

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

**LARISSA BARBOSA DE SOUZA**

**ESTUDO DE CORRELAÇÃO ENTRE A PERCEPÇÃO  
DO INCÔMODO CAUSADO PELAS PARTÍCULAS  
SEDIMENTADAS E SEUS NÍVEIS DE  
CONCENTRAÇÃO NA ATMOSFERA**

**VITÓRIA**

**2011**

LARISSA BARBOSA DE SOUZA

**ESTUDO DE CORRELAÇÃO ENTRE A PERCEPÇÃO  
DO INCÔMODO CAUSADO PELAS PARTÍCULAS  
SEDIMENTADAS E SEUS NÍVEIS DE  
CONCENTRAÇÃO NA ATMOSFERA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, área de concentração Poluição do Ar.

Orientador: Prof. Dr. Neyval Costa Reis Junior

VITÓRIA

2011

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

---

S729e Souza, Larissa Barbosa de, 1984-  
Estudo de correlação entre a percepção do incômodo  
causado pelas partículas sedimentadas e seus níveis de  
concentração na atmosfera / Larissa Barbosa de Souza. – 2011.  
110 f. : il.

Orientador: Neyval Costa Reis Júnior.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Partículas. 2. Vitória, Região Metropolitana de (ES).  
3. Material particulado. I. Reis Júnior, Neyval Costa.  
II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico.  
III. Título.

CDU: 628

---



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

**“Estudo de correlação entre a percepção do incômodo  
causado pelas Partículas Sedimentadas e seus níveis de  
concentração na atmosfera”**

**LARISSA BARBOSA DE SOUZA**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Neyval Costa Reis Júnior  
Orientador – DEA/CT/UFES

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Jane Méri Santos  
Examinadora Interna – DEA/CT/UFES

---

Prof. Dra. Maria de Fátima Andrade  
Examinador Externo – DCA/IAG/USP

Coordenadora do PPGEA: Profa. Dra. Regina de Pinho Keller

Vitória, 31 de agosto de 2011

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Margarida e Antônio, ao meu marido  
Robson, e a minha irmã Milena.*

“... Don't worry pra não se estressar, be happy pra se alegrar. Relax, que tudo fica diferente. Stress faz adoecer, amor rejuvenescer. Sorria mais e leve a vida simplesmente...”

(Mart'nália)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por mais essa conquista tão importante.

Ao professor orientador Neyval Costa Reis Júnior, pela orientação a este trabalho e pelos conhecimentos transmitidos desde a graduação até agora.

A Profa Jane Méri, por ter dedicado seu tempo na correção do meu trabalho.

Ao professor Rogério Silveira Queiroz, pela contribuição ao trabalho e pela boa-vontade demonstrada.

Aos amigos Felipe Azevedo e Patrícia Bassani, que compartilharam comigo vários momentos difíceis e também alegres durante essa caminhada, sempre procurando me motivar.

A amiga Iris Bortolotti, pelas consultorias em estatística, mas, principalmente, pela amizade e força durante todo esse período.

A Mayana Rigo, pela paciência e atenção comigo sempre que precisei importuná-la.

Aos alunos e ex-alunos do PPGEA, pela convivência durante as disciplinas e no laboratório NQualiAr, em especial: Melina, Edilson, Samira, Alexandre, Israel, Andler, Nadir, Antônio, Ayres, Augusto, Enilene, Taciana, Sandra e Fernanda.

Ao Alexander, do IEMA, pela compreensão quando precisei me ausentar do serviço para cumprir os afazeres do mestrado.

Aos amigos de graduação Manuela Noda, Aline Carvalho, Vinícius Nascimento, Eduardo Félix e todos os outros, além da amiga de graduação, pós-graduação e trabalho Brígida Maioli. Obrigada por terem participado dessa conquista mesmo que indiretamente.

A todos que, embora não tenham participado diretamente desta conquista, foram de fundamental importância na obtenção deste resultado.

E, por fim, agradeço a Universidade Federal do Espírito Santo por ter me dado a oportunidade de ser Engenheira e, agora, Mestre em Engenharia Ambiental por essa Insituição, e ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, pelo apoio institucional.

## RESUMO

As partículas sedimentáveis (PS), por serem substâncias presentes no ar que podem torná-lo inconveniente ao bem-estar público e causar grande incômodo à população, são consideradas poluentes atmosféricos e podem causar relevantes impactos ambientais. De acordo com a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), a poluição é definida como sendo a alteração da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota e as condições sanitárias do meio e/ou lancem matéria ou energia em desacordo com padrões estabelecidos. Este estudo objetiva avaliar os níveis de incômodo percebidos pela população da Ilha do Boi, na Região da Grande Vitória-ES, causados pela presença de PS, e as variações sazonais nos níveis de incômodo percebidos. Questionários foram aplicados a 148 indivíduos com idade superior a 16 anos entre os meses de outubro a dezembro de 2010. Todas as faixas etárias abrangidas pelo estudo indicaram níveis de incômodo entre 8 e 10, sendo que os entrevistados com idade entre 30 e 39 anos constituem o percentual mais elevado de pessoas altamente incomodadas (100%), seguidos dos entrevistados com idade superior a 60 anos (90,5%). 79% dos entrevistados afirmaram perceber variações temporais nas concentrações de PS, sendo que, desses, 82,9% associam tais variações a fatores meteorológicos, como a direção do vento (74% afirmaram que a direção nordeste causa aumento das concentrações de PS). A pesquisa de painel foi realizada entre os meses de dezembro de 2010 e junho de 2011, participando desta etapa 17 indivíduos que relatam, com frequência diária, semanal e mensal seus níveis de incômodo, sendo esses dados posteriormente correlacionados com dados de partículas totais medidos automaticamente por estações de qualidade do ar, dados de PS monitorados e dados meteorológicos. Tal pesquisa servirá de base para realização de uma pesquisa de incômodo em toda a Região da Grande Vitória e será um dos pilares do estudo que visa implementar um padrão de qualidade do ar para esse poluente na Região.

Palavras-chave: pesquisa de opinião, incômodo, partículas sedimentáveis.

## **ABSTRACT**

Dustfall is a considerable source of nuisance to the population. According to the National Environmental Policy, the term “pollution” is defined as the alteration of the environmental quality, resulting from activities that directly or indirectly cause damage to the health, security and welfare, create adverse conditions for social and economic activities, adversely affect the biota and the sanitary conditions of the environment and/or emit matter or energy in disagreement with established standards. This study aims to assess levels of annoyance perceived by the Ilha do Boi population, located on the Metropolitan Region of Vitória, caused by dustfall and seasonal variation in the perceived levels of annoyance. Questionnaires were applied to 148 individuals over 16 years old between October to December 2010. All age groups covered by the study indicated levels of annoyance between 8 and 10, with respondents between 30 and 39 years old consisting the highest percentage of highly annoyed (100%), followed by respondents over 60 years old (90.5%). 79% of respondents said they can perceive temporal variations in dustfall concentrations, and of these, 82.9% associate such variations to meteorological factors as the wind direction (74% said northeasterly direction because higher concentrations of dustfall). A research panel was performed from December 2010 to June 2011, involving 17 individuals which were asked to report daily, weekly and monthly levels of annoyance. This data was correlated with dustfall deposition measurements performed in the region. The data provided by this study is the basis for conducting an annoyance research in all the Metropolitan Region of Vitória, and will be one of the pillars of a study which aims to implement air quality standard for dustfall deposition in the region.

**Keywords:** survey, annoyance, sedimentable particles.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1: Números típicos e distribuição volumétrica de partículas atmosféricas com diferentes modos.....	23
Figura 3-2: Esquema conceitual do processo de deposição úmido. ....	25
Figura 3-3: Vista superior de uma placa sobreposta.....	27
Figura 3-4: Dispositivo de amostragem alternativo, criado por Trivuncevic e colaboradores, 2009. ....	28
Figura 3-5: Imagem das amostras analisadas MEV e análise quantitativa do EFR para seis partículas individuais.....	28
Figura 3-6: Desenho do coletor e da parte superior do suporte.....	30
Figura 3-7: Coletor Cilíndrico baseado na norma ASTM D 1739-98. ....	31
Figura 4-1- Região de estudo. (a) RGV, (b) Vista parcial da cidade de Vitória, indicando a localização da (c) Ilha do Boi. ....	43
Figura 4-2: Localização da Ilha do Boi e do Complexo Industrial. ....	43
Figura 4-3: Variação sazonal da temperatura para o período compreendido entre 2009 a 2010, medida pela estação Carapina.....	45
Figura 4-4: Variação sazonal da precipitação acumulada para o período compreendido entre 2009 a 2010, medida pela estação Carapina.....	45
Figura 4-5: Rosa dos Ventos do período compreendido entre os anos de 2009 a 2010 – estação aeroporto.....	46
Figura 4-6: Localização das estações de Monitoramento de Partículas Sedimentáveis localizadas na Ilha do Boi, Estação Hotel Senac e Estação Clube Ítalo. ....	48
Figura 4-7: Imagens fotográficas das 2 (duas) estações de monitoramento de PS da Ilha do Boi. (a) Estação do Hotel Senac – Vista do pote A. (b) Estação do Hotel Senac – Vista do pote B. (c) Estação do Clube Ítalo.....	49
Figura 4-8: Evolução das taxas de deposição de PS nas estações de monitoramento da Ilha do Boi. ....	50
Figura 4-9: Evolução dos Fluxos de Deposição monitorados experimentalmente nas estações da Ilha do Boi – Clube Ítalo e Hotel Senac – e na estação de Vila Velha Ibes.....	52

Figura 4-10: Dados de dispersão da velocidade de deposição experimental ( $V_{dexp}$ ) identificada empiricamente versus os dados de velocidade de fricção ( $U^*$ ) para a estação 7. ....	53
Figura 4-11: Fluxo de Deposição experimental da Ilha do Boi versus Fluxo de Deposição estimado pelo modelo adaptado de Rigo (2011). ....	54
Figura 4-12: Localização geográfica das fontes de PS da Região da Grande Vitória. ....	55
Figura 4-13: Contribuição percentual das fontes de emissão de PS na estação de monitoramento Senac. ....	56
Figura 5-1: Distribuição dos indivíduos entrevistados por faixa etária. ....	64
Figura 5-2: Percentual de entrevistados que se sentem ou não incomodados pela presença de poeira em suas residências. ....	64
Figura 5-3: Percentual de indivíduos entrevistados em relação ao nível de incômodo, de acordo com a escala estabelecida. ....	65
Figura 5-4: Percentual de moradores da Ilha do Boi “Extremamente” ou “Muito Incomodados” de acordo com o gênero. ....	66
Figura 5-5: Percentual de moradores da Ilha do Boi “Extremamente” ou “Muito Incomodados” por faixa etária. ....	66
Figura 5-6: Percentual de moradores da Ilha do Boi “Extremamente” ou “Muito Incomodados”, a) Dentre os moradores que trabalham fora ou não; b) Dentre as pessoas que responderam possuir ou não empregada que ajude no serviço doméstico. ....	68
Figura 5-7: Potencial de cada fator relatado pelos entrevistados de provocar variações nas concentrações de PS em suas residências. ....	70
Figura 5-8: Percepção do incômodo. Sendo: (a) Percepção do incômodo apresentada pelos moradores da Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). b) Percepção do incômodo apresentada pelos moradores da Ilha do Boi. ....	72
Figura 5-9: Fluxo de deposição de PS nas estações de monitoramento da RMPS da RGV. ....	72
Figura 5-10: Avaliação da intensidade do Incômodo. a) Intensidade do incômodo apresentada pelos moradores da Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). b) Intensidade do incômodo apresentada pelos moradores da Ilha do Boi. ....	74
Figura 5-11: Opinião dos moradores com relação à seguinte pergunta: “Você acha que a poeira pode causar danos à saúde?”. Sendo (a) Resultado apresentado pelos moradores da	

Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006) e (b) Resultado apresentado pelos moradores da Ilha do Boi. ....	75
Figura 5-12: Avaliação da Qualidade do Ar. (a) Resultado da avaliação da qualidade do ar obtido no estudo realizado na Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). (b) Resultado da avaliação da qualidade do ar obtido no estudo presente estudo, realizado na Ilha do Boi.....	76
Figura 5-13: Fontes de contribuição de poeira na Região da Grande Vitória de acordo com a opinião dos moradores. Sendo, (a) Resultado do estudo realizado na Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). (b) Resultado do presente estudo, realizado na Ilha do Boi. ....	78
Figura 5-14: Rosas do vento do período de realização da pesquisa de painel. Sendo (a) a rosa dos ventos referente ao mês de Dezembro/2010, (b) Janeiro/2011, (c) Fevereiro/2011, (d) Março/2011, (e) Abril/2011, (f) Maio/2011 e (g) Junho/2011.....	80
Figura 5-15: Fluxo de deposição de PS nas estações da Ilha do Boi e do Clube Ítalo.....	81
Figura 5-16: Fluxo médio de deposição de PS na Ilha do Boi. ....	82
Figura 5-17: Percepção do incômodo causado por PS com frequência mensal, com barras de incertezas associadas. ....	82
Figura 5-18: Dados Semanais de Fluxo de Deposição estimados pelo modelo de Rigo (2011). ....	83
Figura 5-19: Percepção do incômodo causado por PS com frequência semanal, com barras de incertezas associadas. ....	84
Figura 5-20: Dados Diários de Fluxo de Deposição estimados pelo modelo de Rigo (2011)..	85
Figura 5-21: Percepção do incômodo causado por PS com frequência diária, com barras de incertezas associadas. ....	85
Figura 5-22: Box-Plot da variação dos níveis de incômodo relatados por dia da semana. ....	86
Figura 5-23: Nível de Incômodo mensal versus Fluxo de Deposição mensal experimental....	86
Figura 5-24: Nível de Incômodo versus Fluxo de Deposição estimado. Sendo (a) Frequência mensal; (b) frequência semanal e (c) frequência diária. ....	89
Figura 5-25: Dispersão dos dados de Nível de Incômodo relatados pelos participantes versus dados de velocidade do vento. Sendo (a) Frequência mensal; (b) frequência semanal e (c) frequência diária. ....	90

Figura 5-26: Dispersão dos dados de Nível de Incômodo relatados pelos participantes versus dados de precipitação pluviométrica. Sendo (a) Frequência mensal; (b) frequência semanal e (c) frequência diária.....91

Figura 5-27: Dispersão dos dados de direção do vento versos os dados de nível de incômodo relatados pelos participantes. Sendo (a) Frequência mensal, (b) Frequência semanal, (c) Frequência diária. ....92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Relação dos Padrões de qualidade do ar para Partículas Sedimentáveis.....	33
Tabela 5-1: Perfil dos participantes da pesquisa de opinião.....	63
Tabela 5-2: Percentual de moradores da Ilha do Boi que possuem empregada doméstica e trabalham fora e se sentem incomodados.....	69
Tabela 5-3: Resultado obtido com a aplicação da Pergunta 10. ....	69
Tabela 5-4: Resultados obtidos com a aplicação da pergunta nº 11. ....	70
Tabela 5-5: Nível de incômodo correspondente a alguns padrões de fluxo de deposição adotados por alguns locais.....	88

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>20</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
3.1. MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA.....	21
3.1.1. Distribuição Granulométrica do Material Particulado na atmosfera .....	21
3.1.2. Processo de Deposição das Partículas.....	24
3.2. QUANTIFICAÇÃO DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS.....	26
3.2.1. Medidas Experimentais.....	26
3.3. PADRÕES DE FLUXO DE DEPOSIÇÃO ENCONTRADOS ATUALMENTE..	31
3.4. ANÁLISE DA RELAÇÃO EXPOSIÇÃO-RESPOSTA .....	34
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
4.1. REGIÃO DE ESTUDO .....	41
4.1.1. Escolha do Local de Estudo .....	41
4.1.2. Características Meteorológicas da Ilha do Boi .....	44
4.2. QUANTIFICAÇÃO DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DE PS.....	46
4.2.1. Medição Direta do Fluxo de Deposição de PS com frequência mensal .....	46
4.2.2. Modelagem para estimativa do Fluxo de Deposição de PS com frequência semanal e diária .....	51
4.3. PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO DE PS NA ILHA DO BOI.....	54
4.4. PESQUISA DE OPINIÃO.....	56
4.5. PESQUISA DE PAINEL.....	59
4.6. ANÁLISE DA RELAÇÃO EXPOSIÇÃO-RESPOSTA .....	60
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>63</b>
5.1. ESTUDO DE OPINIÃO .....	63
5.1.1. Percepção do Incômodo pela População da Ilha do Boi.....	63
5.1.2. Análises comparativas entre pesquisas de opinião .....	71
5.2. ESTUDO DE PAINEL .....	79

5.2.1.	Análise da percepção de incômodo com frequência mensal .....	79
5.2.2.	Análise da percepção de incômodo com frequência semanal e diária.....	82
5.2.3.	Análise da Relação Exposição-Resposta mensal, semanal e diária.....	86
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>94</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) define poluição como sendo a alteração da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota e as condições sanitárias do meio e/ou lancem matéria ou energia em desacordo com padrões estabelecidos. A mesma definição pode ser encontrada na definição de poluente atmosférico da resolução CONAMA Nº 03/1990, que define os padrões de qualidade do ar.

Ainda, de acordo com Seinfeld & Pandis (2006), um poluente atmosférico pode ser considerado como qualquer substância presente no ar que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial ao gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Estudiosos da área ambiental concluíram que, embora já existisse uma quantidade significativa de estudos relacionando a poluição atmosférica aos efeitos sobre a saúde humana, havia, comparativamente, poucos estudos relacionando-a às repostas comportamentais do corpo humano, ou seja, ao incômodo e ao estresse que essa poluição pode causar (EVANS *et al.*, 1988).

O material particulado (MP) é formado de partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera, podendo variar de alguns nanômetros a dezenas de micrômetros. São constituídos por uma mistura de partículas que pode ser de origem primária (emissão direta da fonte) ou secundária (transformação gás-partícula) (BRUM, 2010). A maior parte dos trabalhos científicos a respeito do material particulado presente na atmosfera está relacionada à partículas com diâmetros menores que 10  $\mu\text{m}$ , devido aos seus efeitos sobre a saúde pulmonar dos seres humanos (CHIO e LIAO, 2008).

O impacto associado ao material particulado está estritamente relacionado ao tamanho, forma e composição química das partículas. Partículas finas (<2,5  $\mu\text{m}$ ) estão principalmente associadas à efeitos diretos à saúde humana, devido a penetração profunda no sistema respiratório, e tendem a permanecer por longos períodos na atmosfera, enquanto as partículas maiores, tendem a sedimentarem mais próximo à fonte emissora (Seinfeld & Pandis, 2006), e são denominadas partículas sedimentáveis (PS), constituindo incômodo para a população vizinha a essas fontes (Vallack & Shillito, 1998).

Estudos recentes realizados por Stenlund *et al.* (2009) concluíram que a poluição do ar causada por PS representa uma das maiores frequências de percepção da poluição por parte da população, uma vez que causa incômodo direto à população como, por exemplo, impossibilidade de gozo pleno da propriedade e desconforto, que pode gerar tensões psicológicas devido ao incômodo contínuo da sujeira gerada pela deposição sobre superfícies de uso cotidiano. A percepção visual da sujeira tem efeitos fisiológicos e psicológicos nos seres humanos (HYSLOP, 2009).

As partículas sedimentáveis originam-se de diversas fontes. Estimativas mostram que vias pavimentadas e não-pavimentadas, construções, operações agrícolas e erosão eólica representam as maiores contribuições, sendo as emissões veiculares e industriais relativamente menores (Gaidajis, 2002). Porém, a contribuição industrial pode ser uma fonte significativa de PS em determinados locais, dependendo das especificidades do processo operacional e das condições climatológicas e geográficas.

Alguns países como Canadá, Argentina, Austrália (VALLACK e SHILLITO, 1998), EUA, Espanha e Finlândia (SANTOS e REIS JR, 2010), dentre outros, adotam padrões nacionais para o fluxo de deposição de PS. Sabe-se que, no Brasil, há padrão de fluxo de deposição de PS no Estado de Minas Gerais (COPAM, 1981). Entretanto, para que os padrões possam ser comparáveis, é necessário que seja utilizado o mesmo método de medição do fluxo de deposição, o que muitas vezes não ocorre, uma vez que há diferentes normas de coleta de PS (ABNT MB-3402, de 1991; ASTM D-1739, de 1998; ISO, de 1991; BSI, de 1969).

Na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), no Espírito Santo, a poluição causada por partículas sedimentáveis é de grande importância, tendo a população se mostrado constantemente incomodada (aproximadamente 25% das reclamações que chegaram ao órgão ambiental, em 2008, dizem respeito à poluição atmosférica). Os resultados de uma pesquisa de opinião realizada na RMGV por Alves *et al.* (2006) mostraram que 83% dos entrevistados (653 pessoas) se dizem incomodados com a presença de PS em suas residências.

A RMGV possui áreas densamente habitadas localizadas próximas ao principal pólo industrial da região, portanto, é de fundamental importância a proposição de diretrizes ou padrões que limitem fluxos de deposição de PS no ambiente, assim como ocorre para a concentração de outros poluentes.

Assim, o objetivo geral do presente trabalho é quantificar os níveis de incômodo percebidos pela população (pesquisa de opinião) causados pela presença de PS e sua variação mensal,

semanal e diária (pesquisa de painel).

Esta dissertação está dividida em 7 (sete) capítulos, incluindo esta introdução. O Capítulo 2 propõe os objetivos desse estudo. O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o material particulado, os métodos mais usuais de quantificação de PS, os padrões de deposição encontrados atualmente, além de trabalhos que visam analisar a relação exposição-resposta para o poluente em questão. O Capítulo 4 descreve Metodologia para desenvolvimento da pesquisa. O Capítulo 5 apresenta os resultados e discussões da pesquisa e, por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões da presente pesquisa e expõe recomendações para trabalhos futuros.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é avaliar a correlação entre os fluxos de deposição de PS aos quais a população está exposta e os níveis de incômodo relatados, considerando as condições meteorológicas a fim de propor diretrizes para o fluxo de deposição de PS.

Com base neste objetivo geral, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- Quantificar o nível atual de incômodo percebido pela população na região de estudo através de realização de pesquisa de opinião;
- Comparar os níveis de incômodo atuais com aqueles reportados em estudos anteriores para a mesma região de interesse;
- Realizar pesquisa de painel a fim de verificar a funcionalidade desta metodologia para indicação das variações diárias, semanais e mensais nos níveis de incômodo percebidos pela população;
- Avaliar os níveis de incômodo na região de interesse e correlacionar com o fluxo de deposição e parâmetros meteorológicos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está dividido em quatro seções, a Seção 3.1 à Seção 3.4. A Seção 3.1 discorre sobre o material particulado, mais especificamente sobre a sua distribuição por tamanho na atmosfera e seus processos de deposição atmosférica úmida e seca. A Seção 3.2 trata a respeito da quantificação do fluxo de deposição de PS através de medidas experimentais. A Seção 3.3 apresenta e discute os padrões de fluxo de deposição encontrados atualmente para partículas sedimentáveis, e a Seção 3.4 discorre acerca dos trabalhos encontrados na literatura que analisam a relação “exposição-resposta”, ou seja, o efeito que a exposição a um certo poluente pode causar à população.

#### 3.1. MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA

##### 3.1.1. *Distribuição Granulométrica do Material Particulado na atmosfera*

O diâmetro das partículas na atmosfera usualmente varia de 0,002  $\mu\text{m}$  a maiores que 100  $\mu\text{m}$  (SEINFELD & PANDIS, 2006). Comumente é utilizada a nomenclatura de  $\text{PM}_{2,5}$ , material particulado menores que 2,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro aerodinâmico,  $\text{PM}_{10}$ , material particulado menores de 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro aerodinâmico, PTS, partículas totais em suspensão e PS, partículas sedimentáveis para abordar uma determinada faixa de diâmetro das partículas.

O tamanho da partícula é o principal fator para caracterizá-la, tanto sob a ótica da suas propriedades quanto do seu comportamento aerodinâmico. O tamanho é o principal fator que determina até onde uma partícula pode chegar ao organismo vivo, ou mais especificamente, ao organismo humano e causar-lhe dano (EPA, 1999).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (1999), material particulado em suspensão na atmosfera (MPS) é constituído por partículas sólidas e líquidas que são transportadas no meio aéreo, e possuem diâmetros aerodinâmicos menores que 0,01  $\mu\text{m}$  até diâmetros superiores a 100  $\mu\text{m}$ .

Historicamente, as medições de MPS se resumiam na medição de Partículas Totais em Suspensão (PTS) sem seleção por tamanho. Em 1999, a agência de proteção ambiental americana (USEPA) definiu PTS como as partículas em suspensão na atmosfera com diâmetro aerodinâmico de até 100 $\mu\text{m}$ .

