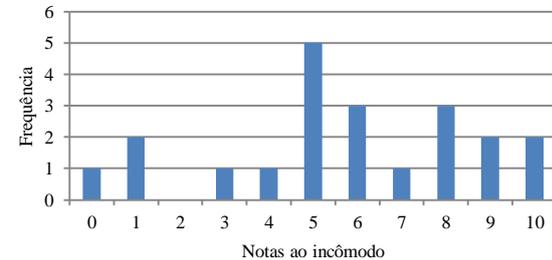
Fevereiro de 2013 (n=26)



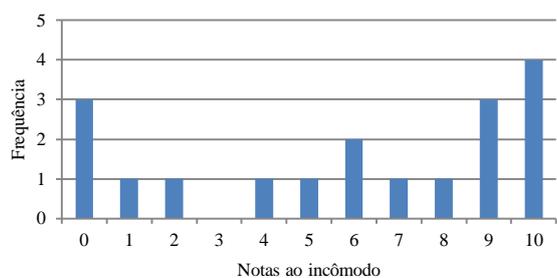
Março de 2013 (n=24)



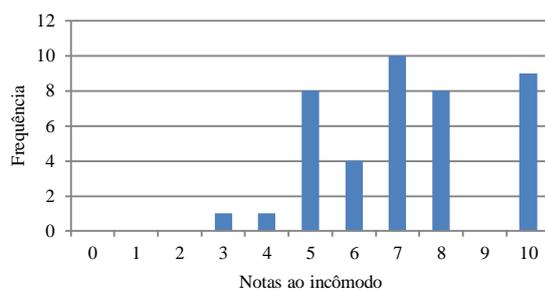
Abril de 2013 (n=22)



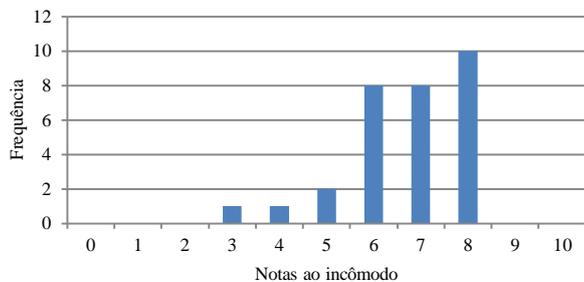
Maio de 2013 (n=21)



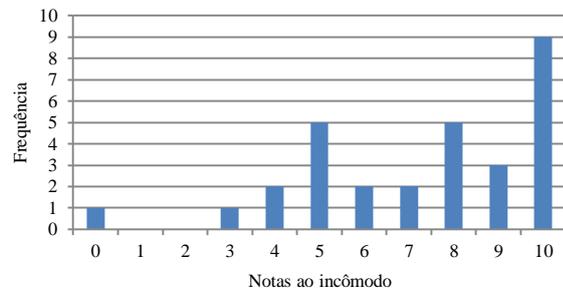
Junho de 2013 (n=18)



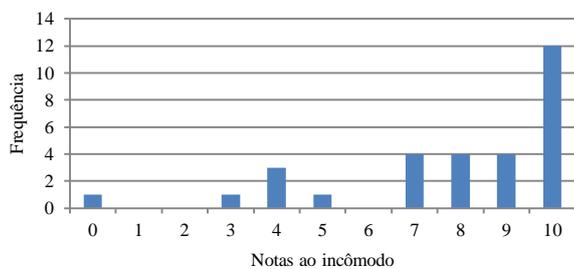
Julho de 2013 (n=41)



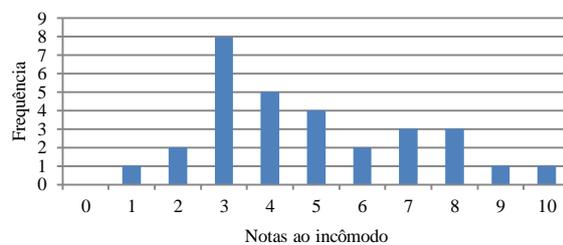
Agosto de 2013 (n=30)



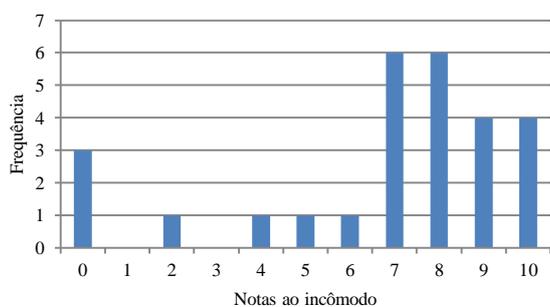
Setembro de 2013 (n=30)



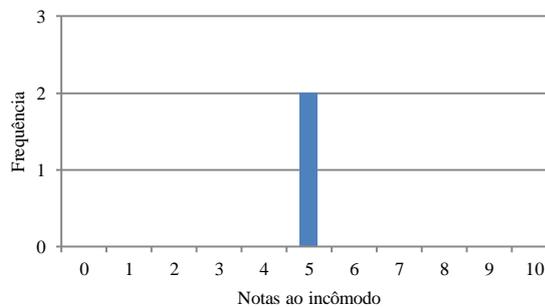
Outubro de 2013 (n=30)



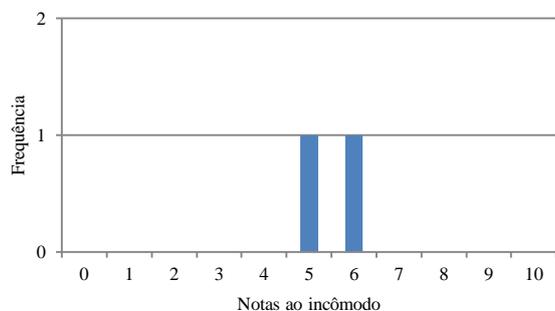
Janeiro de 2014 (n=30)



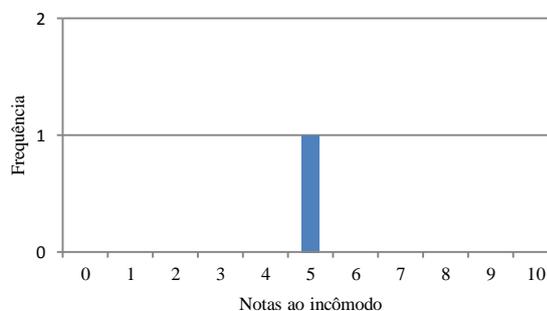
Fevereiro de 2014 (n=27)



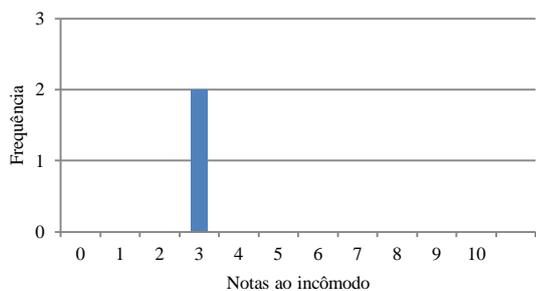
Março de 2014 (n=03)



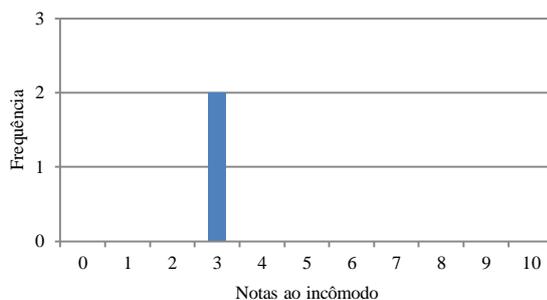
Abril de 2014 (n=02)



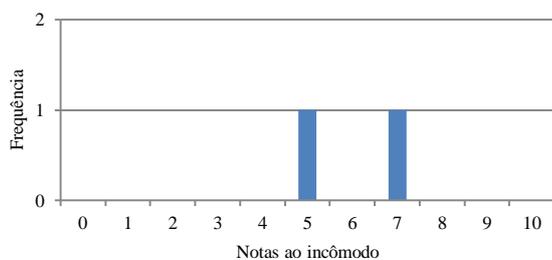
Maio de 2014 (n=01)



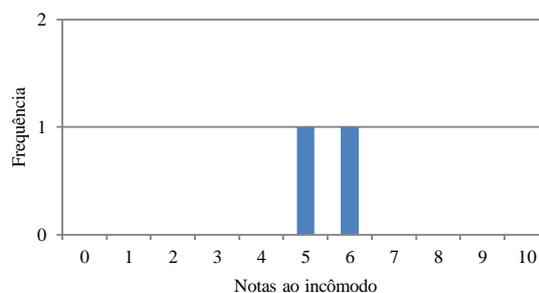
Junho de 2014 (n=02)



Julho de 2014 (n=03)

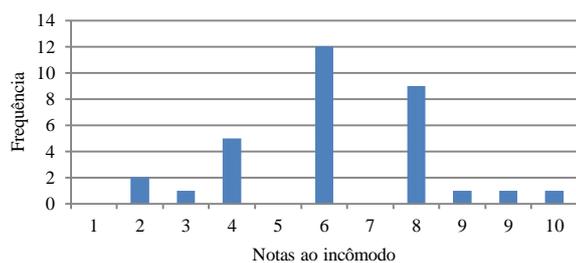


Agosto de 2014 (n=02)

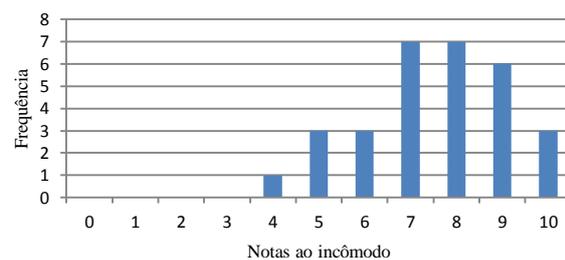


Setembro de 2014 (n=02)

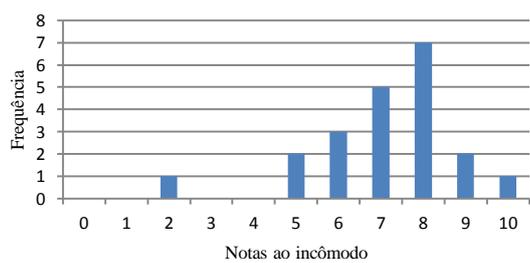
• Jardim Camburi



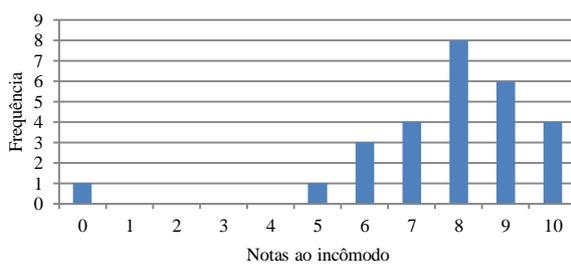
Agosto de 2011 (n=32)



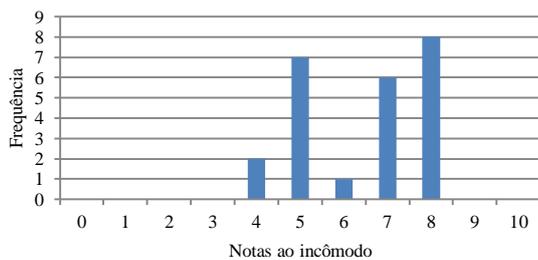
Setembro de 2011 (n=30)



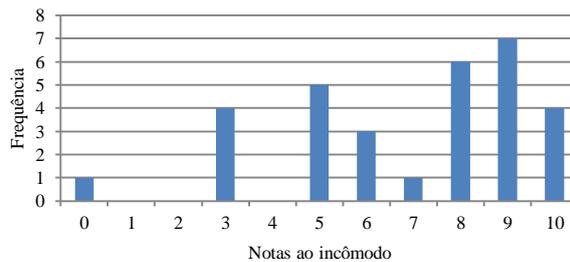
Outubro de 2011 (n=21)



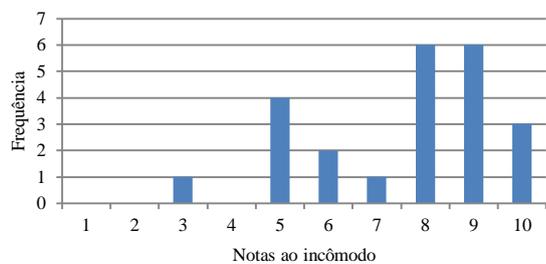
Novembro 2011 (n=27)



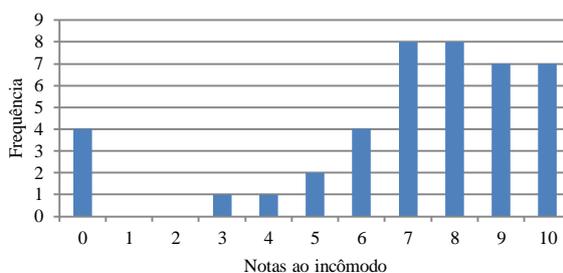
Dezembro de 2011 (n=27)



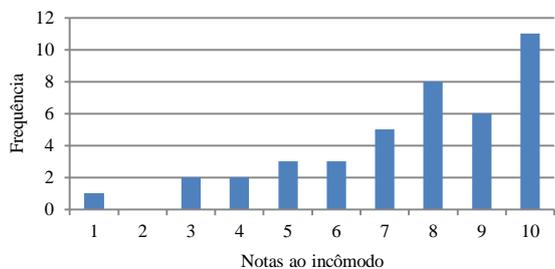
Janeiro de 2012 (n=31)



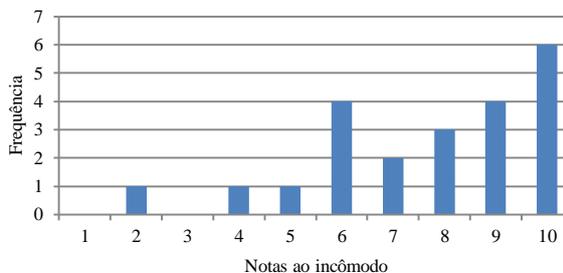
Fevereiro de 2012 (n=24)



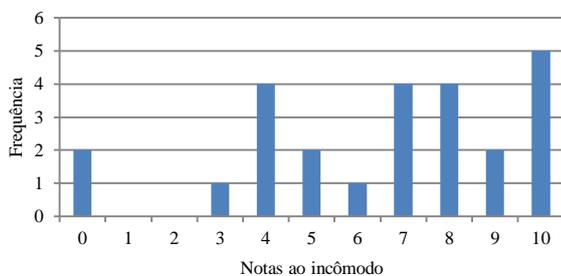
Março de 2012 (n=42)



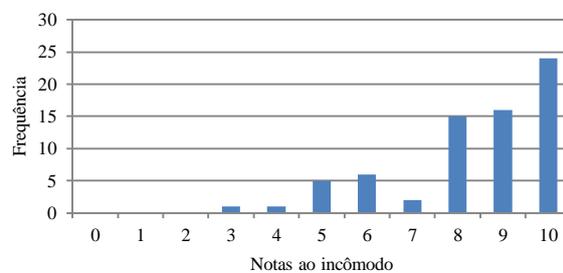
Abril de 2012 (n=42)