Nos EUA, o material particulado sedimentável é definido pela norma ASTM D1739 (1998), como:

“Material Particulado Sedimentável – 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 (ASTM – D 1739, 1998, tradução livre)”.

No Brasil o Material Particulado Sedimentável é definido pela norma ABNT MB 3402 (1991) 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 (20 mesh) (ABNT – MB 3402, 1991)”.

As partículas com diâmetro acima de 100  $\mu\text{m}$  tendem a se sedimentar mais rapidamente (SEINFELD & PANDIS, 2006), ocorrendo a deposição mais próximo à fonte emissora. Estas partículas que estão sujeitas a sedimentação são conhecidas como partículas sedimentáveis ou material particulado sedimentável. Apesar das partículas maiores sedimentarem mais rapidamente, as partículas menores também sedimentam, porém em um tempo mais longo. Estudos realizados recentemente (CONTI *et al.*, 2009) identificaram diversas frações de partículas presentes no material particulado sedimentado, que variaram de 5 a 100  $\mu\text{m}$  em sua maioria, entretanto, foi detectada a presença de partículas menores que 5  $\mu\text{m}$ .

Para Seinfeld e Pandis (2006) a distribuição de tamanhos de partículas na atmosfera é o resultado das emissões e da grande variedade de processos subsequentes que ocorrem no local da emissão. As partículas encontradas na atmosfera são divididas em três faixas, de acordo com seu tamanho e a maneira como foram geradas (TRINDADE, 2009).

A Figura 3-1 mostra as 3 (três) faixas de distribuição da área de superfície das partículas na atmosfera e os processos envolvidos na remoção das partículas em cada faixa. As partículas finas, com diâmetro inferior a 2,5  $\mu\text{m}$ , são normalmente denominadas partículas respiráveis. Tais partículas são importantes sob o ponto de vista da capacidade de penetração no aparelho respiratório (PACYNA, 1995).



A fração grosseira é definida como partículas com diâmetro maior que 2,5  $\mu\text{m}$  geradas por vários processos de atrito mecânico. Estas partículas, por serem maiores, não estão sujeitas ao movimento Browniano, sendo mais suscetíveis à força gravitacional quando comparadas com as partículas submicrométricas.

### 3.1.2. *Processo de Deposição das Partículas*

Partículas são constantemente removidas da atmosfera por dois mecanismos principais: deposição seca e úmida (TASDEMIR e ESEN, 2007). A deposição seca consiste na transferência direta de partículas para a superfície terrestre sem a presença de precipitação, enquanto a deposição úmida considera todos os processos através dos quais partículas são transferidas para a superfície da Terra na forma aquosa, por gotas de chuva, orvalho, neve, entre outros (SEINFELD e PANDIS, 2006).

#### 3.1.2.1. Deposição Úmida

A deposição úmida refere-se ao processo natural pelo qual partículas ou gases são removidos da atmosfera por meios hidro-meteorológicos:

- Remoção de partículas quando as mesmas servem como núcleos para condensação de vapor de água durante a formação da nuvem, sendo posteriormente incorporados à gota de chuva;
- Remoção de partículas causada pela colisão com uma gota de chuva, orvalho, neve, etc, podendo ocorrer tanto dentro quanto abaixo da nuvem.

Em todos os processos de remoção úmida, três passos são necessários para que ocorra a remoção úmida. Primeiramente as partículas devem estar na presença de água condensada, posteriormente, devem ser removidas por meios hidro-meteorológicos e, finalmente, ser depositadas na superfície. A Figura 3-2 apresenta os passos necessários à deposição úmida. Deve-se notar que quase todos os processos são reversíveis. Por exemplo: a chuva deve remover partículas abaixo das nuvens, mas as gotas de chuva, ao evaporarem, produzem novos aerossóis.

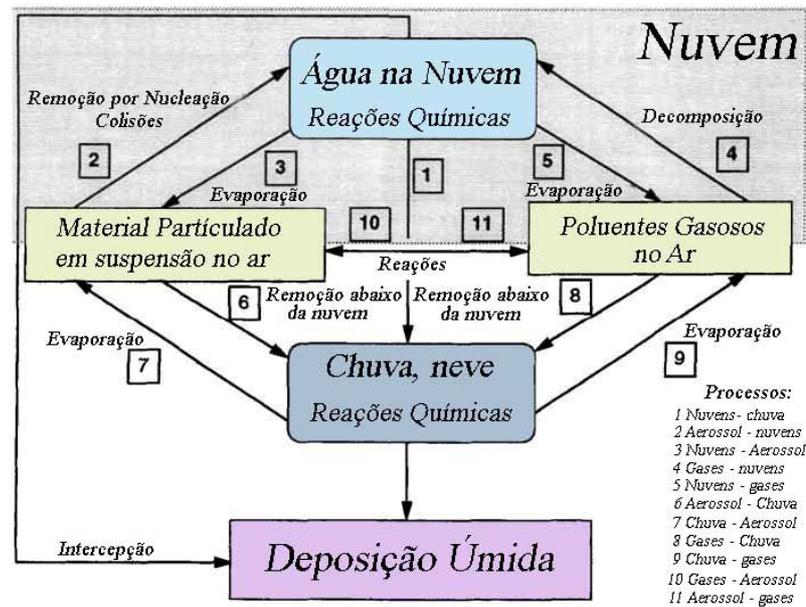


Figura 3-2: Esquema conceitual do processo de deposição úmido.

Fonte: Adaptado de Seinfeld e Pandis (2006).

### 3.1.2.2. Deposição Seca

Os principais fatores que governam a deposição seca de espécies gasosas ou as partículas são:

- A turbulência atmosférica, especialmente nas camadas mais próximas ao solo, influencia o fluxo vertical das espécies.
- As propriedades químicas do poluente que influenciam as espécies gasosas. Por exemplo, a solubilidade e as reações químicas afetam a absorção da espécie pela superfície.
- A natureza da superfície da partícula, que pode permitir a absorção ou adsorção de certos gases e, assim, aumentar seu peso.

No caso das partículas, tamanho, densidade e a forma são os principais fatores que determinam a captura da partícula pela superfície. Uma das formulações para a deposição seca assume que o fluxo de deposição é diretamente proporcional a concentração da espécie em questão na atmosfera a uma altura de referência acima da superfície (SEINFELD e PANDIS, 2006).

### 3.2. QUANTIFICAÇÃO DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS

O fluxo de deposição é igual à acumulação somente nos casos onde ocorre completa absorção na superfície. Em casos de deposição de partículas, a absorção completa não ocorre em ambientes naturais (eles podem ocorrer em casos de deposição de gases). Uma vez que as partículas se acumulam na superfície, servem como um ressaltado para impactos de novas partículas (GOOSSENS, 2001). Além disso, em ambientes naturais as partículas depositadas podem sofrer ação eólica e ressuspenderem.

Nesta dissertação, o fluxo de deposição foi considerado igual à taxa de acumulação, pois foram tomadas várias medidas de proteção ao coletor para que não houvesse ressuspensão. Há duas abordagens para determinar o fluxo de deposição de poeira atmosférica: medidas experimentais ou técnicas diretas e cálculos teóricos ou indiretos (SEINFELD e PANDIS, 2006).

#### 3.2.1. *Medidas Experimentais*

As medidas experimentais são técnicas diretas de medição do fluxo de deposição em uma superfície. Essas medidas requerem a aplicação de superfícies substitutas ou de aparelhos coletores, conforme descrito a seguir:

##### 3.2.1.1. Superfícies substitutas

Superfícies substitutas são superfícies que imitam a superfície original. Elas têm sido extensamente usadas em experimentos realizados em laboratório (túneis de vento) porque são fáceis de instalar e podem ser incorporadas na superfície original, evitando, assim, a perturbação do escoamento.

Entretanto, as superfícies substitutas não são comumente utilizadas em experimentos de campo por motivos práticos e por problemas instrumentais, principalmente quando são feitas medições de longo período ou quando a medição é feita no nível do solo. Apesar dessas dificuldades, alguns trabalhos têm sido reportados na literatura, relatando o emprego de superfícies substitutas em experimentos de campo, conforme apresentado a seguir.

Shannigrahi *et al.* (2005) utilizaram placas plásticas e de superfície lisas (0,45m x 0,3m x 5 mm) cobertas com folhas de alumínio (0,3m x 0,2 m) e revestidas com graxa do silicone (aproximadamente 15 mg) para coletar PS. A superfície de exposição da placa era igual a  $0,06\text{m}^2$ . As placas foram fixadas em três diferentes alturas.

Antes da coleta das amostras, a graxa foi pulverizada nas folhas de alumínio. Após o período de coleta, as folhas foram postas, então, em um forno a  $50\text{ }^\circ\text{C}$  por 90 minutos. As folhas foram pesadas antes e depois das amostras para determinar a massa total das partículas coletadas. A Figura 3-3 apresenta a placa utilizada neste experimento.

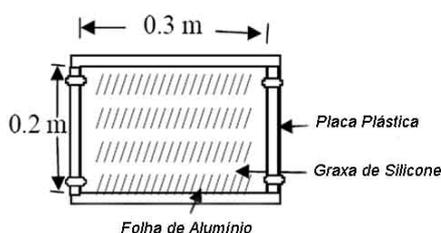


Figura 3-3: Vista superior de uma placa sobreposta.

Fonte: Shannigrahi, Fukushima e Ozaki, 2005

Shannigrahi *et al.* (2005) observaram que o fluxo de deposição diminuía com a altura devido ao efeito da ressuspensão, porém, ressaltaram que o formato do aparato utilizado pode ter subestimado o fluxo de deposição de PS.

Trivuncecic e colaboradores (2009) utilizaram um dispositivo de amostragem alternativo (Figura 3-4) a fim de identificar a quantidade e a direção de origem do material particulado, e assim, prever suas prováveis fontes emissoras. Os autores revestiram uma grande esfera de plástico (20cm de diâmetro,  $1256\text{ cm}^2$ ) com um material aderente (vaselina medicinal) e a posicionaram a uma distância de 1,5 e 1,7 metros de distância do solo (altura correspondente a um ser humano adulto), deste modo foi possível amostrar o fluxo vertical e horizontal de partículas.

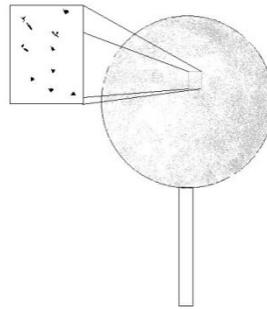


Figura 3-4: Dispositivo de amostragem alternativo, criado por Trivuncecic e colaboradores, 2009. Fonte: Adaptado Trivuncecic e colaboradores, 2009 apud Rigo, 2011.

As esferas ficaram expostas por um mês e depois foram encaminhadas para análise em laboratório. As partículas foram contadas manualmente através de uma lupa nos quatro principais pontos, nas direções norte, sul, leste e oeste (TRIVUNCEVIC et al., 2009).

Conti *et al.* (2009) empregaram placas de cobre de 5cmx5cm, cobertas por fitas adesivas, para simular a acumulação de partículas sobre superfícies reais expostas à atmosfera. As superfícies substitutas foram expostas à atmosfera durante 10 dias e posteriormente analisada através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Fluorescência por Raios X, para obter a caracterização morfológica e química das partículas depositadas conforme apresentado na Figura 3-5.

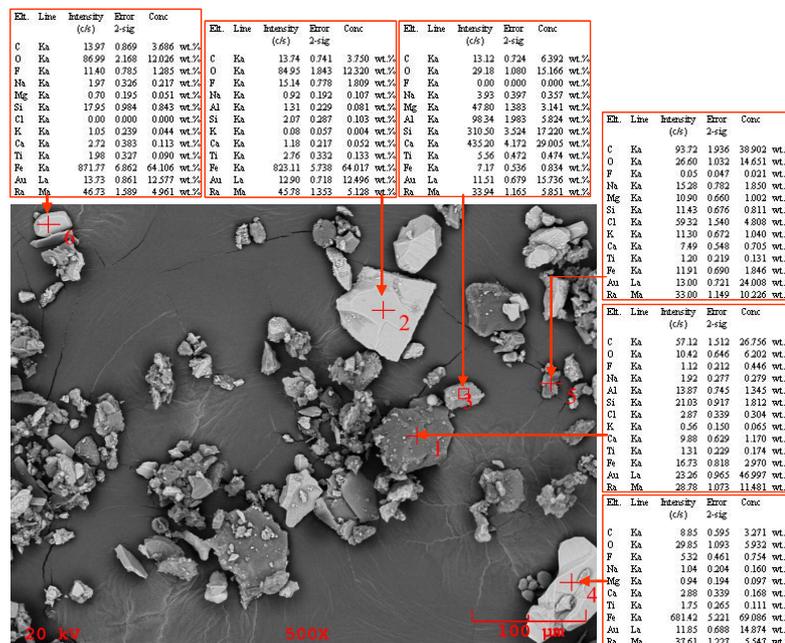


Figura 3-5: Imagem das amostras analisadas MEV e análise quantitativa do EFR para seis partículas individuais. Fonte: Conti *et al.* (2009).