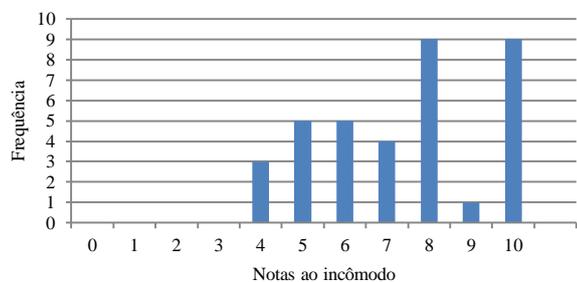
Maio de 2012 (n=22)



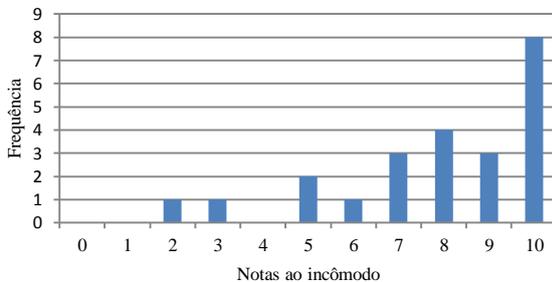
Junho de 2012 (n=27)



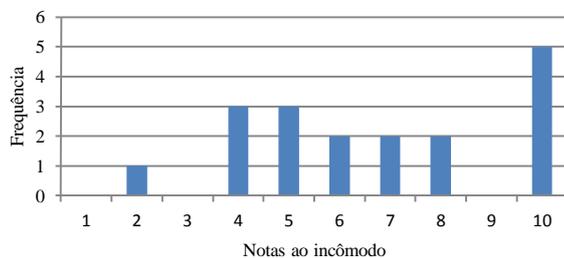
Janeiro de 2013 (n=70)



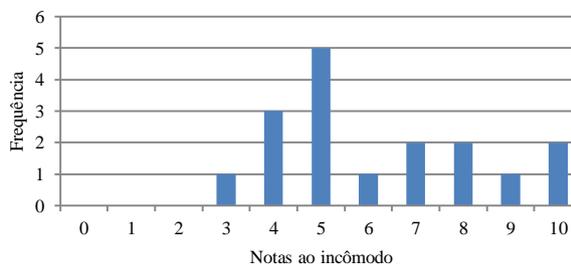
Fevereiro de 2013 (n=36)



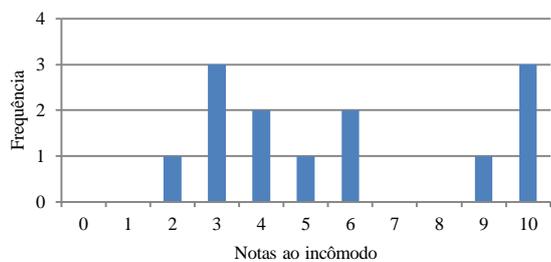
Março de 2013 (n=23)



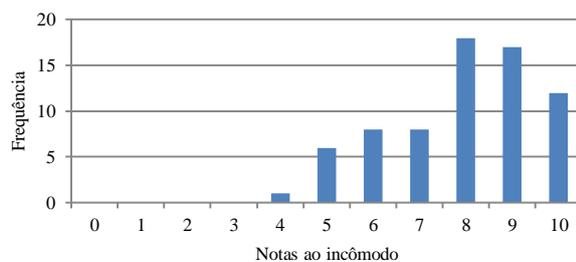
Abril de 2013 (n=18)



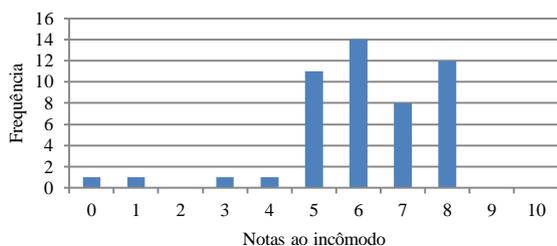
Maio de 2013 (n=17)



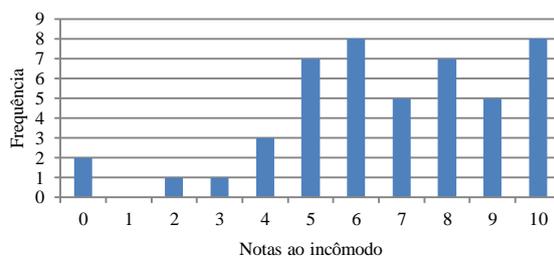
Junho de 2013 (n=13)



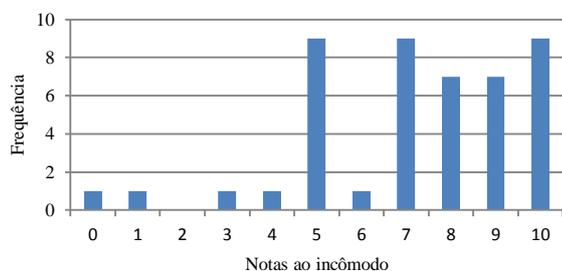
Julho de 2013 (n=70)



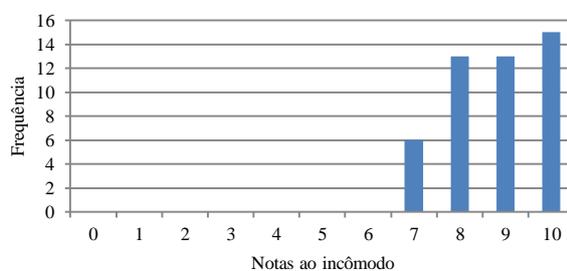
Agosto de 2013 (n=49)



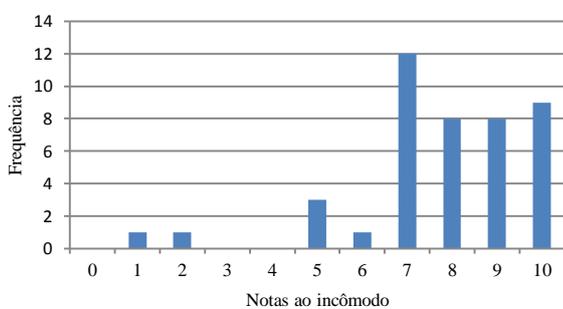
Setembro de 2013 (n=47)



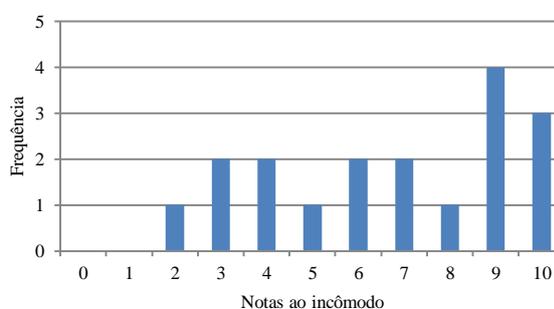
Outubro de 2013 (n=46)



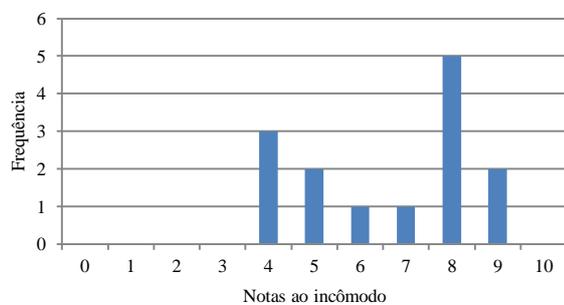
Janeiro de 2014 (n=47)



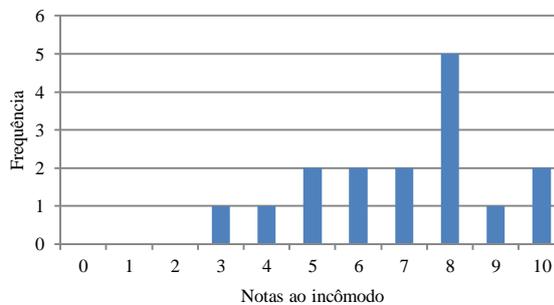
Fevereiro de 2014 (n=43)



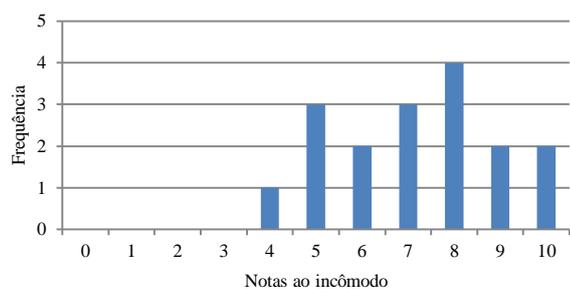
Março de 2014 (n=18)



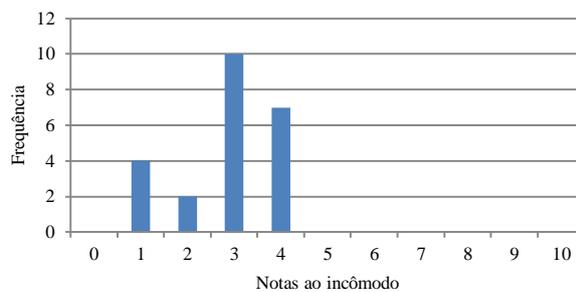
Abril de 2014 (n=14)



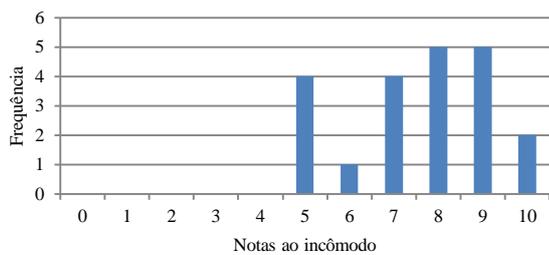
Maio de 2014 (n=16)



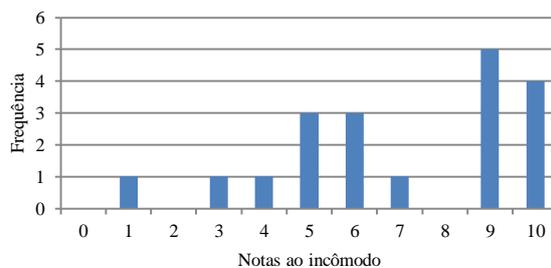
Junho de 2014 (n=17)



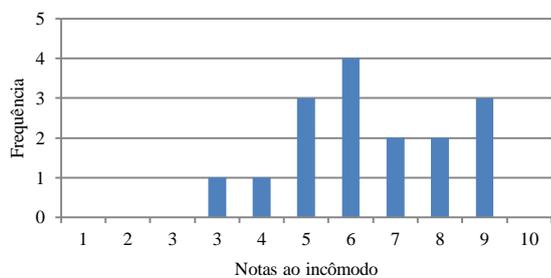
Julho de 2014 (n=23)



Agosto de 2014 (n=21)

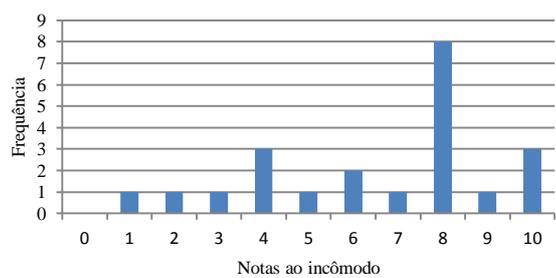


Setembro de 2014 (n=19)

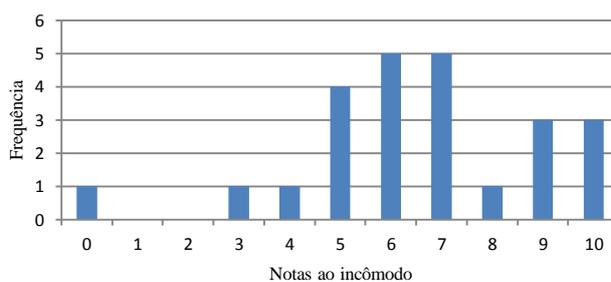


Outubro de 2014 (n=16)

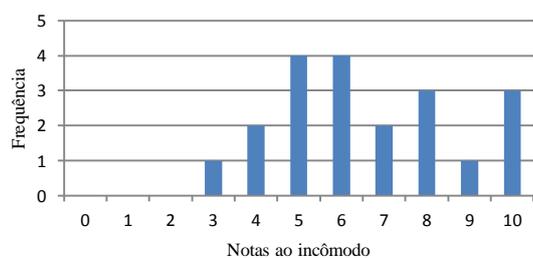
• Centro de Vitória



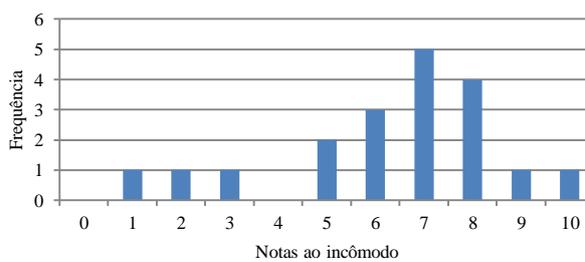
Agosto de 2011(n=25)



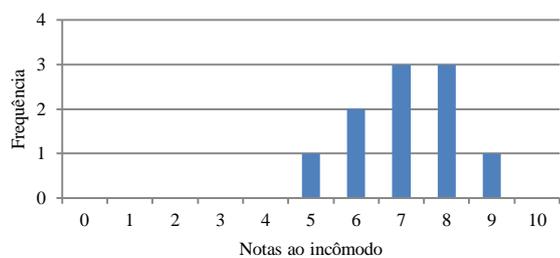
Setembro de 2011 (n=24)



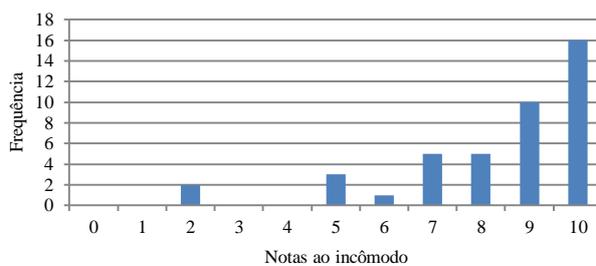
Outubro de 2011 (n=20)



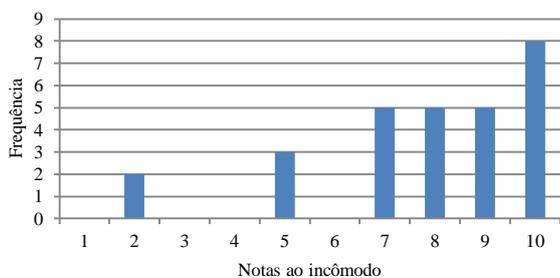
Novembro 2011 (n=18)



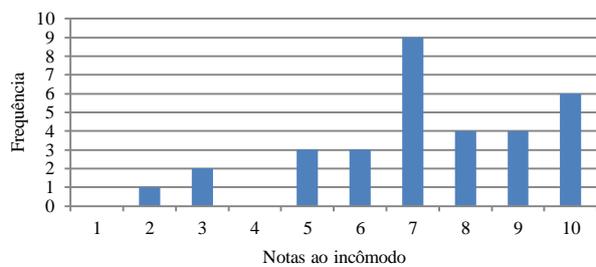
Dezembro de 2011 (n=18)



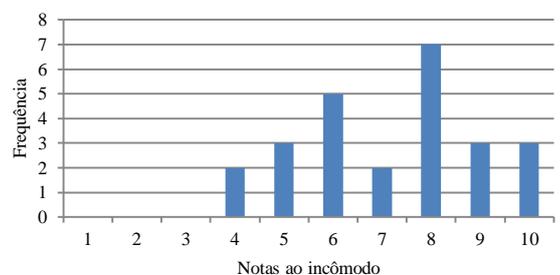
Janeiro de 2012 (n=42)



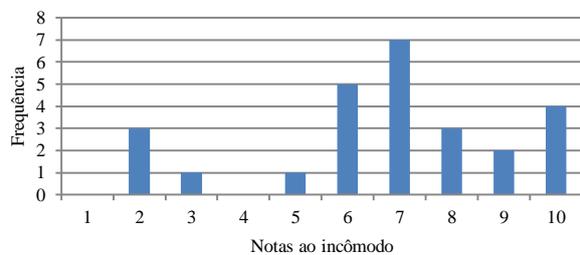
Fevereiro de 2012 (n=29)



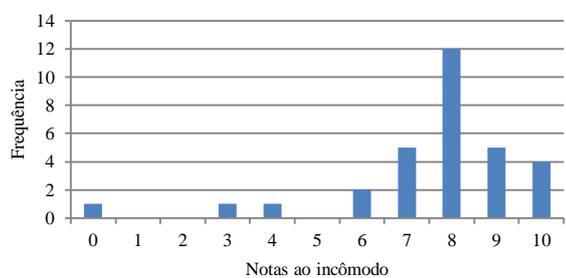
Março de 2012 (n=32)



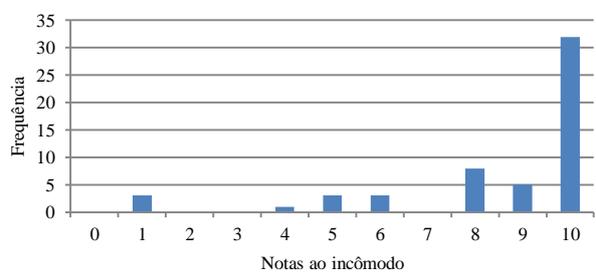
Abril de 2012 (n=26)



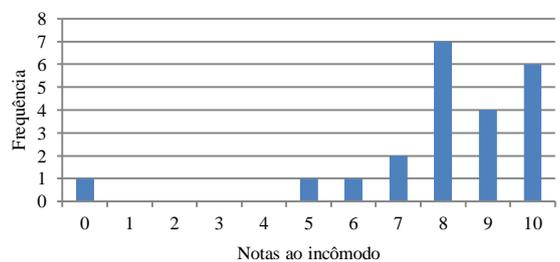
Maio de 2012 (n=26)



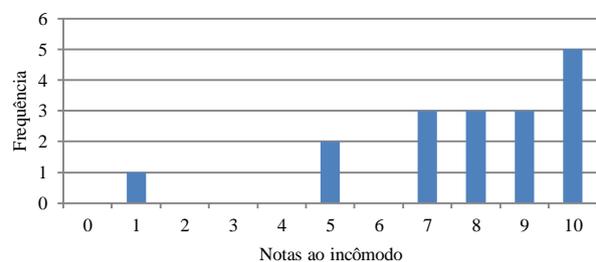
Junho de 2012 (n=31)



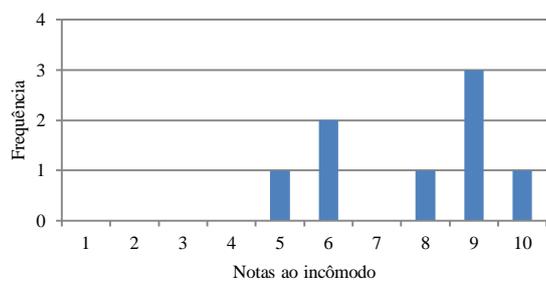
Janeiro de 2013 (n=55)



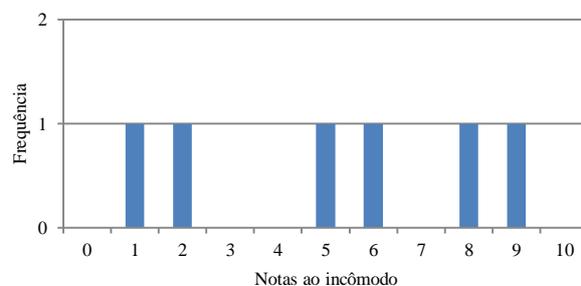
Fevereiro de 2013 (n=22)



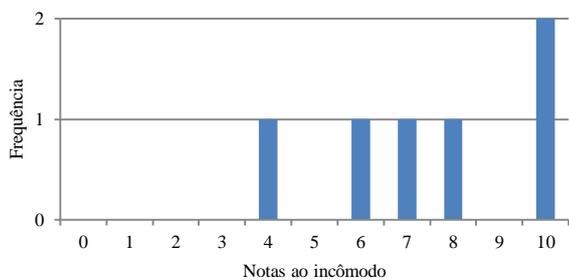
Março de 2013 (n=17)



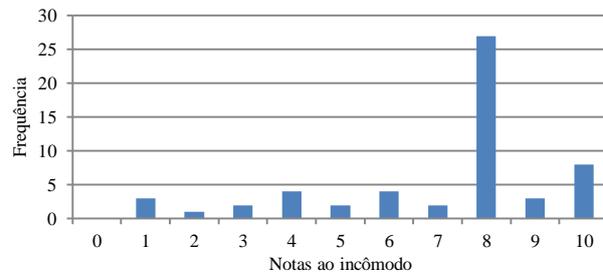
Abril de 2013 (n=08)



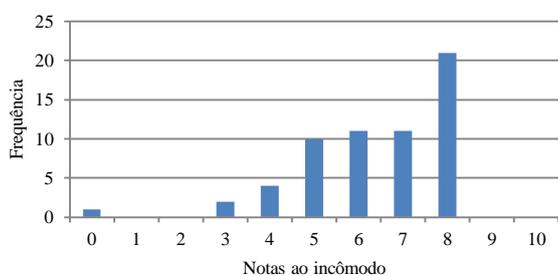
Maio de 2013 (n=06)



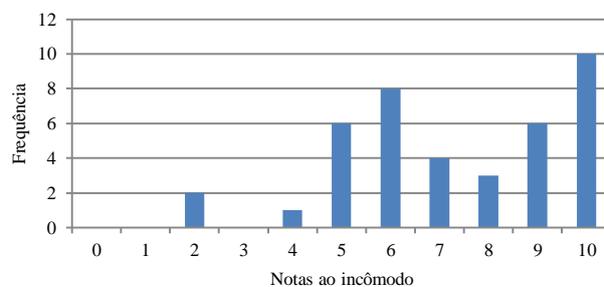
Junho de 2013 (n=06)



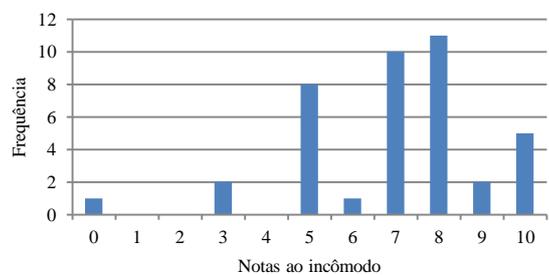
Julho de 2013 (n=56)



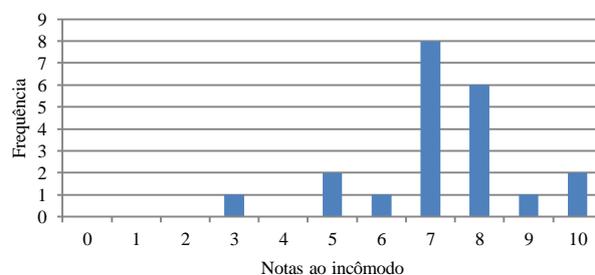
Agosto de 2013 (n=38)



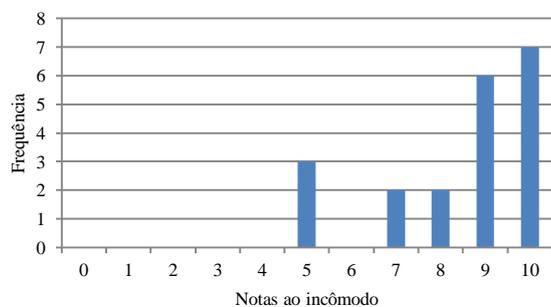
Setembro de 2013 (n=41)



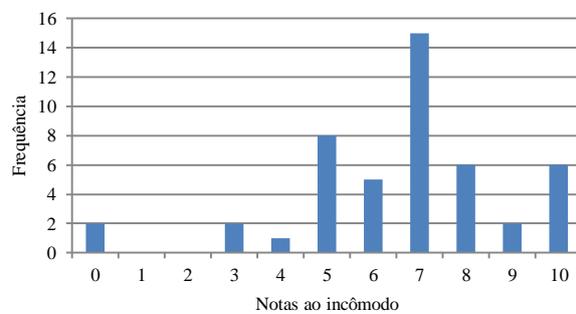
Outubro de 2013 (n=40)



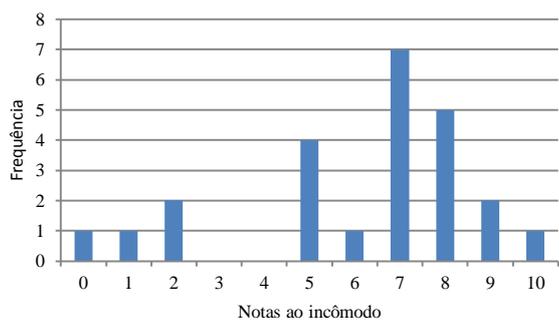
Janeiro de 2014 (n=21)



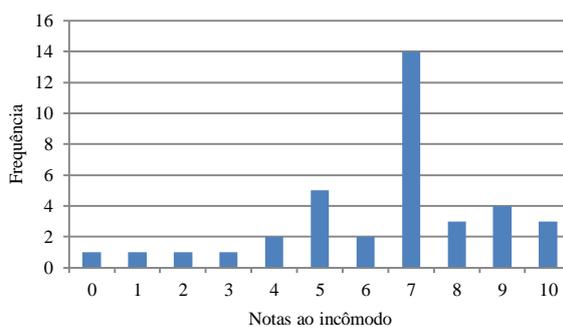
Fevereiro de 2014 (n=20)



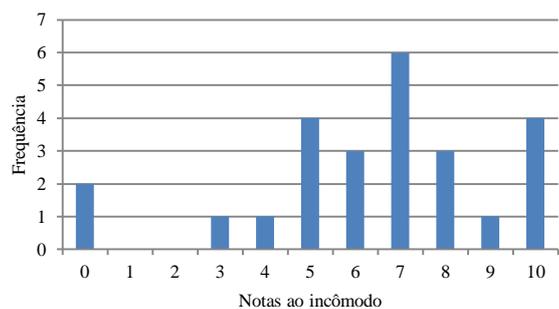
Março de 2014 (n=47)



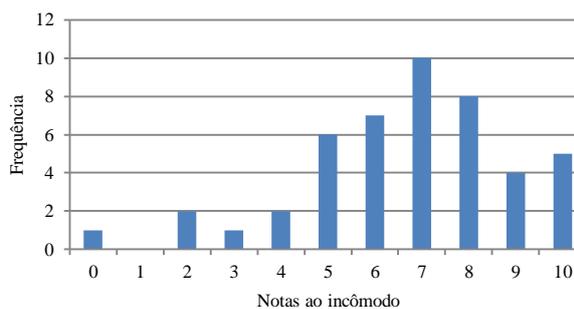
Abril de 2014 (n=24)



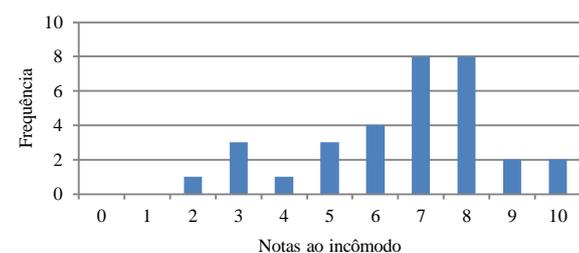
Maio de 2014 (n=36)



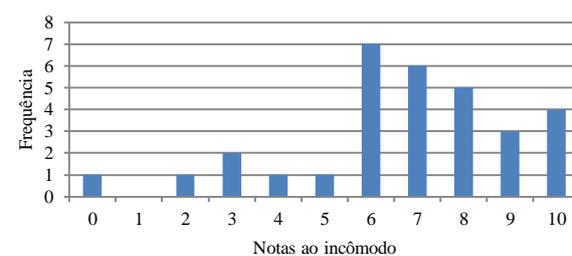
Junho de 2014 (n=25)



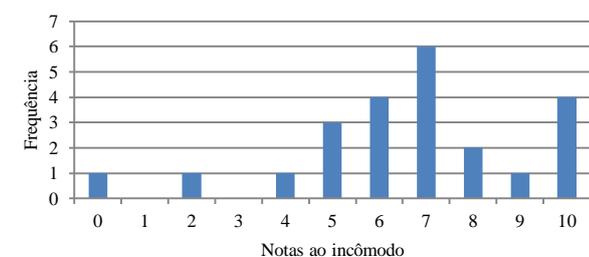
Julho de 2014 (n=45)



Agosto de 2014 (n=32)

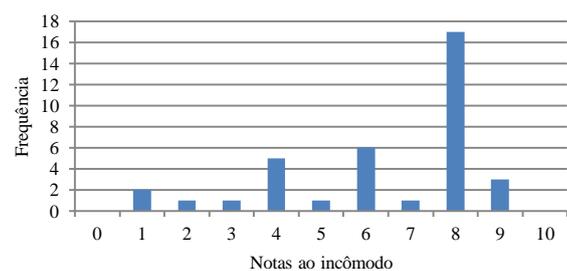


Setembro de 2014 (n=31)

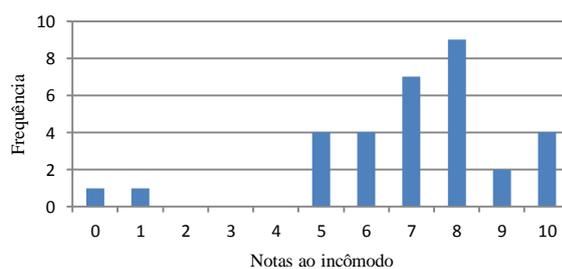


Outubro de 2014 (n=23)

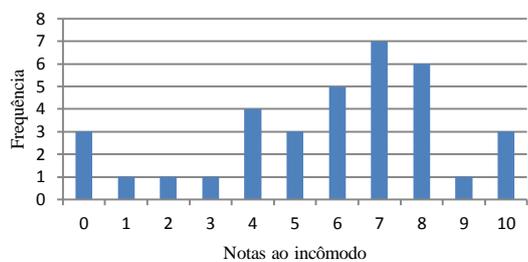
- **Enseada do Suá**



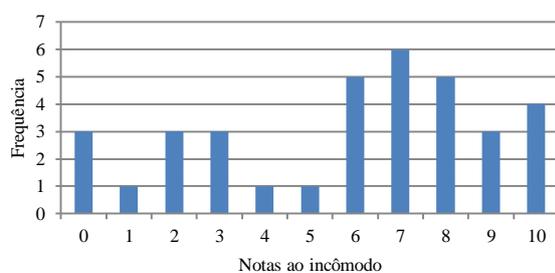
Agosto de 2011(n=37)