Os resultados possibilitaram identificar diversas frações de partículas presentes no material particulado sedimentado, com diâmetros variando de 5 a 100  $\mu\text{m}$  em sua maioria, entretanto, foi detectada a presença de partículas menores que 5  $\mu\text{m}$ .

### 3.2.1.2. Aparelhos Coletores

As medições de PS em campo são geralmente medidas por meio de recipientes coletores de partículas. Muitos tipos de coletores têm sido descritos, variando desde equipamentos simples, tais como os comuns baldes de utilização doméstica, aos complexos aparatos com dispositivos para minimização da perturbação do escoamento atmosférico (VALLACK e SHILLITO, 1998).

Um dos coletores mais comumente utilizados é denominado “Recipiente Cilíndrico”, apresentado nas normas brasileiras (ABNT MB3402-91) e americana (ASTM D1739-98).

#### 3.2.1.2.1. Recipientes Cilíndricos

Neste trabalho foi adotado o recipiente descrito pela *Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter)* – ASTM D1739-98. O método ASTM D1739-98 determina o procedimento de coleta de partículas que permite a quantificação de PS 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, 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.

O recipiente cilíndrico deve ser feito 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 Figura 3-6.

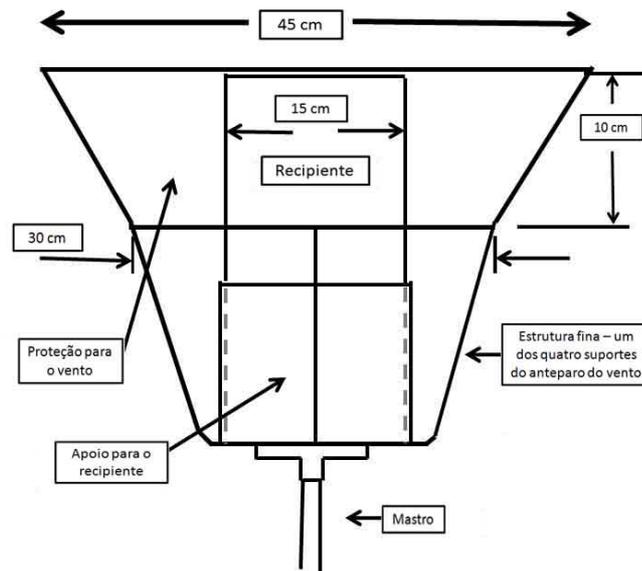


Figura 3-6: Desenho do coletor e da parte superior do suporte.  
Fonte: ASTM D 1739 (1998).

Qiang *et al.* (2007) realizaram um estudo sobre as partículas ressuspensas devido às tempestades de areia. Para coletá-las foram utilizadas três recipientes cilíndricos de vidro (15 cm de diâmetro e 30 cm de altura). As amostras foram coletadas mensalmente, durante as tempestades de areia, no período de junho de 2003 a abril de 2005. Cada coletor possuía duas camadas de esferas de vidro com diâmetro de 1,5 cm no fundo do recipiente. Os coletores foram instalados a uma altura de 3,5 m cima do solo. Um quarto coletor, deste mesmo tipo, foi posicionado a uma altura de 1,5 m a fim de capturar as partículas mais próximo ao solo.

Os coletores eram abertos no início e fechados ao final da tempestade. Ao final da coleta, os coletores e as esferas de vidro eram lavados com água destilada, sendo essa água posteriormente secada no forno (105°C). O resíduo da secagem era, então, pesado. A taxa de deposição de areia foi expressa em massa de partículas sedimentadas por unidade de área da base do coletor e unidade de tempo da amostragem (QIANG *et al.*, 2007).

A Figura 3-7 apresenta um outro coletor cilíndrico de vidro (30cm de diâmetro e 30cm de altura) utilizado nos experimentos realizados por Shannigrahi e colaboradores (2005) a fim de estudar a variação da concentração sazonal de Hidrocarbonatos Policíclicos Aromáticos PAH.

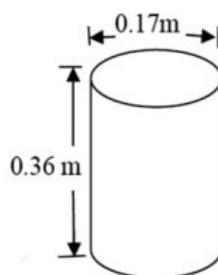


Figura 3-7: Coletor Cilíndrico baseado na norma ASTM D 1739-98.

Fonte: Shannigrahi, Fukushima e Ozaki, 2005

Todos os coletores foram instalados a 0,5, 1,5 e 12,5 m de altura em locais abertos, sem árvores ou prédios nas imediações. Água destilada foi adicionada ao interior do contêiner antes da amostragem, e a quantidade de água que era adicionada era determinada de acordo com a situação de evaporação e precipitação, geralmente girava em torno de 50ml no verão e inverno e 100ml em outras estações. Além da água destilada, ainda eram adicionados mais 60 ml de glicol em cada coletor para evitar o congelamento da água no inverno e reduzir o efeito da biodegradação (SHANNIGRAHI et al., 2005). Foi observado que o fluxo de deposição de partículas decresce com a altura, provavelmente devido o efeito da ressuspensão, ou devido à própria distribuição vertical das partículas em suspensão.

### 3.3. PADRÕES DE FLUXO DE DEPOSIÇÃO ENCONTRADOS ATUALMENTE

Alguns países possuem padrões de referência para o valor limite da deposição de partículas sedimentáveis. Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (USEPA) determinou e implementou o Padrão Nacional de Qualidade do Ar para seis poluentes (CO, fumaça, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, Pb, O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub>), no entanto, não enquadra partículas sedimentáveis (USEPA, 1998). Porém, alguns estados americanos possuem padrões de qualidade do ar para partículas sedimentáveis, conforme apresentado na Tabela 3-1. Observa-se, pela análise da Tabela 3-1, que no estado de Nova Iorque, os padrões estabelecidos para áreas densamente povoadas e de indústrias pesadas (6 g/m<sup>2</sup> x 30 dias), correspondente ao nível IV, são maiores do que aqueles estabelecidos para às áreas de culturas agrícolas e recreação, de atividades comercial e áreas densamente povoadas e próximas de grandes complexos metropolitanos, (correspondentes aos níveis I, II e III, respectivamente). Quanto ao tipo de padrão, observa-se que em alguns

estados se utiliza a média mensal ou trimestral, e em outros a média anual, não havendo uma padronização.

A União Européia (UE) desenvolveu um extenso conjunto de legislações que estabelece normas de saúde e prevenção à poluição com base e objetivos definidos para 12 (doze) poluentes atmosféricos, porém, assim como ocorre nos EUA, a legislação federal não aborda as PS. Todas as legislações destinadas à determinação de padrões de qualidade do ar na União Européia são originadas da Diretriz nº62, de 27 de setembro de 1996.

Segundo Vallack *et al* (1998), países como Finlândia, Alemanha e Espanha possuem padrão de qualidade do ar individuais para partículas sedimentáveis variando de 6 a 10,5 gramas por metro quadrado em 30 (trinta) dias (média anual).

O Canadá também possui padrão de qualidade do ar específico para PS. Estados canadenses desenvolveram padrões próprios para PS que variam pouco de um estado para o outro, como Manitoba e Newfoundland (Tabela 3-1 (VALLACK e SHILLITO, 1998). No estado canadense de Bristish Columbia, é definido um padrão desejável e um padrão aceitável de PS sendo a média calculada diariamente (*Lower Fraser Valley Ambient Air Quality Montana*, 2005).

Também foram encontrados padrões de qualidade do ar para Argentina ( $10\text{g/m}^2\text{mês}$  – média anual) e para Austrália de acordo com o publicado por Vallack & Shillito (1998).

No Brasil, a nível estadual, o Estado de Minas Gerais apresenta um padrão de qualidade do ar para partículas sedimentáveis regulamentado pela COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais) variando de  $5\text{ g/m}^2\text{mês}$  (demais áreas) a  $10\text{ g/m}^2\text{mês}$  (áreas industriais).

Tabela 3-1: Relação dos Padrões de qualidade do ar para Partículas Sedimentáveis.

Localidade	Variantes	Padrão Partículas Sedimentáveis (g/m <sup>2</sup> x30 dias)	Tipo de padrão	Referência
<b>Brasil</b>				
- Minas Gerais	Áreas industriais	10	Média mensal	COPAM, 1991
	Demais áreas	5	Média mensal	COPAM, 1991
<b>USA</b>				
- Kentucky	-	5,88	Média anual	VALLACK (1998)
- Louisiana	-	7,86	Média anual	VALLACK (1998)
- Maryland	-	5,49	Média anual	VALLACK (1998)
- Montana	-	5,88	Média anual	VALLACK (1998)
	-	10	Média mensal	DEQM (2005)
- Mississipi	Áreas residenciais	5,25	Média mensal	VALLACK (1998)
- North Dakota	-	5,88	Média trimestral	VALLACK (1998)
- Washington	-	5,49	Média anual	VALLACK (1998)
- Wyoming	-	5,10	Média mensal	VALLACK (1998)
- Pennsylvania	-	8	Média anual	PC (1998)
	-	15	Média mensal	PC (1998)
- New York	Durante 12 meses consecutivos 50% dos valores não devem exceder:			
	Nível I*	3	Média mensal	DENY (2009)
	Nível II**	3	Média mensal	DENY (2009)
	Nível III***	4	Média mensal	DENY (2009)
	Nível IV****	6	Média mensal	DENY (2009)
	Durante 12 meses consecutivos 84% dos valores não devem exceder:			
	Nível I*	4,5	Média mensal	DENY (2009)
	Nível II**	4,5	Média mensal	DENY (2009)
	Nível III***	6	Média mensal	DENY (2009)
	Nível IV****	9	Média mensal	DENY (2009)
<b>Europa</b>				
- Finlândia	-	10	Média anual	VALLACK (1998)
- Alemanha	-	10,5	Média anual	VALLACK (1998)
	-	19,5	Média mensal	VALLACK (1998)
- Espanha	-	6	Média anual	VALLACK (1998)
<b>Canadá</b>				
- Alberta	-	5,4	Média anual	VALLACK (1998)
- Manitoba	-	4,6	Média anual	VALLACK (1998)
	Máximo aceitável	8	Média anual	VALLACK (1998)
	Máximo desejável	6	Média anual	VALLACK (1998)
- Newfoundland	-	4,5	Média anual	VALLACK (1998)
	-	7	Média mensal	VALLACK (1998)
- Ontario	-	5,1	Média anual	VALLACK (1998)
	-	6	Média mensal	VALLACK (1998)
- British Columbia	Desejável	5,25	Média diária	AQR (2002)
	Aceitável	8,7	Média diária	AQR (2002)
<b>Outros países</b>				
- Argentina	-	10	Média anual	VALLACK (1998)
- Austrália	Mínimo impacto percebido	4	-	VALLACK (1998)
	Impacto inaceitável	10	-	VALLACK (1998)

\*Nível I – predominantemente utilizados para a madeira, culturas agrícolas, criação de gado leiteiro, ou recreação.

\*\*Nível II – predominantemente individuais e duas residências familiares, pequenas propriedades, e serviços limitados para atividades comerciais e de desenvolvimento industrial.

\*\*\*Nível III – áreas densamente povoadas, principalmente edifícios de escritórios comerciais, lojas, indústrias leves ou áreas suburbanas de desenvolvimento comercial e industrial limitado perto de grandes complexos metropolitanos.

\*\*\*\*Nível IV – áreas densamente povoadas, principalmente edifícios de escritórios comerciais, armazéns e indústrias em grandes complexos metropolitanos, ou áreas de indústria pesada.

#### 3.4. ANÁLISE DA RELAÇÃO EXPOSIÇÃO-RESPOSTA

Klæbo et al (2000) analisou, de forma integrada, o incômodo causado pela poluição atmosférica e sonora emitida pelo tráfego de veículos sobre a população da cidade de Oslo, Noruega. Foram realizadas três campanhas, em 1987, 1994 e em 1996, sendo que cada campanha envolveu cerca de 1000 participantes. Na campanha de 1987 foram realizadas entrevistas pessoalmente, já nas duas últimas, as entrevistas foram realizadas por telefone. As campanhas foram realizadas em sub-áreas, escolhidas de forma a representarem regiões com aumento, diminuição e estabilidade na intensidade de tráfego de veículos. Foram feitas perguntas sobre nível de incômodo (forte, fraco ou nenhum) por ruído e por odor de exaustão.