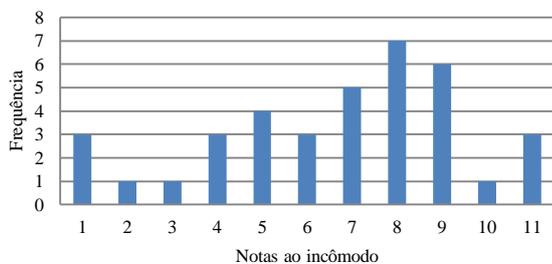
Setembro de 2011 (n=32)



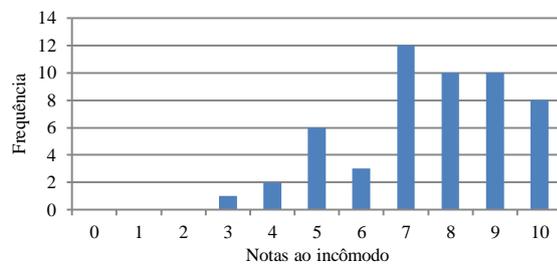
Outubro de 2011 (n=35)



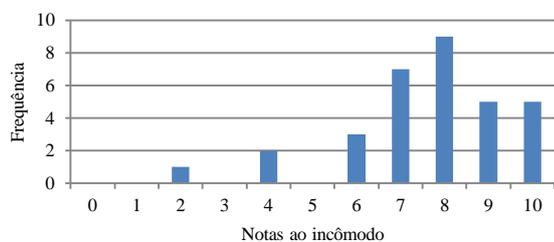
Novembro 2011 (n=35)



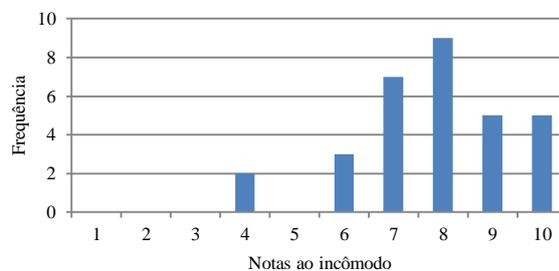
Dezembro de 2011 (n=32)



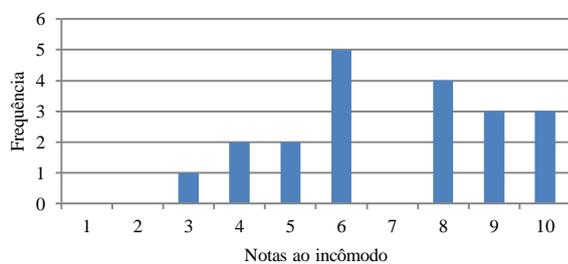
Janeiro de 2012 (n=52)



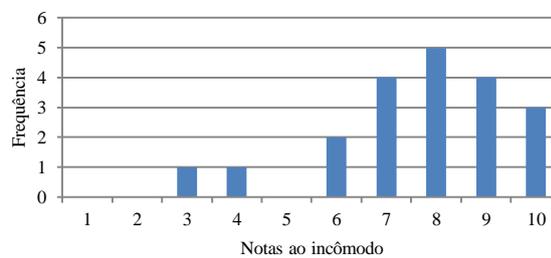
Fevereiro de 2012 (n=32)



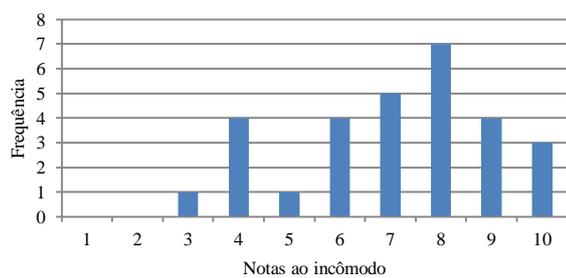
Março de 2012 (n=31)



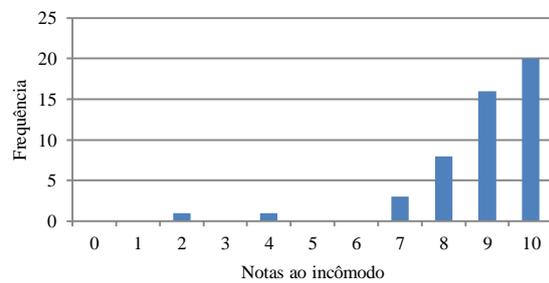
Abril de 2012 (n=21)



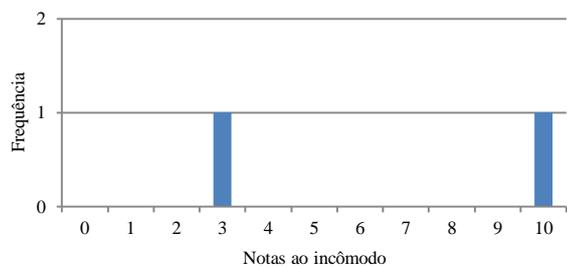
Maio de 2012 (n=21)



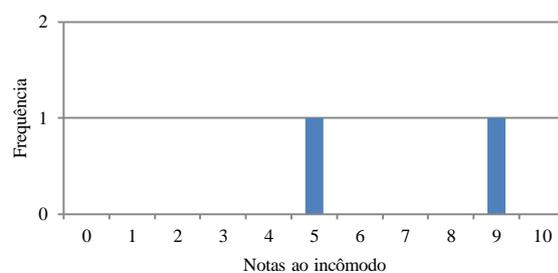
Junho de 2012 (n=29)



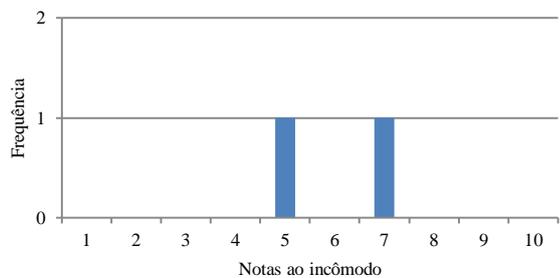
Janeiro de 2013 (n=49)



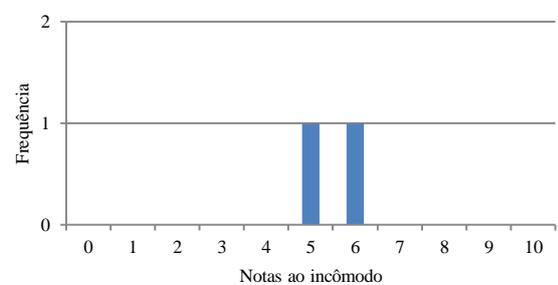
Fevereiro de 2013 (n=02)



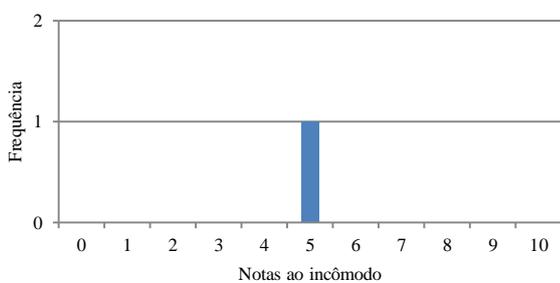
Março de 2013 (n=02)



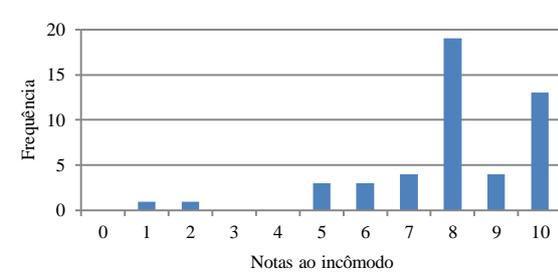
Abril de 2013 (n=02)



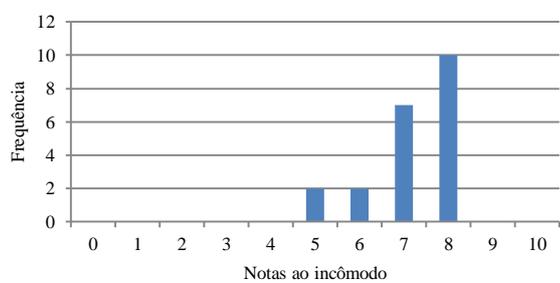
Maio de 2013 (n=02)



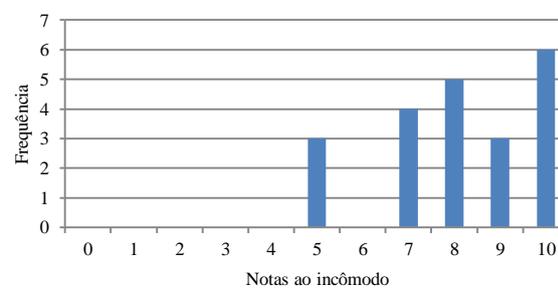
Junho de 2013 (n=01)



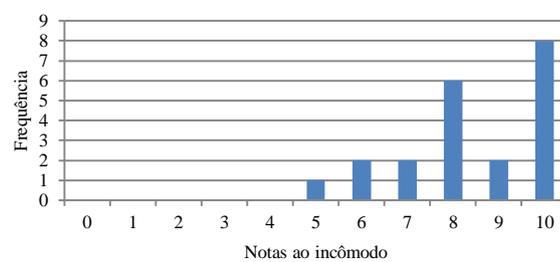
Julho de 2013 (n=48)



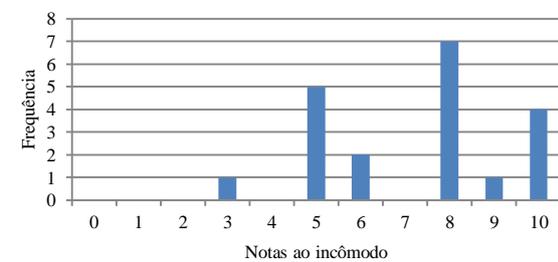
Agosto de 2013 (n=21)



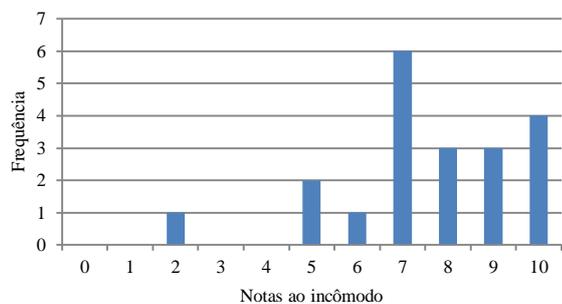
Setembro de 2013 (n=21)



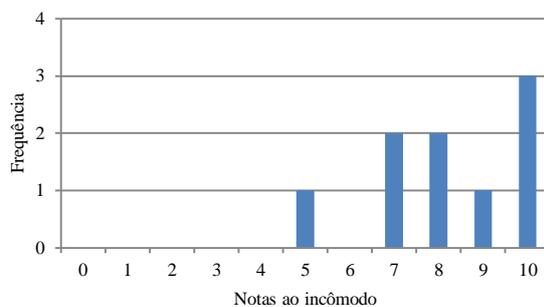
Outubro de 2013 (n=21)



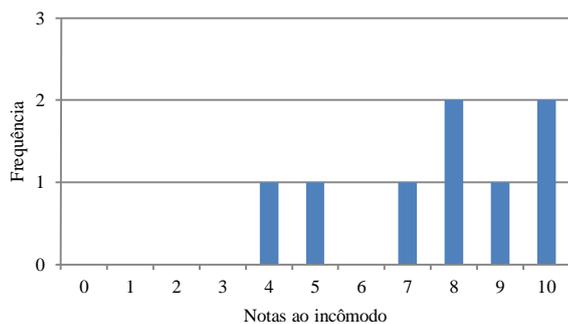
Janeiro de 2014 (n=20)



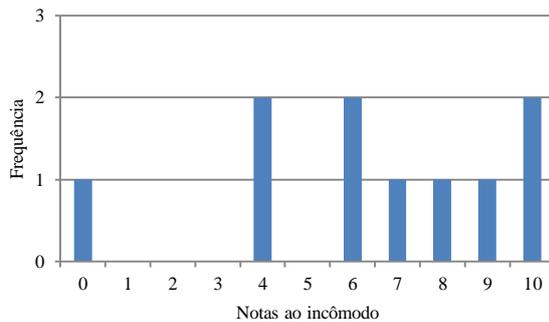
Fevereiro de 2014 (n=20)



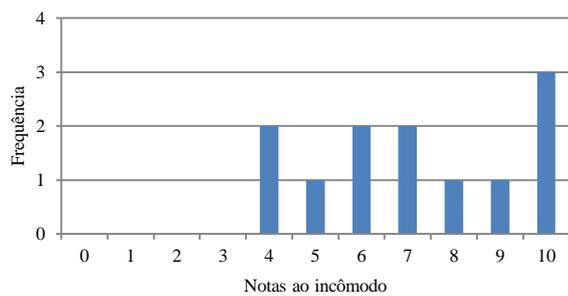
Março de 2014 (n=09)



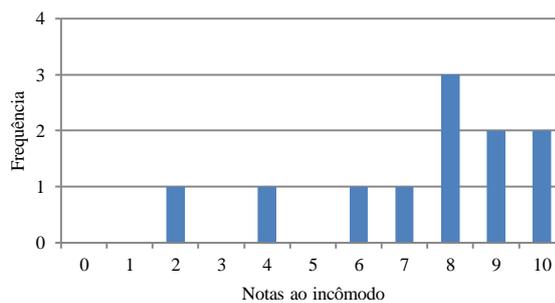
Abril de 2014 (n=08)



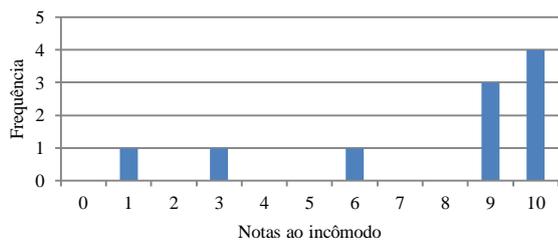
Maio de 2014 (n=10)



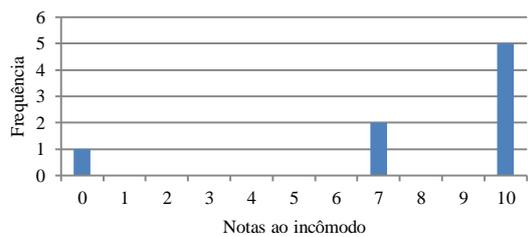
Junho de 2014 (n=12)



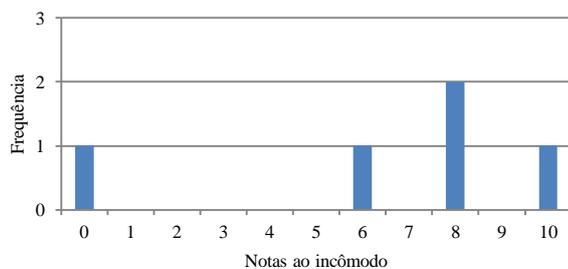
Julho de 2014 (n=11)



Agosto de 2014 (n=07)

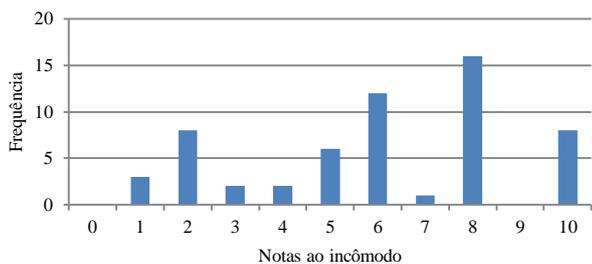


Setembro de 2014 (n=08)