A concentração média de 3 (três) meses do poluente NO<sub>2</sub> foi utilizada como indicador geral dos demais tipos de poluentes atmosféricos. Todas as vias da área de estudo foram representadas, sendo a concentração de poluentes calculada para cada ponto receptor (residência dos entrevistados), através de um modelo de dispersão denominado EPISODE.

A análise estatística de correlação mostrou que os diferentes tipos de exposição se correlacionam positivamente, ou seja, o nível de incômodo aumenta significativamente com o aumento tanto do odor quanto do ruído. De forma geral, pôde-se concluir que o alto nível de incômodo apresentado por um indivíduo (por ruído, odor, etc) parece ser significativamente influenciado pelo alto nível de incômodo por outro tipo de exposição. Assim, se uma pessoa relata alto nível de incômodo por odor, provavelmente também relatará alto nível de incômodo por ruído, e vice-versa.

Dando continuidade ao seu estudo, Klæbo et al (2000), analisaram as diferenças no relato do incômodo causado por poluição veicular ao longo de três períodos diferentes de amostragens (1987, 1994 e 1996), sendo que, ao longo desses períodos, a cidade sofreu transformações quanto à localização das vias de tráfego mais intenso. A campanha de 1987 ocorreu antes das alterações no trânsito, já as duas últimas ocorreram depois. Os pesquisadores identificaram menores níveis médios de incômodo na terceira campanha, e concluíram que a amostragem da

população, através de pesquisa de opinião, consiste numa metodologia viável para avaliar a percepção da população antes e depois de uma dada situação (nesse caso, antes e depois da implantação de melhorias no tráfego).

Clench-Aas (2000), assim como no estudo anterior, utilizou o modelo EPISODE para estimar os valores horários de concentração de diferentes poluentes em cada quilômetro quadrado da área de estudo, estimar as alterações nos níveis de incômodo quando há redução nos níveis de poluição. Os resultados da pesquisa mostraram, por exemplo, que uma redução de 50 para 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração média de três meses de  $\text{NO}_2$ , causou uma redução de cerca de 5 a 10% sobre o risco do indivíduo se sentir fatigado ou incomodado. As mulheres apresentaram níveis de fadiga maiores que os dos homens. Homens mais jovens também relataram sintomas à saúde mais frequentemente que homens mais velhos. A conclusão do estudo apresenta a quantificação da relação “exposição-efeito” como ferramenta capaz de mostrar que medidas de redução da poluição podem provocar mensuráveis benefícios à população e ao meio ambiente de forma geral.

Rotko et al (2002) investigaram os fatores que caracterizam o incômodo percebido pela população devido à poluição atmosférica e, ao mesmo tempo, estabeleceram uma relação entre níveis de incômodo e níveis de concentração de poluentes atmosféricos (especificamente  $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{2,5}$ ) através da utilização de dados de um estudo europeu conhecido como EXPOLIS (Estudo da distribuição da exposição à poluição entre a população européia urbana adulta) que abrange seis cidades européias.

Esse estudo avaliou o incômodo causado por poluição atmosférica percebido em casa, no trabalho e no tráfego, tendo sido entrevistadas, aleatoriamente, 1736 pessoas entre 25 e 55 anos de idade. Nesse estudo, Rotko et al (2002) compara os níveis de incômodo aos valores de concentração de  $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{NO}_2$  medidos individualmente nos mesmos microambientes: residência, local de trabalho e trânsito.

A escala de incômodo da pesquisa variou de zero (nenhum incômodo) a dez (incômodo insuportável). Após o período de medições, foram aplicados os questionários com perguntas como: “O quanto você se sente incomodado em casa/no trabalho/no tráfego durante as últimas 48 horas?” (3 perguntas diferentes), sexo, idade e nível educacional, além do: nível de tabagismo, existência de sintomas alérgicos, sensibilidade à poluição atmosférica, presença de criança na casa e localização da residência (subúrbio ou centro da cidade).

De forma geral, o estudo concluiu que há grande variação dos níveis de poluição entre as seis cidades estudadas. Os maiores níveis de incômodo foram encontrados no trânsito. Os fatores significativos para o incômodo percebido foram cidade, auto-relato de sensibilidade à poluição atmosférica e a sintomas respiratórios, residência no centro da cidade e sexo.

Quando analisados os níveis de incômodo e os valores de concentração dos poluentes para cada cidade estudada, o nível de incômodo em casa se correlacionou fortemente com a medida de concentração individual de 48 horas tanto para  $PM_{2,5}$  quanto para  $NO_2$ , assim como também se correlacionou fortemente com a concentração de  $NO_2$  interna às residências.

Trindade et al (2006) analisou a percepção ambiental à poeira sedimentável da população residente em municípios da Grande Vitória – ES (Vila Velha, Serra e Vitória).

A percepção à poluição foi verificada por uma pesquisa quantitativa, feita por meio de um questionário, aplicado a 653 pessoas, maiores de 14 anos, proporcionalmente distribuídas nos municípios já citados acima, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – de sexo e faixa etária. A pesquisa foi realizada num intervalo de tempo de 8 dias.

As questões foram elaboradas com o objetivo de retratar a percepção da população entrevistada, denunciando a intensidade do incômodo, o comprometimento do gozo de suas propriedades, bem como a identificação das principais fontes emissoras de PS na região, além de identificar se a população associa a poeira como responsável por algum tipo de dano causado a sua saúde.

Dos 653 entrevistados, 83% relatam que se sentem incomodados com a poeira em suas residências. E de uma forma geral, ou seja, não só em suas residências, a poeira incomoda muito 47% das pessoas; 28% se sentem extremamente incomodadas; 23% se sentem pouco incomodadas; e 1% não revelou incômodo. Da amostra, 97% entende que a poeira causa problema à saúde, mas não pelo incômodo social, e sim pela associação das macropartículas à inalação e a conseqüente geração de enfermidades. Prova disso, é o fato de que 53% das pessoas entrevistadas afirmaram que possuem doenças causadas pela poeira e ao serem questionadas sobre quais enfermidades a poeira pode causar, a maioria citou alergias, bronquite, asma e sinusites.

A pesquisa retrata que 13% das pessoas classificam a qualidade do ar da Grande Vitória como péssima; 47% como ruim; 27% como boa, e 13% não possuíam opinião formada.

Llop et al (2008) realizou pesquisa com o objetivo de analisar os níveis de incômodo causado por poluição atmosférica e ruído em mulheres grávidas, determinar os fatores que influenciam nos níveis de incômodo, assim como analisar a relação do incômodo com os níveis de concentração ambiente de NO<sub>2</sub>.

A população envolvida no estudo compreendeu 786 mulheres grávidas da cidade de Valência, na Espanha que, no período da pesquisa, faziam pré-natal no hospital de referência de Valência. O incômodo causado por poluição atmosférica e ruído, assim como os fatores determinantes para esse incômodo foram obtidos através da aplicação de questionário. Níveis de NO<sub>2</sub> foram determinados combinando medições em 93 pontos na área de estudo. distribuição espacial das residências das participantes foi feita em uma área na qual havia grande variabilidade ambiental e sócio-demográfica. A área do estudo foi dividida em 4 sub-áreas: Urbana, Metropolitana, Semi-Urbana e Rural.

A escala de medida do questionário tinha 11 pontos, variando de 0 (sem incômodo) a 10 (incômodo insuportável). As questões sobre incômodo foram formuladas da seguinte forma: “O quanto te incomoda a poluição que vem de fora da sua residência quando você deixa sua janela aberta (referente a gases, fumaça, pó, etc)?”. Posteriormente, a escala de incômodo foi organizada em categorias, variando de nenhum incômodo (0) a incômodo alto (8-10).

Para monitoramento de NO<sub>2</sub>, amostradores passivos foram posicionados radialmente simétricos em 93 pontos do gride que cobre a área de estudo. O coeficiente Spearman (r) foi usado para determinar a correlação entre o grau de incômodo devido aos dois tipos de poluição e os níveis de NO<sub>2</sub>. Foi aplicado um modelo de regressão logístico multivariada, com o nível de incômodo como sendo a variável dependente. As variáveis explanatórias utilizadas no modelo foram: níveis de NO<sub>2</sub>, idade, nível de escolaridade, status profissional, grau de tabagismo, sintomas respiratórios, distância da residência a vias de tráfego intenso.

Percebe-se, com os resultados da análise estatística, que, de forma geral, há uma alta percentagem de mulheres que relataram médio a alto incômodo devido a ruído e poluição atmosférica. Foi observada uma associação significativa entre o grau de incômodo por poluição atmosférica e os diferentes tipos de áreas residenciais, sendo que o nível de incômodo tende a diminuir quando parte-se da área urbana em sentido à área rural. Observou-se, também, um maior grau de incômodo nas entrevistadas que não trabalhavam fora (“donas de casa”). O nível de NO<sub>2</sub> em cada residência foi associado com os níveis de incômodo, revelando que, para cada aumento de 10mg/m<sup>3</sup> na concentração de NO<sub>2</sub>, a porcentagem de

mulheres que se relatam altamente incomodadas aumenta 63% (tomando a escala “sem incômodo” como referência). Quase 50% das grávidas entrevistadas relataram de médio a alto incômodo devido à poluição do ar. O estudo ainda revelou que as únicas variáveis (ou fatores) que apresentaram correlação significativa com os níveis de incômodo na análise multivariada foram “concentração de NO<sub>2</sub>”, “densidade de tráfego” e “situação empregatícia (se possui emprego ou se trabalha em casa)”.

A avaliação da correlação “incômodo-exposição” também foi estudada por Amundsen et al (2008), que estabeleceu, em sua pesquisa, uma correlação entre o incômodo gerado por poeira e por odor e indicadores de poluição do ar (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>) na Noruega. O incômodo causado por poeira foi correlacionado com as concentrações de PM<sub>10</sub> e o incômodo por odor foi correlacionado com as concentrações de PM<sub>2,5</sub> e NO<sub>2</sub>. Foram utilizados dados de questionário sobre nível de incômodo de 3 pesquisas realizadas anteriormente na cidade de Oslo (Klæboe et al., 2000) e de dois estudos realizados em Drammen (Fyhri, 2001).

Os questionários sobre incômodo causado por poeira aplicados em ambas as cidades perguntavam: “Você presencia poeira ou sujeira quando está do lado de fora da sua casa?”. As respostas eram “sim”, “não” e “não aplicável”. A aplicação do questionário praticamente não variou nos diferentes anos em que foi realizada, para ambas as cidades (Oslo e Drammen).

As emissões por tráfego de veículos foram incluídas no estudo, sendo que todas as vias da área de estudo foram geograficamente representadas. 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 de poluentes foi calculada para cada ponto receptor, através do modelo de dispersão EPISODE, que estima a concentração horária em cada ponto receptor.

Após análise estatística, o estudo pôde constatar que cerca de 30% da população se relata altamente incomodada pela poeira quando exposta a níveis de concentração da ordem de 30 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>. Quando exposta a níveis de concentração da ordem 40 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>, que é o limite europeu para esse poluente (média anual), 45% da população se diz altamente incomodada. De forma geral, o estudo desenvolvido por Amundsen et al (2008), mostrou que há um aumento significativo nos níveis de incômodo em função da concentração dos poluentes.

Outro estudo desenvolvido na Noruega, por Klæboe et al (2008), objetivou estabelecer uma correlação entre níveis de exposição ao poluente NO<sub>2</sub> e níveis de incômodo por poluição

veicular (relação exposição-resposta). Além disso, o estudo comparou a relação exposição-resposta do presente estudo com a relação apresentada em estudos realizados na Suíça, na Suécia e em um estudo feito em várias cidades européias (EXPOLIS). Foram utilizados dados de questionário sobre nível de incômodo de 3 pesquisas realizadas anteriormente na cidade de Oslo (Klæboe et al., 2000) e de dois estudos realizados em Drammen (Fyhri, 2001).

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 exposição à poluição foi calculada para cada um dos pontos receptores. A exposição à poluição por veículos para cada residência foi calculada de hora em hora, por um período de 3 meses.

Klæboe et al (2008), verificou que os estudos avaliados (presente estudo realizado na Noruega, estudo realizado na Suíça, Suécia e o estudo denominado Expolis) apresentaram curvas exposição-resposta semelhantes, sendo as principais diferenças associadas ao fato de terem sido aplicadas metodologias diferentes nos estudos comparados. Os 4 (quatro) estudos comparados apresentaram curvas que representavam um aumento do nível de incômodo por emissão veicular quando aumentava o nível de concentração.