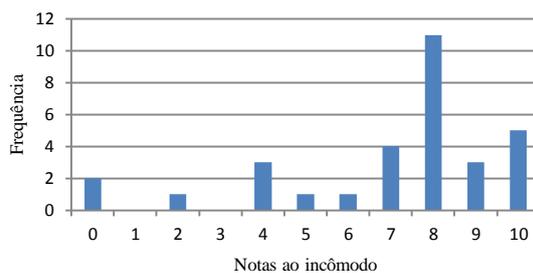


Outubro de 2014 (n=05)

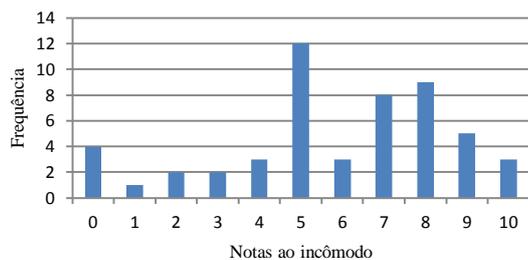
- Cariacica**



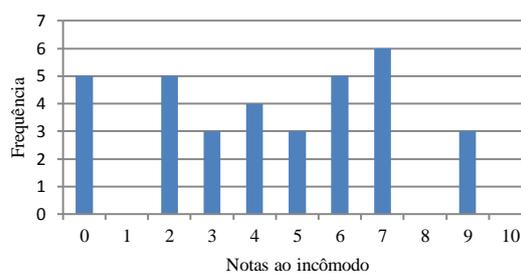
Agosto de 2011 (n=58)



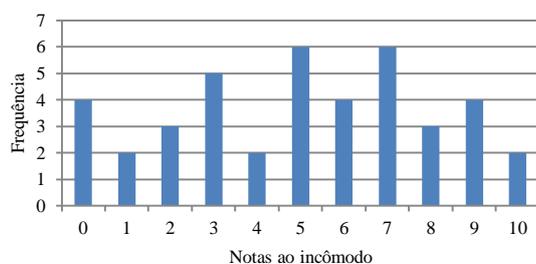
Setembro de 2011 (n=31)



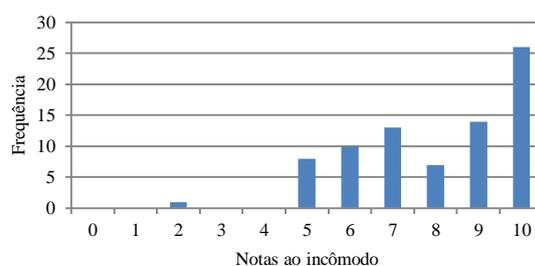
Outubro de 2011 (n=52)



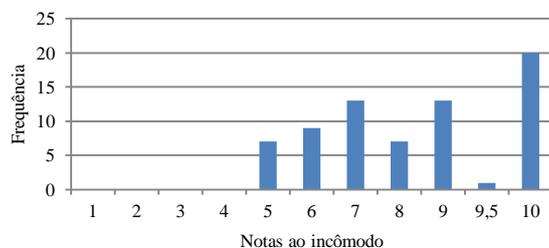
Novembro 2011 (n=34)



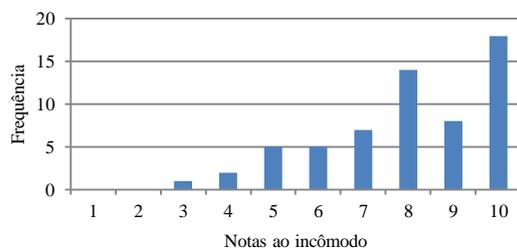
Dezembro de 2011 (n=41)



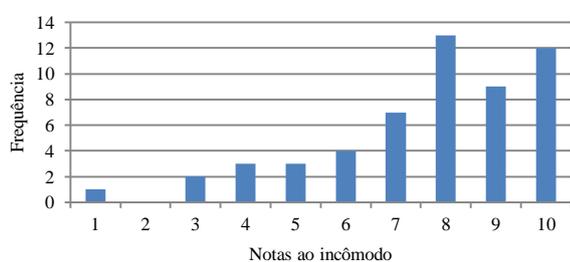
Janeiro de 2012 (n=79)



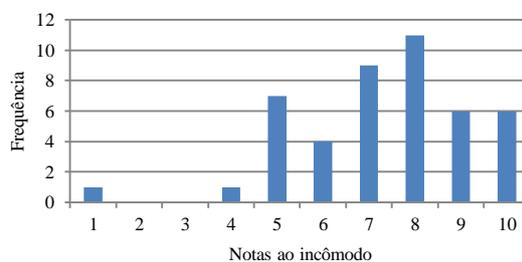
Fevereiro de 2012 (n=70)



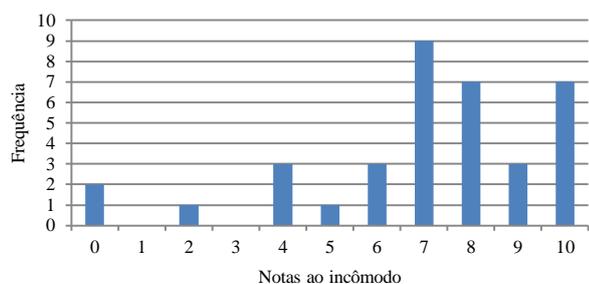
Março de 2012 (n=61)



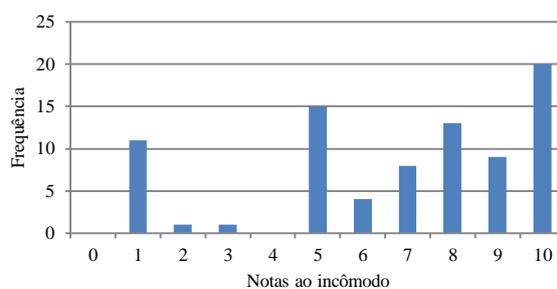
Abril de 2012 (n=57)



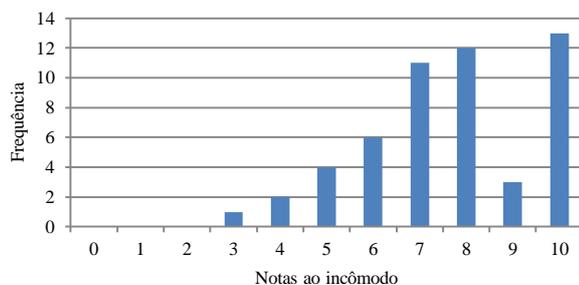
Maio de 2012 (n=47)



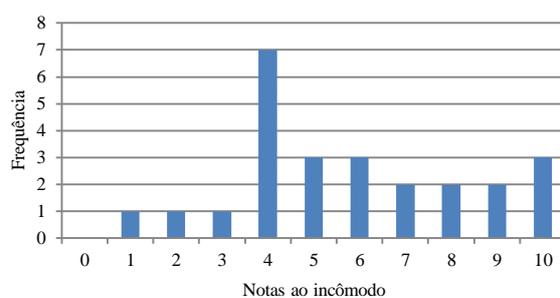
Junho de 2012 (n=36)



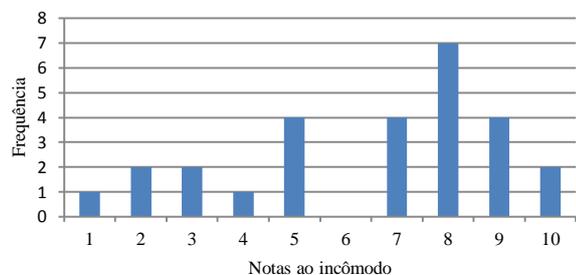
Janeiro de 2013 (n=82)



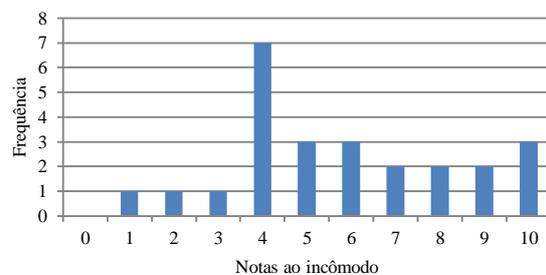
Fevereiro de 2013 (n=52)



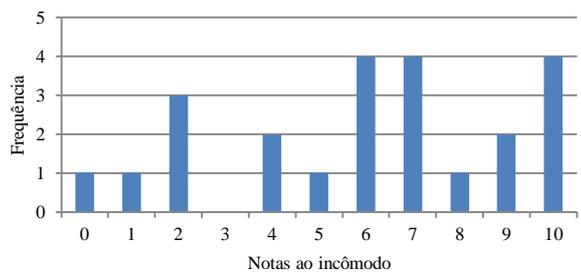
Março de 2013 (n=28)



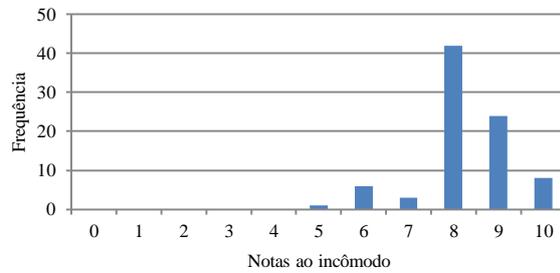
Abril de 2013 (n=27)



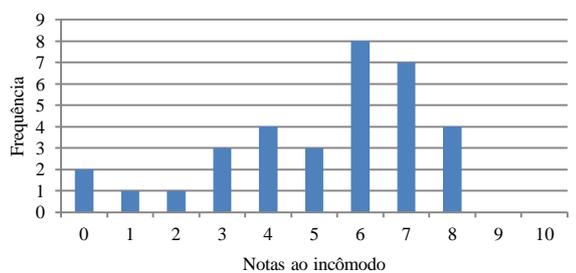
Maio de 2013 (n=25)



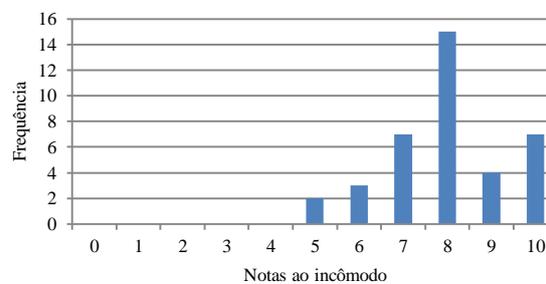
Junho de 2013 (n=23)



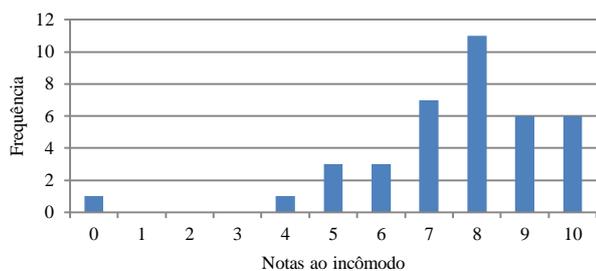
Julho de 2013 (n=84)



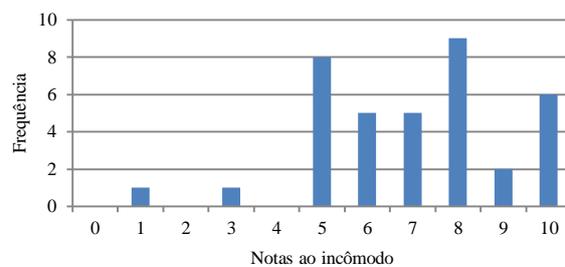
Agosto de 2013 (n=33)



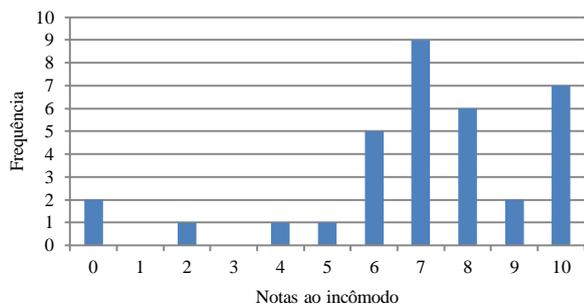
Setembro de 2013 (n=38)



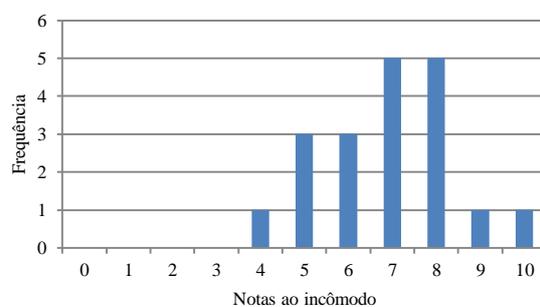
Outubro de 2013 (n=61)



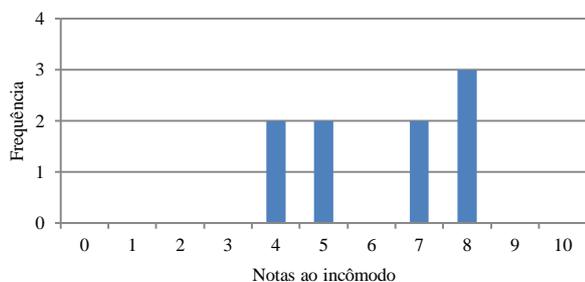
Janeiro de 2014 (n=37)



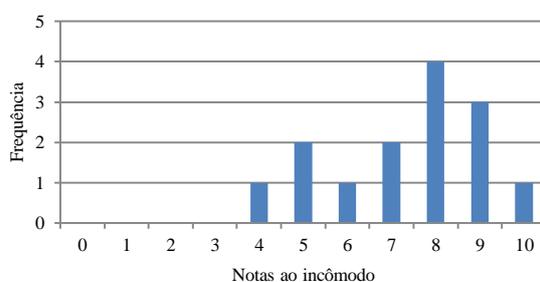
Fevereiro de 2014 (n=34)



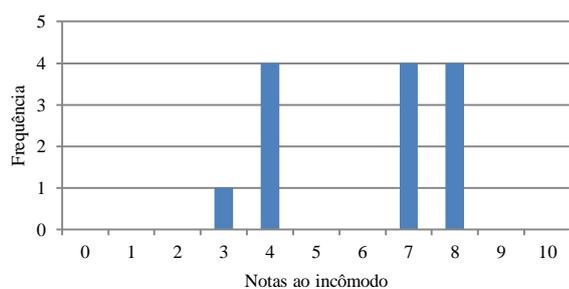
Março de 2014 (n=19)



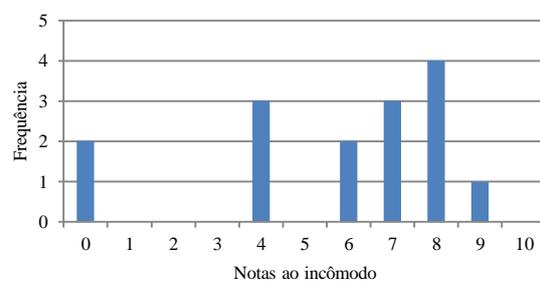
Abril de 2014 (n=19)