Stenlund et al (2009), em seu estudo realizado na Suécia, objetivou investigar os efeitos da diminuição da poluição atmosférica (principalmente poeira) na percepção da poluição, percepção de risco, incômodo e sintomas à saúde. Outro objetivo do estudo foi testar um modelo que descrevesse correlações entre poluição atmosférica, percepção da poluição, percepção de risco à saúde, incômodo e sintomas à saúde.

Vale ressaltar que a definição de “percepção da poluição” é baseada em como a população visualmente descreve a situação do ambiente, e “percepção de risco” baseia-se em quão preocupada com os efeitos da poluição à sua saúde a população relata estar.

Foram aplicados dois questionários na cidade de Oxelosund, na Suécia. O primeiro questionário foi aplicado antes da intervenção em uma usina de sinterização da região (chamado de pré-teste, realizado em 1995) e o segundo após a intervenção (pós-teste, realizado em 1998). A faixa etária dos entrevistados variou de 18 a 75 anos de idade, sendo que os mesmos foram selecionados aleatoriamente para participar dos testes (684 participantes no pré-teste e 684 participantes no pós-teste). As duas amostras populacionais foram representativas da população dos dois períodos nos quais foram aplicados os questionários.

Após o encerramento das atividades da planta de sinterização, percebeu-se que o ambiente se tornou menos sujo, e os residentes se relataram menos incomodados com a poluição devido ao pó/poeira e até mesmo por substâncias odoríferas.

Os resultados mostraram que não foi verificada diferença no fator “sintomas à saúde” entre os dois testes.

A intervenção na siderúrgica resultou em uma menor percepção de poeira por parte da população, e um menor nível de incômodo, além de uma menor percepção de risco. Através da utilização de ferramenta estatística para avaliação de todos os fatores em conjunto, concluiu-se que a percepção de poluição e a percepção de risco desenvolvem importantes papéis na estimativa do incômodo percebido.

A intolerância ambiental (IA) tem sido associada à problemas emocionais e transtornos psicológicos (EEK et al., 2010). Eek et al. (2010), visaram verificar, através de uma pesquisa de painel, a relação entre o incômodo ambiental e os transtornos sociais e comportamentais. Foi realizada uma pesquisa de opinião no sudoeste da Suécia, em 1999, com 10275 participantes, tendo sido posteriormente repetida a pesquisa, com os mesmos participantes, em 2004. Os questionários foram enviados por correio. Os questionários visavam obter informações a respeito de fatores sociais, incômodo percebido, bem estar e condições de trabalho, dentre outros.

O estudo de painel permitiu verificar que mais mulheres relatavam-se incomodadas que homens. Também foi percebido que, dentre as pessoas que apresentaram incômodo no início da pesquisa, 50,2% também relataram incomodadas na segunda campanha, em 2004. Dentre os participantes que não relataram incômodo no início da pesquisa, 10,6% apresentaram níveis de incômodo na etapa posterior, sendo esses participantes os que apresentaram os maiores níveis de estresse, tensão e insatisfação com sua situação de trabalho.

## 4. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos definidos no Capítulo 2, foram definidas 3 (três) atividades principais, após a seleção do local de estudo. A primeira atividade é a realização da pesquisa de opinião para avaliar os níveis de incômodo causados pela presença de partículas sedimentáveis à população da região de estudo, dentre outros.

Foi definido que a pesquisa de percepção do nível de incômodo por parte da população da região impactada seria realizada de forma estatisticamente representativa, sob auxílio de um profissional da área de Estatística, que prestou serviço de consultoria também na elaboração do questionário que foi aplicado aos moradores.

A segunda etapa é o desenvolvimento da pesquisa de painel, com objetivo de estudar as variações nos níveis de incômodo percebidas pelos participantes com diferentes frequências. Tal atividade permite a análise de correlação entre os níveis de incômodo relatados e os dados de concentração de PS obtidos através da Rede de Monitoramento de Partículas Sedimentáveis.

A terceira etapa da pesquisa é a medição direta do fluxo de deposição de partículas sedimentáveis, sendo esta etapa realizada concomitantemente à pesquisa de painel.

### 4.1. REGIÃO DE ESTUDO

#### 4.1.1. *Escolha do Local de Estudo*

A Região da Grande Vitória (RGV) compreende os municípios da Serra, Vila Velha, Vitória, Cariacica, Viana, Fundão e Guarapari e, embora ocupe apenas 5% do território capixaba (2.318,9 km<sup>2</sup>), concentra quase metade da população do Espírito Santo (IJSN, 2008).

Essa região compreende uma área formada por uma topografia complexa. Seu relevo varia desde uma planície litorânea a colinas, com destaque para o Mestre Álvaro, com 833 metros de altura no município de Serra; a reserva de Duas Bocas no município de Cariacica, que possui picos com altura variando de 200 a 800 metros; maciços costeiros, destacando-se entre eles o Maciço Central no município de Vitória, que ocupa quase toda a região da cidade, com altura estimada em 293 metros até a sua fronteira leste com o oceano Atlântico.

A ocupação do solo é variada, desde grandes áreas com cobertura vegetal diversa a regiões urbanas dominadas pela pavimentação. A sua proximidade com o oceano, bem como a sua topografia, controlam as condições meteorológicas e a circulação atmosférica, onde a presença de efeitos de mesoescala é bem representada (brisa marinha e terrestre, formação de chuva, ilhas de calor entre outros) (SANTIAGO, 2009).

Como citado anteriormente, a RGV possui áreas densamente habitadas localizadas próximas ao principal pólo industrial da região, denominado Complexo de Tubarão, onde são desenvolvidas as atividades de siderurgia e pelotização.

A direção do vento predominante na RGV é a direção N-NE (SANTIAGO, 2009), responsável por direcionar as emissões industriais no sentido da Ilha do Boi (Figura 4-1 e Figura 4-2), gerando insatisfação por parte da população, insatisfação essa que será avaliada por essa pesquisa por meio da pesquisa de opinião.

Assim, o local escolhido para realização do presente estudo foi o Bairro Ilha do Boi, localizado no município de Vitória-ES.

Dessa forma, resume-se que o bairro Ilha do Boi foi escolhido como região alvo do estudo pelos fatores listados a seguir:

- Localizada em região que sofre influência direta das emissões de material particulado proveniente de um complexo industrial inserido próximo às comunidades (vide Figura 4-2);
- Bairro com delimitação geográfica bem definida;
- Possui população relativamente pequena, estimada em 1.176 moradores (Fonte: Prefeitura de Vitória, 2000), com área de aproximadamente 347.000 m<sup>2</sup>, tornando viável a realização da pesquisa de opinião e de painel;
- População organizada, com representatividade política, que rotineiramente se manifesta negativamente no que se refere ao incômodo percebido;
- Possui 2 (duas) estações de monitoramento de partículas sedimentáveis sob controle do órgão ambiental do estado.

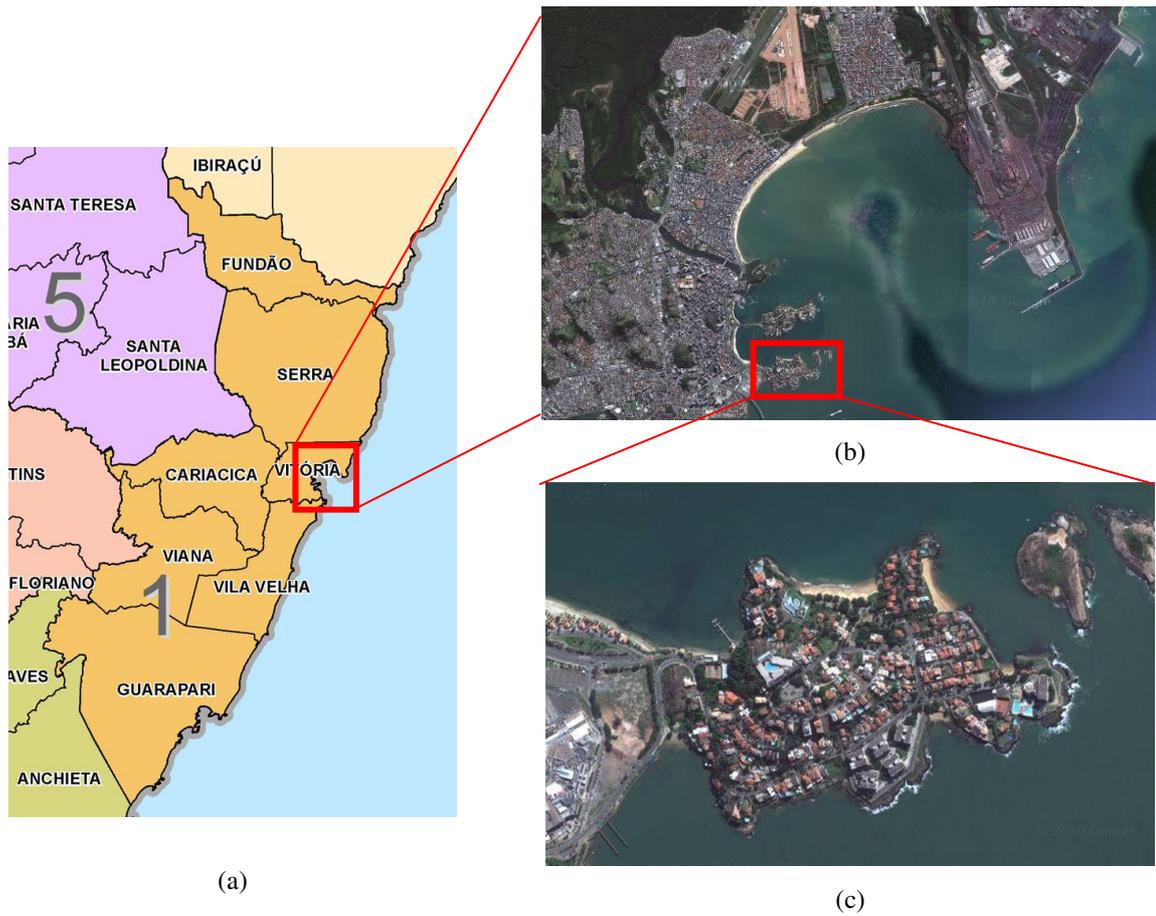


Figura 4-1- Região de estudo. (a) RGV, (b) Vista parcial da cidade de Vitória, indicando a localização da (c) Ilha do Boi.



Figura 4-2: Localização da Ilha do Boi e do Complexo Industrial.

O Complexo Industrial em questão desenvolve atividades do ramo minero-siderúrgico. Em 2011 foi divulgado o mais recente Inventário de Fontes de Emissão da RMGV pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), tendo como ano base 2009. Os resultados do inventário permitem afirmar que as taxas médias de emissão de Material Particulado (MP) das duas principais empresas instaladas no Complexo Industrial de Tubarão são de 248,38 Kg/h (ArcelorMittal) e 595,09 Kg/h (VALE) (IEMA e ECOSOFT, 2011), representando, aproximadamente, 80,5% de toda a emissão industrial de MP da Região da Grande Vitória.

#### *4.1.2. Características Meteorológicas da Ilha do Boi*

As características meteorológicas da Região da Ilha do Boi foram definidas com base nos parâmetros monitorados pelas estações mais próximas. Assim, foram utilizados os parâmetros meteorológicos direção e velocidade do vento monitorados pela estação do aeroporto de Vitória (distante cerca de 5km da Ilha do Boi) e de valores de precipitação e temperatura fornecidos pela estação Carapina (distante cerca de 8km da Ilha do Boi).

A Figura 4-3 apresenta a variação sazonal da temperatura para o período compreendido entre os anos 2009 a 2010. Percebe-se que as temperaturas variam, em média, de 27,5°C no mês de fevereiro a 21,5°C no mês de junho, sendo que o máximo ocorrido no período foi 36,7 °C em fevereiro de 2006 e o mínimo foi 12,0 °C em agosto de 2010. A temperatura média da região foi de 24,0 °C para o período analisado.

Percebe-se que as temperaturas apresentam-se mais elevadas no verão, entre os meses de dezembro a março, com decaimento das temperaturas ocorrendo entre os meses de junho a agosto.