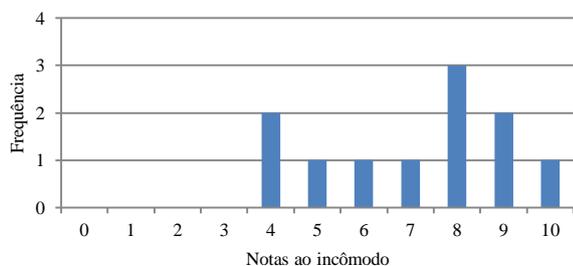
Maio de 2014 (n=14)



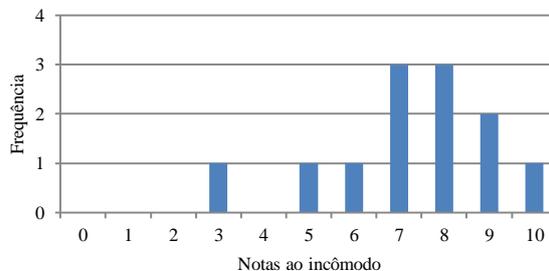
Junho de 2014 (n=13)



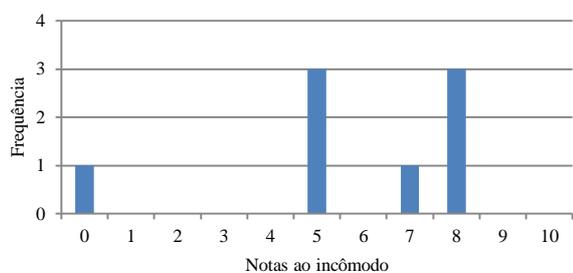
Julho de 2014 (n=15)



Agosto de 2014 (n=11)

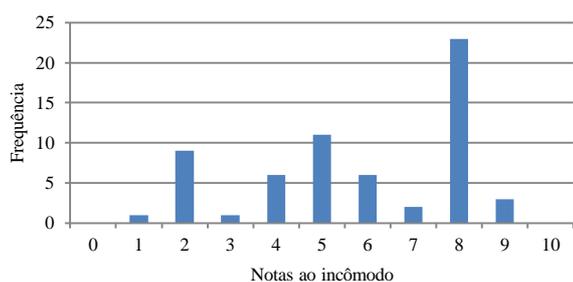


Setembro de 2014 (n=12)

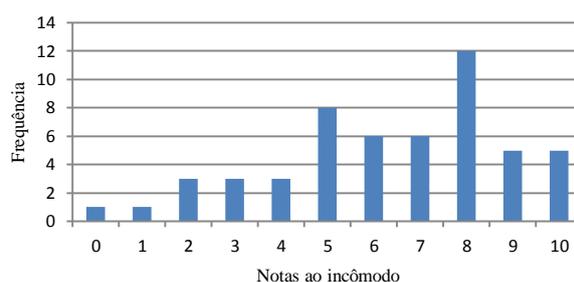


Outubro de 2014 (n=08)

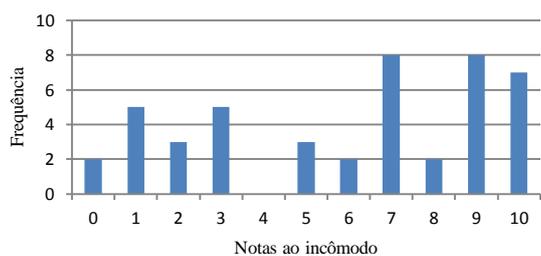
- **Centro de Vila Velha**



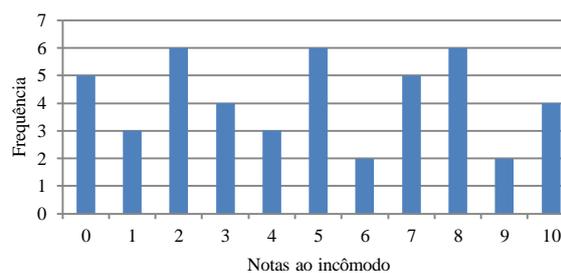
Agosto de 2011 (n=62)



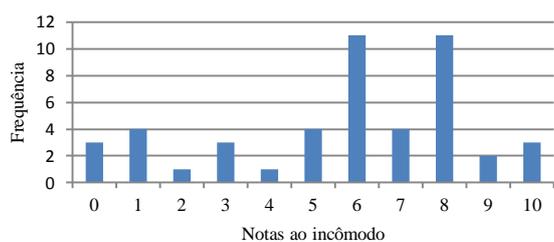
Setembro de 2011 (n=53)



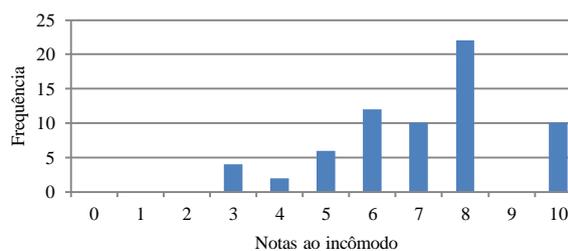
Outubro de 2011 (n=45)



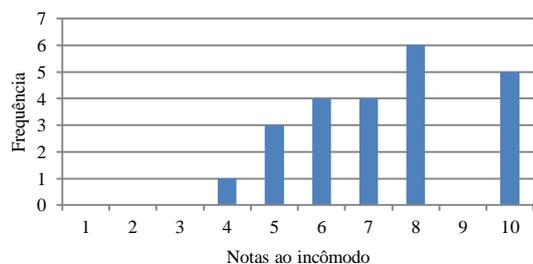
Novembro 2011 (n=46)



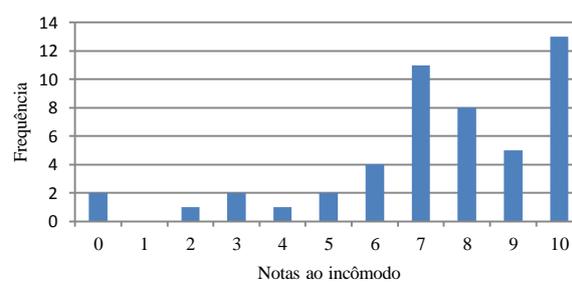
Dezembro de 2011 (n=47)



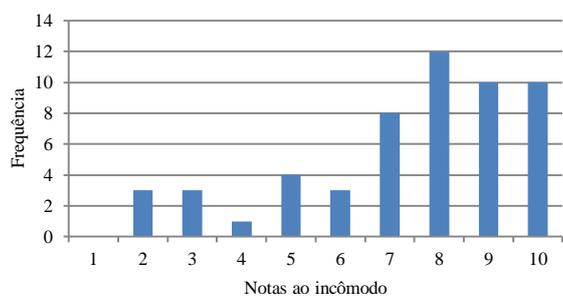
Janeiro de 2012 (n=66)



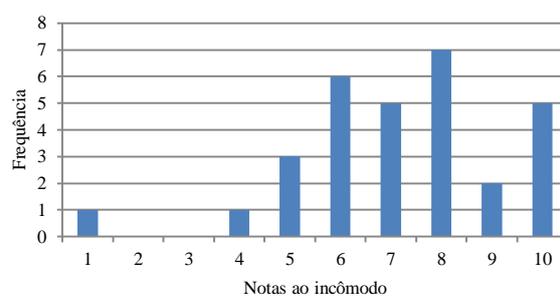
Fevereiro de 2012 (n=24)



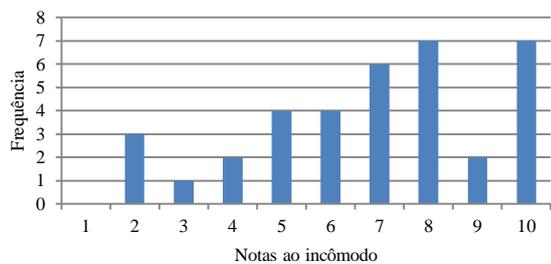
Março de 2012 (n=49)



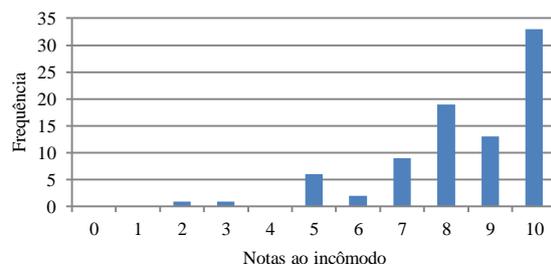
Abril de 2012 (n=55)



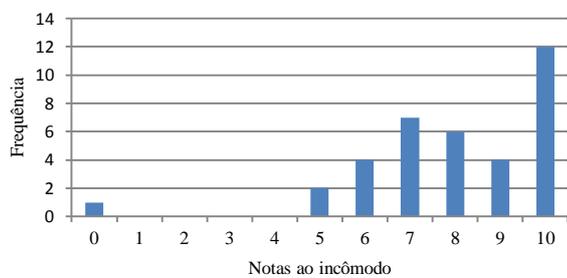
Maio de 2012 (n=30)



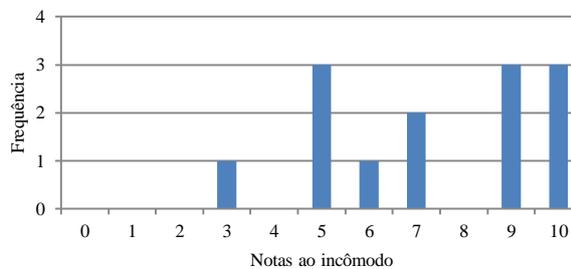
Junho de 2012 (n=36)



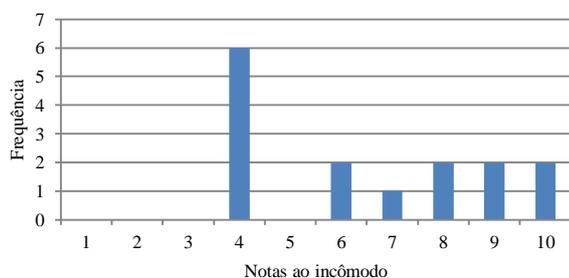
Janeiro de 2013 (n=84)



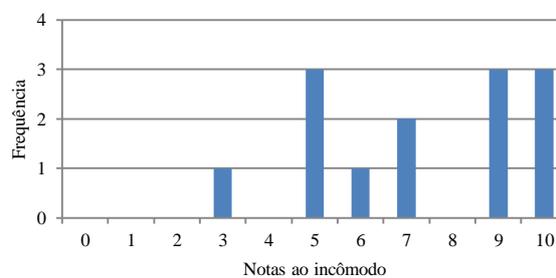
Fevereiro de 2013 (n=36)



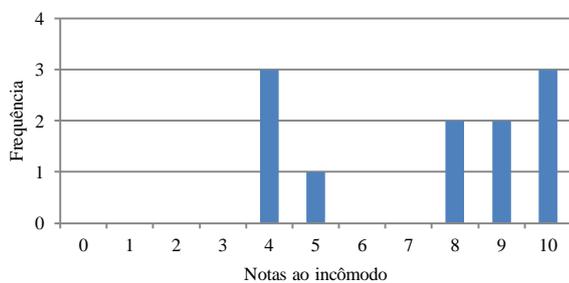
Março de 2013 (n=20)



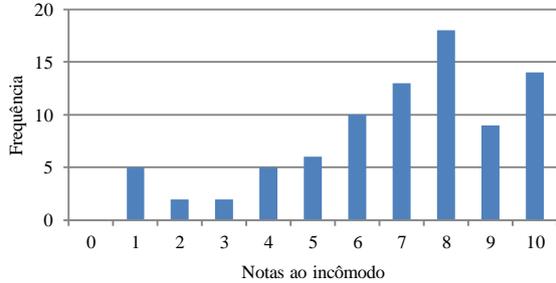
Abril de 2013 (n=15)



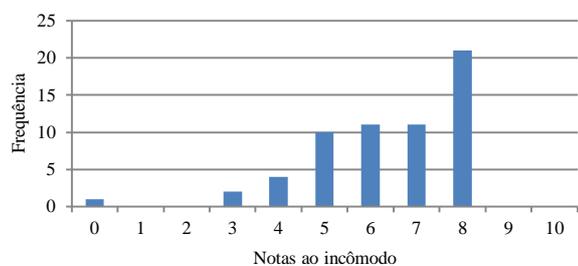
Maio de 2013 (n=13)



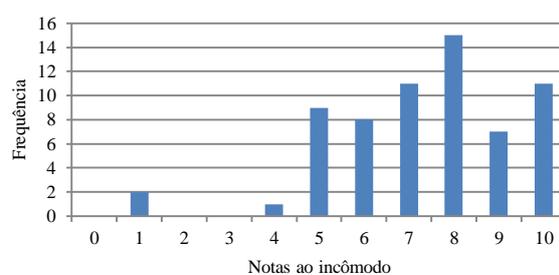
Junho de 2013 (n=11)



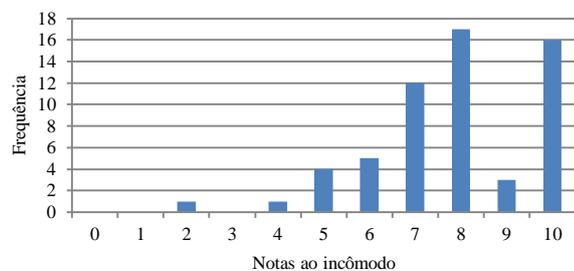
Julho de 2013 (n=84)



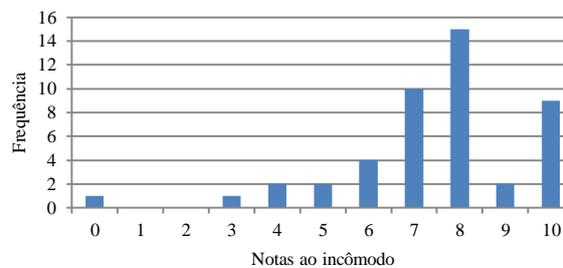
Agosto de 2013 (n=60)



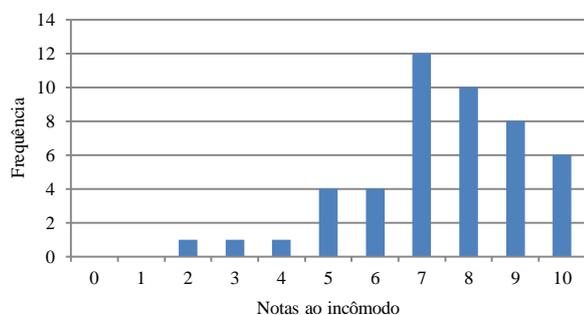
Setembro de 2013 (n=64)



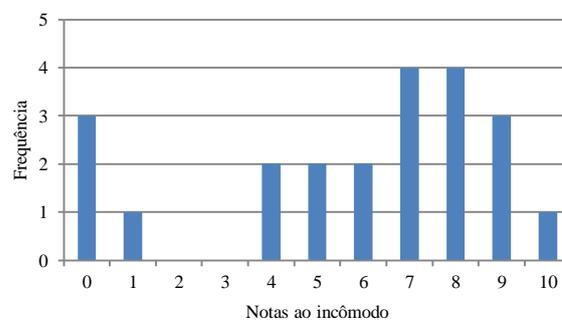
Outubro de 2013 (n=59)



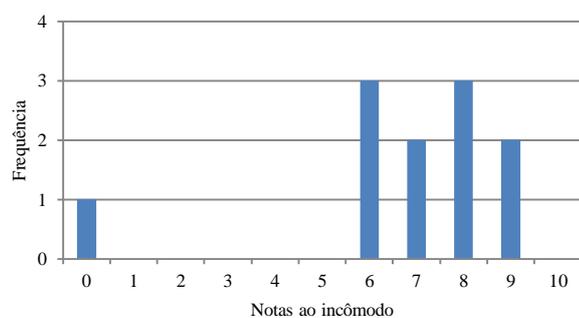
Janeiro de 2014 (n=46)