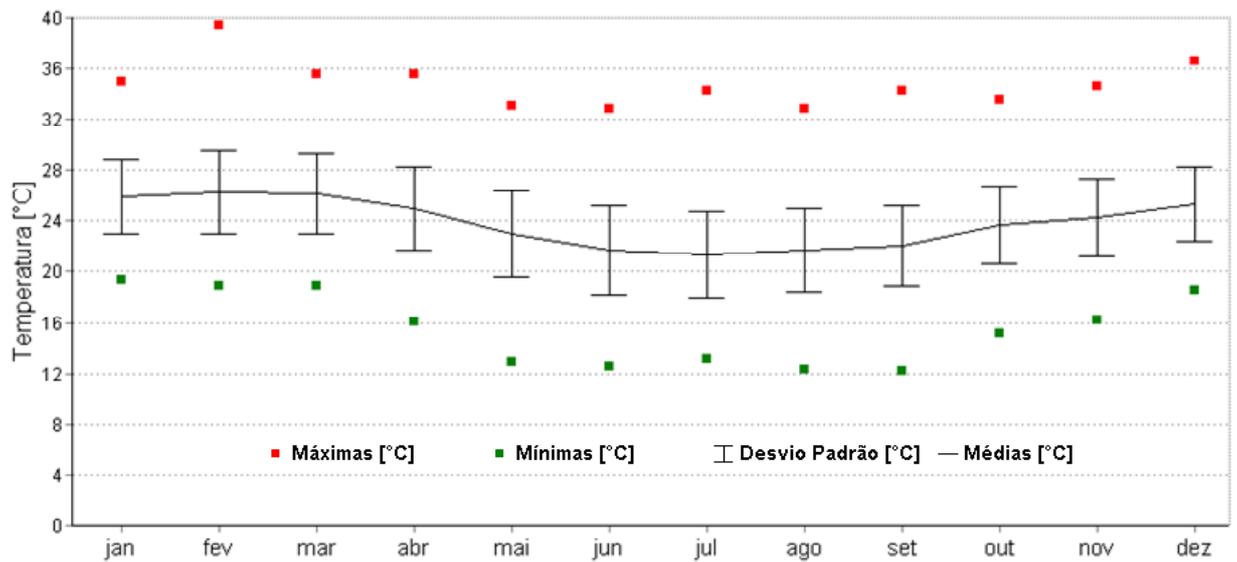


Figura 4-3: Variação sazonal da temperatura para o período compreendido entre 2009 a 2010, medida pela estação Carapina.

A Figura 4-4 apresenta a distribuição mensal acumulada da precipitação pluviométrica para o período compreendido entre os anos 2009 a 2010. Consta-se que os meses de março e outubro apresentam os maiores índices pluviométricos.

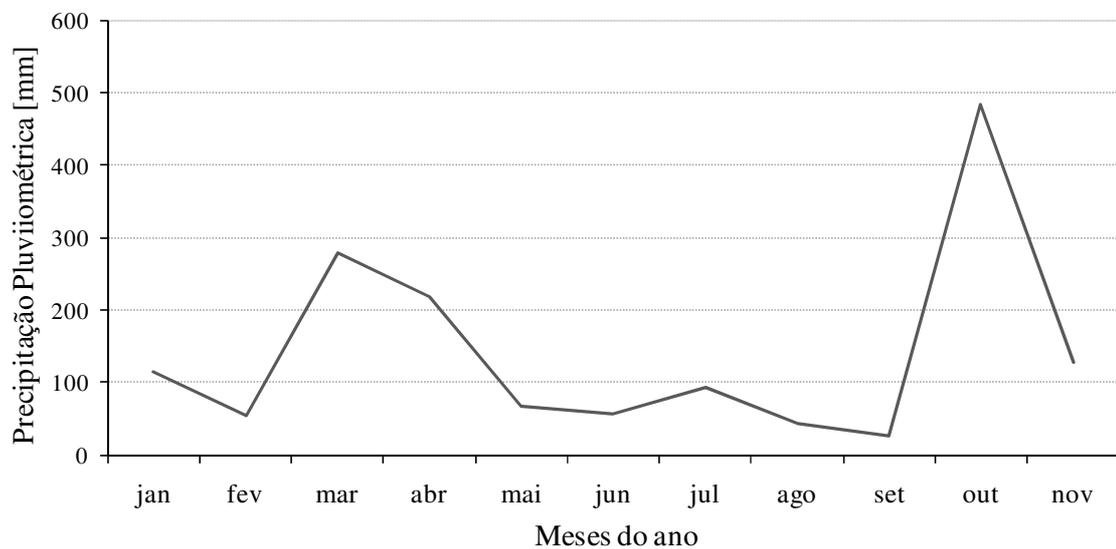


Figura 4-4: Variação sazonal da precipitação acumulada para o período compreendido entre 2009 a 2010, medida pela estação Carapina.

A Figura 4-5 apresenta a Rosa dos Ventos para o período compreendido entre os anos 2009 a 2010.

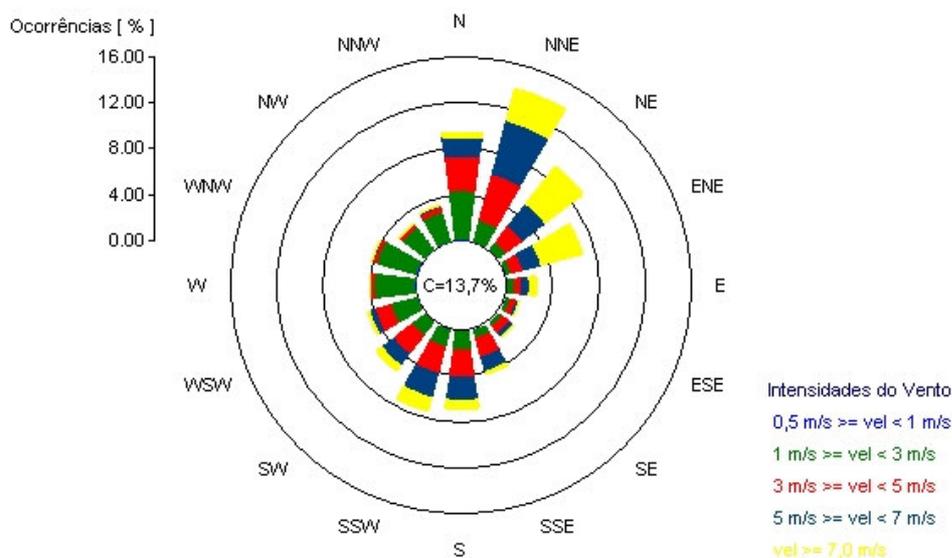


Figura 4-5: Rosa dos Ventos do período compreendido entre os anos de 2009 a 2010 – estação aeroporto.

Percebe-se a predominância dos ventos provenientes do quadrante Norte-Leste, com destaque para os ventos Nordeste, com velocidades médias em torno de 3,7 m/s. Pode-se constatar a ocorrência de calmaria (ventos com intensidade abaixo de 0,5 m/s) em 13,7% do período de monitoramento.

## 4.2. QUANTIFICAÇÃO DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DE PS

### 4.2.1. Medição Direta do Fluxo de Deposição de PS com frequência mensal

Santos e Reis (2011) determinaram a localização dos atuais 11 (onze) pontos de coleta de PS que compõem a Rede de Monitoramento de Partículas Sedimentadas (RMPS) da RGV, pertencente ao IEMA. A RMPS foi implantada de forma a aproveitar a estrutura já existente da RAMQAR. Assim, foram implantados coletores de PS em todas as 8 (oito) estações da RAMQAR, além de mais 3 (três) pontos adicionais de coleta, totalizando 11 (onze) estações fixas de monitoramento distribuídas na RGV. O Quadro 4-1 apresenta a identificação e a localização das estações que compõem a RMPS.

<b>Identificação Estação</b>	<b>Localização</b>	<b>Município</b>
Estação 01	Laranjeiras – Hospital Dório Silva	Serra
Estação 02	Carapina – Arcelor Mittal	Serra
Estação 03	Jardim Camburi - Unidade de Saúde, Rua Elvira Vivácqua	Vitória
Estação 04	Enseada do Suá - Corpo de Bombeiros	Vitória
Estação 05	Vitória Centro - Ministério da Fazenda	Vitória
Estação 06	Vila Velha Ibes - 4º Batalhão da Polícia Militar , Av. N. S. da Penha	Vila Velha
Estação 07	Vila Velha Centro - McDonald's Av. Champagnat	Vila Velha
Estação 08	Cariacica - CDA (CEASA)	Cariacica
Estação 09	Hotel SENAC – Ilha do Boi	Vitória
Estação 10	Clube Ítalo – Ilha do Boi	Vitória
Estação 11	Vitória Centro – Banca	Vitória

Quadro 4-1: Localização das estações da Rede de Monitoramento de Partículas Sedimentáveis da RGV.

Dentre as 11 (onze) estações, 2 (duas) estão localizadas na Ilha do Boi (Figura 4-6), sendo estas denominadas Estação 09 – Hotel Senac, e Estação 10 – Clube Ítalo.

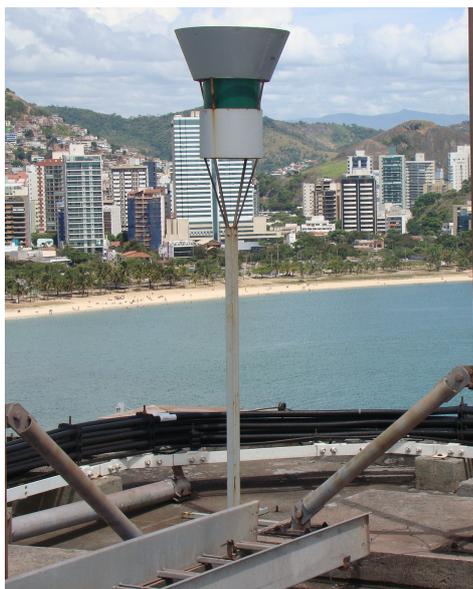
A Figura 4-6 apresenta a localização das 2 (duas) estações de monitoramento de PS localizadas na Ilha do Boi, das quais foram obtidos os dados mensais de fluxo de deposição para execução deste trabalho. A Figura 4-7 apresenta em detalhes os recipientes coletores instalados nas estações da Ilha do Boi. Os recipientes de coleta de PS existentes na Rede são os indicados pela Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter) – ASTM D1739-98.



Figura 4-6: Localização das estações de Monitoramento de Partículas Sedimentáveis localizadas na Ilha do Boi, Estação Hotel Senac e Estação Clube Ítalo.

Em cada estação existem 4 (quatro) coletores, o que permite uma avaliação, ainda bastante simplista, do nível de incertezas das medições de deposição, por meio da comparação dos valores obtidos por cada coletor (Rigo, 2011).

A cada início de mês, técnicos do IEMA retiram os potes que ficaram expostos e repõem novos potes nos suportes. Os potes, ao serem recolhidos, têm seus orifícios vedados com material plástico de modo a não mais permitirem deposição de qualquer material sedimentável, sendo então encaminhados ao laboratório do IEMA para quantificação do material sedimentado. Os resultados são expressos em grama por metro quadrado por 30 dias ( $\text{g/m}^2\text{30dias}$ ).



(a) Estação Senac - Vista do pote A.



(b) Estação Senac - Vista do pote B.



(c) Estação Clube Ítalo.

Figura 4-7: Imagens fotográficas das 2 (duas) estações de monitoramento de PS da Ilha do Boi. (a) Estação do Hotel Senac – Vista do pote A. (b) Estação do Hotel Senac – Vista do pote B. (c) Estação do Clube Ítalo.

A quantificação da massa de PS foi realizada de acordo com o método ASTM D1739- 98 (reaprovada em 2004) quanto à confecção e disposição dos coletores (ANEXO A). Para a quantificação da poeira sedimentada foi utilizada a norma ABNT MB3402 (1991), exceto em relação ao algicida recomendado (ANEXO A).

De acordo com a norma ASTM D1739- 98, o frasco coletor deve ter pelo menos 150 mm de diâmetro com altura não inferior à duas vezes o diâmetro, ser de aço inox ou plástico resistente à intempéries. A capacidade volumétrica do frasco deve ser compatível com o índice pluviométrico da região, mantendo-se as exigências quanto ao material e diâmetro da boca do coletor. Deve ser adicionado ao coletor 1 ml de solução de cobre a 1 ppm para cada litro de água, visando inviabilizar o desenvolvimento de algas e fungos. Os coletores devem ser protegidos da exposição à poeira até sua instalação no suporte. A exposição deve durar 30 +/- 2 dias. Após o tempo de exposição, o coletor deve ser coberto e recolhido para análise no laboratório.

O monitoramento do fluxo de deposição de PS na Ilha do Boi é realizado desde 2009, estando os resultados de todo o período de monitoramento apresentados na Figura 4-8.