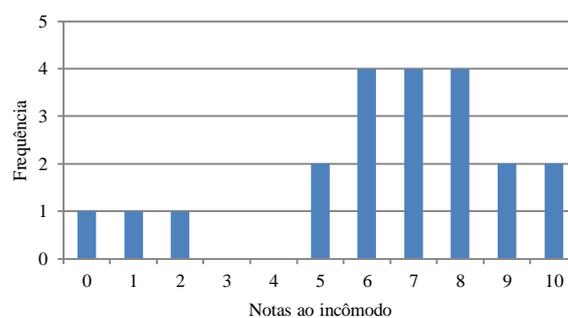
Fevereiro de 2014 (n=47)



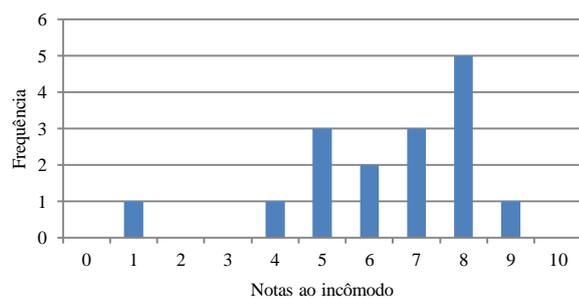
Março de 2014 (n=22)



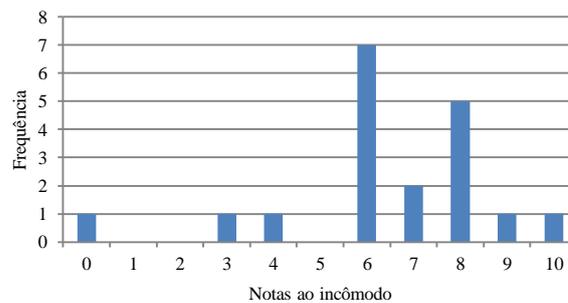
Abril de 2014 (n=11)



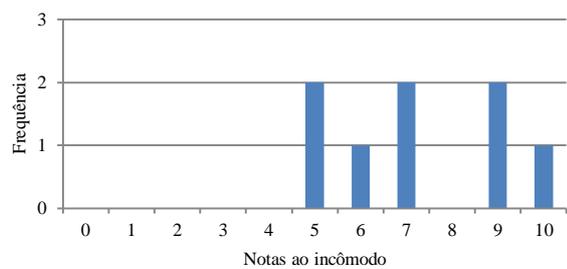
Maio de 2014 (n=20)



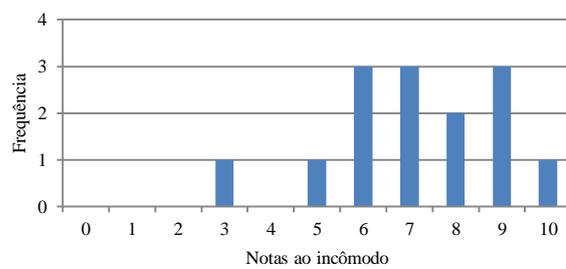
Junho de 2014 (n=16)



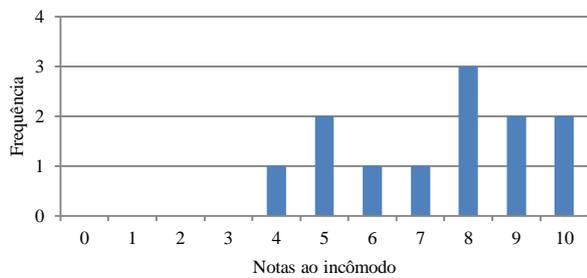
Julho de 2014 (n=18)



Agosto de 2014 (n=08)



Setembro de 2014 (n=14)



Outubro de 2014 (n=12)

APÊNDICE D – Conceitos e técnicas estatísticas

i. Conceitos básicos

A Tabela 1 apresenta uma seleção de conceitos adotados no decorrer do presente estudo.

TABELA 1 – CONCEITOS ESTATÍSTICA BÁSICA

Amostra	Uma parte de elementos retirados de uma população, a qual se pretende estudar.
Mediana	Valor que ocupa a posição central da série de observações, quando estes estão ordenados em ordem crescente.
Moda	Valor com realização mais frequente do conjunto de valores observados.
Média Aritmética	É a soma das observações dividida pelo número delas.
Desvio Padrão	Mede a variabilidade de dados em torno da média aritmética. É definida como sendo a raiz quadrada da variância.
Variância	É uma medida de dispersão ou espalhamento dos dados em torno de possíveis valores de uma variável aleatório.
Erro amostral ou variabilidade amostral	É a diferença entre a estimativa da amostra e o parâmetro da população.
Percentis	Medida estatística que divide o conjunto de dados de uma série em cem (100) partes iguais permitindo avaliar o posicionamento dos dados, esclarecendo seu comportamento.
Variação interquartilica	Corresponde à diferença entre o 3º quartil ($Q_3 = 75\%$) e o 1º quartil ($Q_1 = 25\%$). É bastante utilizado na determinação de <i>outliers</i> de uma amostra.
Graus de liberdade	Parâmetro que a define e caracteriza a forma de uma distribuição de probabilidades. É uma medida da possibilidade de combinações ao acaso.
Níveis de significância (p-valor)	Indica a probabilidade de ocorrer valores da estatística de teste mais extremos do que o observado (estatística), sob a hipótese de H_0 (hipótese nula) ser verdadeira. São aceitos como estatisticamente significativos os níveis $p=0,05$ e $p=0,01$, ou seja, 5% e 1% respectivamente. Por exemplo, admite-se um p -valor menor ou igual 0,05, ou seja, assume-se como margem de segurança 5% de chances de erro, ou olhando por outro ângulo, 95% de chances de estar certo.
Intervalo de confiança	Intervalo estimado de um parâmetro de interesse em uma população. Neste caso, é dado um intervalo de estimativas prováveis. O quanto estas estimativas são possíveis, é determinado pelo coeficiente de confiança $(1-\alpha)$, onde α é o nível de significância. Por exemplo, se estabelecermos um intervalo de confiança $(1-\alpha) = 95\%$, α será igual a 0,05; o que significa que ao estimar o parâmetro pode-se utilizar amostra dentre as 5% que gerem estimativas intervalares cujos erros amostrais encontram-se acima do desejado.

ii. Teste Qui-quadrado de Associação

De acordo com Bussab e Morettin (2010), considere duas variáveis qualitativas X e Y, classificadas em r categorias A_1, A_2, \dots, A_r para X, e s categorias B_1, B_2, \dots, B_s , para Y, descritas conforme a Tabela 2:

TABELA 2: VARIÁVEIS QUALITATIVAS X E Y CLASSIFICADAS EM R CATEGORIAS.

X	Y						Total
	B ₁	B ₂	...	B _j	...	B _s	
A ₁	n ₁₁	n ₁₂	...	n _{1j}	...	n _{1s}	n _{1.}
A ₂	n ₂₁	n ₂₂	...	n _{2j}	...	n _{2s}	n _{2.}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A _i	n _{i1}	n _{i2}	...	n _{ij}	...	n _{is}	n _{i.}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A _r	n _{r1}	n _{r2}	...	n _{rj}	...	n _{rs}	n _{r.}
Total	n _{.1}	n _{.2}	...	n _{.j}	...	n _{.s}	n _{..}

onde:

n_{ij} indica o número de elementos pertencentes à i -ésima categoria de X e j -ésima categoria de Y;

$n_{i.} = \sum_{j=1}^s n_{ij}$ indica o número de elementos da i -ésima categoria de X;

$n_{.j} = \sum_{i=1}^r n_{ij}$ indica o número de elementos da j -ésima categoria de Y;

$n_{..} = n = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s n_{ij}$ é o número total de elementos.

Sob a hipótese de que as variáveis X e Y não sejam associadas, temos que (Eq. 1):

$$\frac{n_{i1}}{n_{.1}} = \frac{n_{i2}}{n_{.2}} = \dots = \frac{n_{is}}{n_{.s}}, \quad i = 1, 2, \dots, r \quad \text{Eq. 1}$$

ou ainda (Eq. 2):

$$\frac{n_{ij}}{n_{.j}} = \frac{n_{i.}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, r \quad \text{e} \quad j = 1, 2, \dots, s \quad \text{Eq. 2}$$

De onde se deduz que:

$$n_{ij} = \frac{n_{i.}n_{.j}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, r \quad \text{e} \quad j = 1, 2, \dots, s \quad \text{Eq. 3}$$

Chamando de frequências esperadas os valores dados pelos segundos membros da Eq. 3 e denotando-as por n_{ij}^* , o Qui-quadrado de Pearson pode ser escrito como (Eq. 4):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(n_{ij} - n_{ij}^*)^2}{n_{ij}^*} \quad \text{Eq. 4}$$

onde n_{ij} são os valores efetivamente observados.

Se a hipótese de não associação for verdadeira, o valor calculado da Eq. 4 deve estar próximo de zero.

Se as variáveis forem associadas, o valor de χ^2 é grande.

iii. Análise de Correspondência Múltipla

A análise de correspondência múltipla (ACM) é uma técnica da análise multivariada para se examinar relações entre dados categóricos (GREENACRE, 2007). O objetivo desta técnica é analisar graficamente as relações existentes entre os dados, por meio da ACM podem-se verificar as similaridades entre as

categorias de uma variável, associações com categorias de diferentes variáveis, e com as categorias e os indivíduos. Em termos de categorias as variáveis também podem ser estudadas, assim podem-se estudar as categorias representando as variáveis e grupos de indivíduos.

Para explicação teórica da ACM será adotado conceitos e notações com base na matriz inicial representada por indivíduos versus questões ou perguntas, conforme Le Roux e Rouanet (2010) e Greenacre e Blasius (2006).

Seja I o conjunto de n indivíduos, $I=(1, 2, \dots, i, \dots, n)$, q a variável em estudo (incômodo) com k_q categorias de respostas e n_k o número total de respondentes que escolheram a categoria k . A matriz indicadora para a variável q é apresentada na Figura 1.

	1	2	...	k	...	k_q
1	1	0	...	0	...	0
2	0	1	...	0	...	0
\vdots						
i	0	0	...	1	...	0
\vdots						
n	0	0	...	0	...	1
	n_1	n_2	...	n_k	...	n_{k_q}

Figura 1: Exemplo de matriz indicadora para a variável q

Considere em Q variáveis, $q=1,2,\dots,Q$, cada uma com um número k_q de categorias de respostas. Uma matriz Z de ordem $n \times K$, é chamada matriz indicadora com elementos z_{ik} , em que $z_{ik}=1$, se o respondente i escolheu a categoria k de uma variável q e $z_{ik}=0$, caso contrário.

Para fins de ilustração, considere um conjunto de dados referentes a quatro respondentes, que responderam três perguntas do questionário denominadas variáveis I , P e R . Sendo que as variáveis I e P têm duas categorias de respostas e a variável R cinco categorias de respostas. Neste sentido, a Figura 2 representa uma matriz indicadora de quatro respondentes sobre três perguntas dos questionários, onde tem-se que $n=4$, $Q=3$, $K_1=K_2=2$ e $K_3=5$ e as categorias referentes ao respondente 1 são I_1 , P_2 e R_1 .

<i>Respondentes</i>	<i>I₁</i>	<i>I₂</i>	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>	<i>R₁</i>	<i>R₂</i>	<i>R₃</i>	<i>R₄</i>	<i>R₅</i>
1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	1	0
3	0	1	1	0	1	0	0	0	0
4	1	0	1	0	0	1	0	0	0
Marginal	2	2	3	1	2	1	0	1	0

Figura 2- Exemplo de matriz indicadora para a varável q

Conforme Le Roux e Rouanet (2010), a interpretação da ACM é baseada na observação de uma nuvem de pontos, definida como um conjunto finito de pontos em um espaço geométrico. A nuvem de pontos pode representar variáveis, categorias de respostas e indivíduos. A grande vantagem da ACM é a possibilidade de reduzir o espaço multidimensional em um subespaço ótimo que possibilite o estudo da nuvem de pontos e a consequente análise e interpretação dos resultados.

A dimensão da nuvem de pontos depende do número de informações de cada linha e coluna, pois corresponde à diferença entre o número total de categorias K e o número total de variáveis Q (Eq. 5):

$$(k_1 - 1) + \dots + (K_q - 1) + \dots + (K_Q - 1) = (K_1 + \dots + K_q + \dots + K_Q) + (-1)Q = K - Q \quad \text{Eq. 5}$$

A redução da dimensionalidade é feita geralmente para R^2 , devido a facilidade de interpretação da nuvem de pontos em um plano, e este subespaço ótimo é denominado eixos principais.

A construção da nuvem de pontos pode ser baseada em indivíduos e categorias, só indivíduos ou só categorias. Neste caso vamos considerar a aplicação da metodologia e a interpretação da nuvem de categorias que serão denominadas ponto ou categorias ativas na nuvem. Elementos que distorcem a análise (alteram a configuração do gráfico) e representam informações relevantes e adicionais à interpretação, são denominados elementos ou pontos suplementares, os quais são representados graficamente, mas não fazem parte da solução (BENZÉCRI, 1992; GREENACRE, 2007).

Conforme Le Roux e Rouanet (2010), o ponto médio da nuvem de pontos pode ser definido como: Seja P um ponto qualquer no espaço e $(M^a)_{a=1,2,\dots,n}$ pontos da nuvem, o ponto médio da nuvem é o ponto G do vetor $\overline{PG} = \frac{\sum \overline{PM^a}}{n}$, obtido a partir da razão entre o somatório dos vetores formados entre o ponto P e todos os outros pontos da nuvem pelo número total de pontos. Assim, ao substituir P por G , tem-se um vetor nulo (Eq. 6):

$$\frac{1}{n} \sum \overline{GM^a} = 0 \quad \text{Eq. 6}$$

ou seja, a média dos desvios do ponto médio para os pontos da nuvem é igual a zero, assim define-se o ponto G como a média das coordenadas dos pontos dada pela Eq. 7:

$$G = \sum \left(\frac{M^a}{n} \right) \quad \text{Eq. 7}$$

Seja $(M^k)_{k=1,2,\dots,k}$ os pontos da nuvem de categorias, o peso do ponto M^k é dado pelo número de indivíduos que escolheram a categoria k , e denotado por n_k . Para cada variável q , a soma dos pesos dos pontos é n e a soma para k é n_k . Em termos de peso relativo ou massa do ponto de uma categoria é dado por $p_k = n_k/n = f_k/q$ e a soma dos pesos relativos para cada variável é $1/q$. Assim a soma dos pesos relativos para todas as variáveis é 1. Então, seja $n_{kk'}$ o número de respondentes que escolheram ambas as categorias k e k' , a distância ao quadrado entre M^k e $M^{k'}$ é dada pela Eq. 8:

$$(M^k M^{k'})^2 = \frac{n_k + n_{k'} - 2n_{kk'}}{n_k n_{k'}/n} \quad \text{Eq. 8}$$

Se k e k' são duas categorias diferentes de uma mesma variável, então $n_{kk'} = 0$. Assim, quanto mais categorias k e k' escolhidas pelos mesmos respondentes menos a distância entre M^k e $M^{k'}$, ou seja, quando mais próximos dois pontos de categorias estiverem, maior a relação de associação entre elas, e quanto menor a frequência da categoria k , mais distante do centro estará o ponto M^k (Le Roux e Rouanet, 2010).

A projeção de uma nuvem corresponde à projeção ortogonal de seus pontos, assim, a variância de uma nuvem de pontos ortogonalmente projetada é sempre igual ou menor do que a variância da nuvem inicial.

Quanto à formação dos eixos principais correspondem inicialmente à projeção da nuvem de pontos em eixos arbitrários através das distâncias entre os pontos. Para tal, uma reta é rotacionada e passa pelo ponto médio da nuvem que minimiza as distâncias perpendiculares dos pontos à reta e maximiza a variância da nuvem projetada (captando assim a maior variabilidade dos pontos), tal reta é o primeiro eixo. Para obtenção do segundo eixo determina-se uma nova reta que passa também pelo ponto médio da nuvem e perpendicular ao primeiro eixo, e assim sucessivamente. O primeiro eixo principal oferece o melhor ajuste unidimensional da nuvem de pontos. Da mesma forma o plano gerado pelos eixos 1 e 2, oferece o melhor ajuste bidimensional.

A contribuição de um ponto a um determinado eixo consiste na importância desse ponto ao eixo e pode ser calculada através da multiplicação do peso desse ponto e sua coordenada nesse eixo dividido pela variância do eixo.

A contribuição relativa consiste na contribuição do eixo para a variância do ponto e é calculada com a Eq. 9:

$$\frac{(GM')^2}{(GM)^2} = \cos^2\theta \quad \text{Eq. 9}$$

Essa contribuição auxilia na interpretação dos pontos suplementares, pois esses não contribuem para a variância total por possuírem massa zero. Conforme Greenacre (2007), suas contribuições relativas que se relacionam com os ângulos entre perfis e eixos e não envolve massa, podem também ser interpretadas para diagnosticar a qualidade da representação. A qualidade da representação consiste na soma dos

cosenos ao quadrado para cada eixo de forma que a qualidade de representação de um ponto no plano corresponde à soma do cosseno ao quadrado no eixo 1 e o cosseno ao quadrado no eixo 2. O valor teste auxilia também na interpretação para diagnosticar quão bem estão representados os pontos suplementares (Grenacre, 2007).

iv. *Análise de Componentes Principais*

Conforme Johnson e Wichern (2006) a análise de componentes principais (ACP) é uma técnica estatística multivariada que se preocupa em explicar a estrutura de variância-covariância de um conjunto de variáveis, por meio de poucas combinações lineares dessas variáveis. Considerando que haja p componentes requeridas para reproduzir a variabilidade total de um sistema, a maior parte dos dados originais pode ser contabilizada por um número menor de k componentes principais.

As componentes principais são combinações lineares de p variáveis aleatórias X_1, X_2, \dots, X_p . No caso do presente estudo as variáveis aleatórias originais são os poluentes (PM₁₀, PTS e PS). Geometricamente, estas combinações lineares representam a seleção de um novo sistema de coordenadas, pela rotação do sistema original, com X_1, X_2, \dots, X_p sendo o eixo das coordenadas. Os novos eixos rotacionados possuem as direções com máxima variabilidade e fornecem uma estrutura de covariância mais simples e mais parcimoniosa. Para desenvolvimento da ACP não reque a suposição de normalidade multivariada, e depende unicamente matriz de covariância (Σ) ou da matriz de correlação (ρ) de X_1, X_2, \dots, X_p (Johnson e Wichern, 2006).

Seja um vetor aleatório $X' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ com matriz de covariância dada por Σ , com autovalores $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$. Suponha as seguintes combinações lineares (Eq. 10):

$$\begin{aligned} Y_1 &= a'_1 X = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \\ Y_2 &= a'_2 X = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p \\ &\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ Y_p &= a'_p X = a_{p1}X_1 + a_{p2}X_2 + \dots + a_{pp}X_p \end{aligned} \qquad \text{Eq. 10}$$

Após algumas propriedades algébricas obtém-se:

$$Var(Y_i) = a'_i \Sigma a_i, i = 1, 2, \dots, p, \qquad \text{Eq. 11}$$

$$Cov(Y_i, Y_k) = a'_i \Sigma a_k, i, k = 1, 2, \dots, p. \qquad \text{Eq. 12}$$

As componentes principais são as combinações lineares Y_1, Y_2, \dots, Y_p , cujas variâncias das em sejam a maiores possíveis. A primeira componente principal é a combinação linear com a máxima variância.

Faz-se conveniente restringir a atenção para vetores de coeficientes com comprimento igual a um. Define-se então:

Primeira componente principal = combinação linear de $\mathbf{a}'_1\mathbf{X}$ que maximiza $Var(\mathbf{a}'_1\mathbf{X})$, sujeito a $\mathbf{a}'_1\mathbf{a}_1 = 1$;

Segunda componente principal = combinação linear de $\mathbf{a}'_2\mathbf{X}$ que maximiza $Var(\mathbf{a}'_2\mathbf{X})$, sujeito à $\mathbf{a}'_2\mathbf{a}_2 = 1$ e $Cov(\mathbf{a}'_1\mathbf{X}, \mathbf{a}'_2\mathbf{X}) = 0$.

E,

i-ésima componente principal = combinação linear de $\mathbf{a}'_i\mathbf{X}$ que maximiza $Var(\mathbf{a}'_i\mathbf{X})$, sujeito à $\mathbf{a}'_i\mathbf{a}_i = 1$ e $Cov(\mathbf{a}'_i\mathbf{X}, \mathbf{a}'_k\mathbf{X}) = 0$, para $k < i$.

Sendo Σ ser a matriz de covariância associada ao vetor aleatório $\mathbf{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$. E, Σ ter pares de autovalores-autovetores $(\lambda_1, \mathbf{e}_1), (\lambda_2, \mathbf{e}_2), \dots, (\lambda_p, \mathbf{e}_p)$, onde $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$. Então, o i-ésimo componente principal é dado por,

$$Y_i = \mathbf{e}'_i\mathbf{X} = e_{i1}X_1 + e_{i2}X_2 + \dots + e_{ip}X_p, \quad i = 1, 2, \dots, p. \quad \text{Eq. 13}$$

Dessa forma,

$$Var(Y_i) = \mathbf{e}'_i\Sigma\mathbf{e}_i = \lambda_i, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad \text{Eq. 14}$$

$$Cov(Y_i, Y_k) = \mathbf{e}'_i\Sigma\mathbf{e}_k = 0, \quad i \neq k. \quad \text{Eq. 15}$$

Vale ressaltar que, caso alguns λ_i sejam iguais, a escolha do correspondente vetor de coeficientes \mathbf{e}_i e, por isso, de Y_i , não é única.

As componentes principais são não correlacionados e têm variâncias iguais aos autovalores da matriz de covariâncias Σ . No presente estudo o resultado da aplicação dessa técnica vai fornecer as componentes principais que são combinações lineares dos poluentes não correlacionadas, sendo possível a inserção delas num mesmo modelo de regressão.

Não há uma resposta definitiva para as discussões a respeito de quantas componentes principais devem ser escolhidas. No presente estudo, para determinar o total de componentes que melhor explicará o conjunto de variáveis estudadas (no caso, os poluentes) definiu-se por adotar o critério de porcentagem da variância explicada.

v. Regressão Logística

A Regressão logística é uma técnica estatística usada para modelagem de dados principalmente quando a variável dependente é qualitativa e expressa por meio de duas ou mais categorias, ou seja, admite-se dois ou mais valores. As categorias (ou valores) que a variável dependente assume pode possuir natureza nominal ou ordinal. Detalhes encontra-se descritos em Agresti (1990), Hosmer e Lemeshow (2000) e Abraham e Ledolter (2006). A aplicação da regressão logística permite estimar a probabilidade de evento específico ocorrer.

Foram amostrados, independentemente, n_1 indivíduos que reportaram pelo menos se sentir um pouco incomodados com a poluição do ar ($x=1$) e n_2 indivíduos que relataram sentir-se nada incomodados ($y=0$), sendo que $\pi(x)$ é a probabilidade de sentir-se incomodado quando da exposição a níveis gradativos de material particulado. De acordo com Abraham e Ledolter (2006), assume-se que a variável resposta y_i para os casos i tem distribuição de Bernouilli, com probabilidade de “sucesso” e “fracasso”, dado o valor x de uma variável explicativa qualquer.

O parâmetro π define a média da distribuição $E(y_i) = \pi$. No modelo de regressão logística a probabilidade de sucesso é função de (x) . Assim, $\pi = \pi(x)$ então para todo i em x_i , $\pi_i = \pi(x_i)$ a probabilidade de sucesso é,

$$P(Y_i = y_i) = f(y_i) = \binom{n_i}{y_i} [\pi(x_i)]^{y_i} [1 - \pi(x_i)]^{n_i - y_i}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Eq. 16}$$

com média $E(y_i) = n_i \pi(x_i)$. Assim, a probabilidade $\pi(x_i)$ pode ser parametrizada como (Eq. 4-5):

$$\pi(x_i) = \frac{e^{x_i' \beta}}{1 + e^{x_i' \beta}} = \frac{1}{1 + e^{-x_i' \beta}} \quad \text{e} \quad 1 - \pi(x_i) = \frac{e^{-x_i' \beta}}{1 + e^{-x_i' \beta}} = \frac{1}{1 + e^{x_i' \beta}} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde $x_i' \beta = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip}$. As probabilidades são funções não lineares dos parâmetros β .

A função logística é perfeitamente aplicável ao problema do incômodo causado por fatores ambientais (por exemplo, ruído, odor, poeira, etc...) e seu modelo expressa a probabilidade do efeito (Eq. 4-6):

$$P(y = 1) = \pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \quad \text{Eq. 18}$$

No caso do incômodo causado pela poluição do ar a probabilidade $P(y=1)$ fornece o percentual de indivíduos incomodados quando expostos a certo nível (x) de concentração de material particulado.

Um parâmetro importante de interpretação do modelo logístico é análise das possibilidades/chances (*odds*) e da razão de chances (*odds ratios*). Observa-se que as probabilidades na Eq. 8-21 são funções não lineares de β . Entretanto uma simples transformação resulta num modelo linear,

$$\ln\left(\frac{\pi(x_i)}{1 - \pi(x_i)}\right) = x'_i\beta \quad \text{Eq. 19}$$

Que pode ser ainda transformado na seguinte razão,

$$\frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)} = \exp(x'\beta) \quad \text{Eq. 20}$$

A razão acima compara a probabilidade de ocorrência de uma característica pela probabilidade de não ocorrência. Ou ainda,

$$\ln\left(\frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)}\right) = x'\beta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p \quad \text{Eq. 21}$$

Esta representação mostra que os coeficientes da regressão representam mudanças no log das chances. Simplificando, observa-se abaixo que de um valor x para um novo valor $x+1$ o log das chances muda conforme β unidades,

$$\beta = \ln\left(\frac{\pi(x+1)}{1 - \pi(x+1)}\right) - \ln\left(\frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)}\right) = \ln(a/b) \quad \text{Eq. 22}$$

Onde,

$$a = \frac{\pi(x+1)}{1 - \pi(x+1)} \text{ e } b = \frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)} \quad \text{Eq. 23}$$

A exponenciação dos coeficientes da regressão fornece a razão de chances a/b (*odds ratio*) que é,

$$\exp(\beta) = (a/b) \quad \text{Eq. 24}$$

Por exemplo, seja o parâmetro $\hat{\beta} = 1,5$ e $\exp(\hat{\beta}) = \exp(1,5) = 4,48$ indica que a cada uma unidade de aumento na variável independente (material particulado) aumenta a chance/possibilidade de ocorrência de incômodo por um fator igual a 3,48. No caso de valores de odds ratio menor do que 1 o aumento na concentração do poluente iria diminuir as chances de incômodo e no caso de valor igual a 1 não há qualquer relação entre as variáveis.

Conforme Abraham e Ledolter (2006), inferência sobre os parâmetros do modelo logístico é feita através da verossimilhança do modelo. Como a variável resposta é dicotômica, a verossimilhança é a probabilidade de se observar os dados obtidos, fixados os valores da variável (eis) explicativa(s). Assumindo que a percepção do incômodo são respostas dadas por respondentes distintos, portanto independentes, a verossimilhança é o produto da probabilidade de ocorrência de cada resposta observada, dada por Eq. 25,

$$p(y_1, y_2, \dots, y_n | \beta) = \prod_{i=1}^n [\pi(x_i)]^{y_i} [1 - \pi(x_i)]^{1-y_i} \quad \text{Eq. 25}$$

Com o parâmetro β ao assumir a probabilidade $\pi_i = \pi(x_i)$. Chamando L a verossimilhança, a função de log-verossimilhança é dada por,

$$\ln L(\beta | y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n y_i \ln \pi(x_i) + \sum_{i=1}^n (1 - y_i) \ln [1 - \pi(x_i)] \quad \text{Eq. 26}$$

Assumindo que para cada valor p da variável explicativa corresponde a m níveis de incômodo e adotando a notação $\pi_i = \pi(x_i)$ na função de log-verossimilhança para distribuição binomial pode-se escrever,

$$\ln L(\beta | y_1, y_2, \dots, y_m) = C + \sum_{i=1}^m y_i \ln \pi_i + \sum_{i=1}^m (n_i - y_i) \ln [1 - \pi_i] \quad \text{Eq. 27}$$

Onde $C = \sum_{i=1}^m \ln \binom{n_i}{y_i}$ não depende dos parâmetros e pode ser uma constante na maximização.

Derivando a função acima, considerando as probabilidades de sucesso π_i e os parâmetros do vetor β obtém-se

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial \beta} = \left\{ \frac{e^{x_i' \beta}}{1 + e^{x_i' \beta}} - \left[\frac{e^{x_i' \beta}}{1 + e^{x_i' \beta}} \right]^2 \right\} x_i = \pi_i (1 - \pi_i) x_i \quad \text{Eq. 28}$$

Então,

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = \frac{\partial \ln L}{\partial \pi_i} \frac{\partial \pi_i}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^m (y_i - n_i \pi_i) x_i \quad \text{Eq. 29}$$

O vetor de parâmetros β é estimado pelo método da máxima verossimilhança, e a estimativa de $\hat{\beta}$ é obtida maximizando-se a função $L(\beta | y_1, y_2, \dots, y_n)$ (método de Newton-Raphson é o algoritmo

numérico utilizado). Sucintamente as estimativas de máxima verossimilhança são obtidas através do seguinte esquema iterativo

$$\hat{\beta}_{n+1} = \hat{\beta}_n - [G(\hat{\beta}_n)]^{-1} g(\hat{\beta}_n) \quad \text{Eq. 30}$$

Onde, e é o vetor score e G é a matriz de informação resultante da derivação $\partial\pi_i/\partial\beta$ da Eq. 28,

$$G = \sum_{i=1}^m n_i \pi_i (1 - \pi_i) x_i x_i'$$

As expressões acima fornecem toda a informação necessária para se escrever um programa de computador que calcule as estimativas de máxima verossimilhança para o vetor de parâmetros β . No presente estudo fez uso do software gratuito R e do SPSS para estimativa dos parâmetros do modelo de regressão logística. Os parâmetros $\hat{\beta}$ estimados pelo modelo de regressão logística tem interpretação muito clara em termos de razões de chances (*odds ratio*) como já apresentado anteriormente.