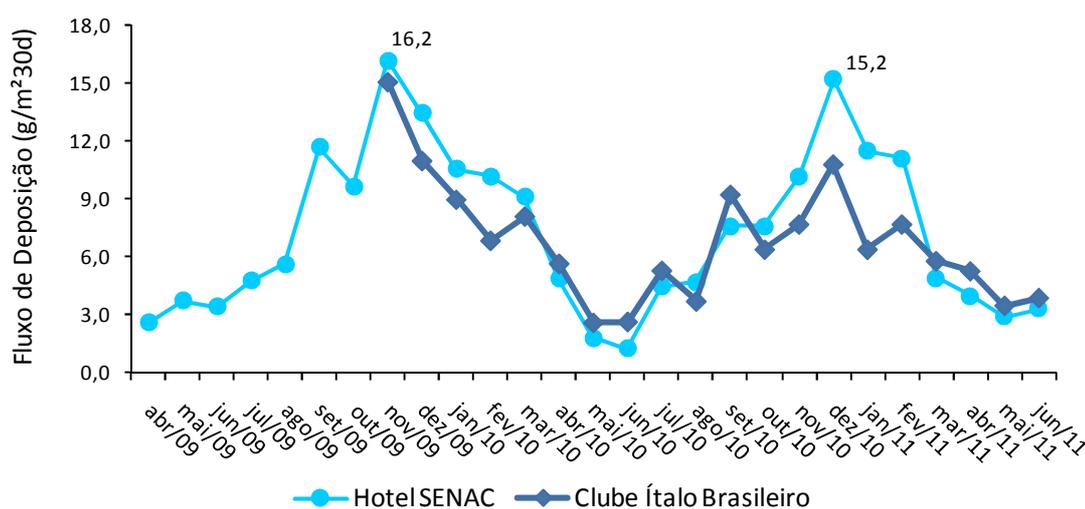


Figura 4-8: Evolução das taxas de deposição de PS nas estações de monitoramento da Ilha do Boi.

Percebe-se, pela análise da Figura 4-8, um típico aumento dos níveis de deposição de PS entre os meses de junho e novembro, ocorrendo uma redução dos níveis a partir de dezembro. Verifica-se que os maiores níveis de concentração de PS na Ilha do Boi coincidem com os meses nos quais a direção do vento é predominantemente nordeste, favorecendo a contribuição das emissões industriais. Os meses com maiores incidências de ventos provenientes do quadrante norte-nordeste (N-NE) são também os meses com maiores fluxos de deposição de Partículas Sedimentadas (conforme discutido anteriormente na Seção 4.1.1).

#### 4.2.2. Modelagem para estimativa do Fluxo de Deposição de PS com frequência semanal e diária

Como citado anteriormente, o estudo de painel visa analisar, dentre outros, se existe correlação entre o incômodo relatado pelos moradores e os fluxos de deposição de PS e fatores meteorológicos, como precipitação, velocidade e direção do vento. Como foram observados os níveis de incômodo com frequência mensal, semanal e diária, foi necessário estimar o fluxo de deposição de PS com frequência semanal e diária, uma vez que a rede existente fornece apenas dados mensais de Partículas Sedimentáveis (vide Seção 4.2.1).

Para atingir este objetivo, será utilizado o modelo matemático para cálculo do fluxo de deposição com base em leituras da concentração de PTS (Partículas Totais em Suspensão) na atmosfera desenvolvido por Rigo (2011), que aplicou seu modelo em cada estação da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da Grande Vitória (RAMQAR) com monitoramento de PTS. A metodologia proposta por Rigo (2011) consistiu em 2 (duas) etapas: (i) desenvolvimento do modelo para determinação do fluxo de deposição úmida e, (ii) desenvolvimento do modelo para determinação do fluxo de deposição seca.

Para cálculo do Fluxo de Deposição Seca, Rigo (2011) utilizou a equação Eq. 4-1 (*apud* CHARPELAIN, 1960):

$$F_{ds} = V_d C \quad \text{Eq. 4-1}$$

onde  $C$  é a concentração de partículas e  $V_d$  é a velocidade de deposição. Considerando a equação acima, o autor identificou a velocidade de deposição experimental para cada estação da RAMQAR, de acordo com a Eq. 4-2:

$$V_d = \frac{F_{d\text{exp}} - F_{du}}{C_c} \quad \text{Eq. 4-2}$$

onde  $F_{d\text{exp}}$  é o Fluxo de Deposição Experimental obtido em cada estação de monitoramento,  $F_{du}$  é o Fluxo de Deposição Úmido e  $C_c$  é a concentração de PTS fornecida por cada estação de monitoramento.

Outra equação utilizada por Rigo (2011) (NOLL e FANG, 1989) apresenta outra formulação para cálculo de  $V_d$  (Eq. 4-3), que sugere uma função de primeiro grau, onde  $U^*$  (velocidade de fricção) é a variável explicativa ou independente, e  $V_d$  é a variável explicada ou

dependente. Nesse caso,  $\varepsilon$ , o coeficiente inercial de partículas efetivas, é o coeficiente angular da reta ou parâmetro desconhecido que se quer encontrar para cada estação, e  $V_{st}$  (Velocidade de Stokes) é o intercepto ou coeficiente linear.

$$V_d = \varepsilon U^* + V_{st} \quad \text{Eq. 4-3}$$

A velocidade de fricção foi calculada por Rigo (2011) segundo a Eq. 4-4, sendo K a constante de Von Karman, V a velocidade do vento monitorada pelas estações meteorológicas, z é a altura do sensor de monitoramento da velocidade do vento e  $z_0$  a altura da rugosidade:

$$U^* = K \left( \frac{V}{\ln(z/z_0)} \right) \quad \text{Eq. 4-4}$$

Assim, aos dados de  $U^*$  e  $V_d$  (calculado através da Eq. 4-2) de cada estação foi aplicado um modelo de regressão linear simples para estimativa dos dados de  $V_d$ .

Este trabalho utilizou, especificamente, a equação linear desenvolvida por Rigo (2011) para estimativa dos dados de  $V_d$  realizada para a estação de Vila Velha Ibes (denominada estação 7). O que motivou tal escolha foi o fato de o Fluxo de Deposição da estação 7 ser bastante similar ao comportamento das estações da Ilha do Boi, como pode ser observado na Figura 4-9.

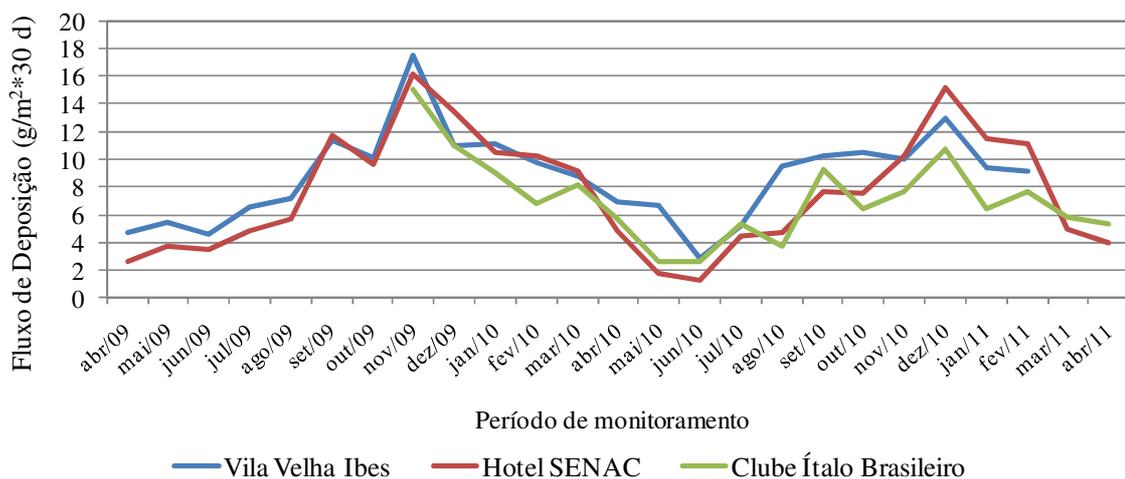


Figura 4-9: Evolução dos Fluxos de Deposição monitorados experimentalmente nas estações da Ilha do Boi – Clube Ítalo e Hotel Senac – e na estação de Vila Velha Ibes.

Porém, foi necessário adaptar a relação para cálculo de  $V_d$  para a estação Vila Velha Ibes uma vez que o objetivo era estimar dados de Fluxo de Deposição para a Ilha do Boi, utilizando-se de dados de PTS da estação de Vila Velha Ibes.

Assim, à Eq. 4-2 foram aplicados dados de  $F_{d\text{exp}}$  para a Ilha do Boi, que consiste na média dos fluxos de deposição encontrados para as duas estações lá existentes, em substituição aos dados de  $F_{d\text{exp}}$  da estação 7. Então, aplicando-se a Eq. 4-2, obteve a velocidade de deposição experimental  $V_{d\text{exp}}$ , que foram utilizados para desenvolver o modelo de regressão linear simples proposto por Rigo (2011) e apresentado na Eq 4-3.

A Figura 4-10 apresenta o modelo de regressão linear encontrado para estimativa dos dados de  $V_{d\text{exp}}$  a partir de dados de  $U^*$ .

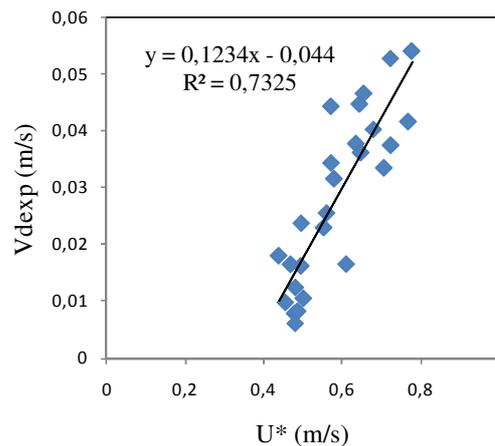


Figura 4-10: Dados de dispersão da velocidade de deposição experimental ( $V_{d\text{exp}}$ ) identificada empiricamente versus os dados de velocidade de fricção ( $U^*$ ) para a estação 7.

Pode-se constatar que o modelo encontrado consegue prever em até 73,25% os dados de Velocidade de deposição experimental, o que permitiu calcular os fluxos de deposição de acordo com a Eq. 4-1. A Figura 4-11 apresenta a regressão realizada entre os dados de Fluxo de Deposição experimental médio da Ilha do Boi versus Fluxo de Deposição estimado pelo modelo adaptado de Rigo (2011).

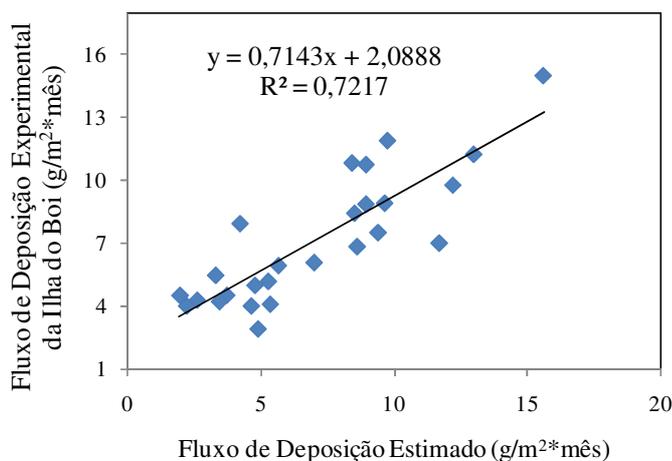


Figura 4-11: Fluxo de Deposição experimental da Ilha do Boi versus Fluxo de Deposição estimado pelo modelo adaptado de Rigo (2011).

Conclui-se que, com a aplicação da metodologia desenvolvida por Rigo (2011), obteve-se um modelo que consegue prever de maneira satisfatória os níveis de deposição mensais.

Os dados de fluxo de deposição estimados serão posteriormente utilizados na análise de influência do fluxo de deposição nos níveis de incômodo semanais e diários relatados pelos moradores participantes da pesquisa.

#### 4.3. PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO DE PS NA ILHA DO BOI

Foi realizado estudo para determinação das principais fontes de emissão de Partículas Sedimentáveis na RGV. As análises químicas das amostras de PS coletadas tanto nas fontes quanto nos receptores foram realizadas pelo laboratório *Elemental Analysis Inc.* nos Estados Unidos para determinação de elementos químicos e de carbono nas formas orgânica e elementar através dos métodos PIXE (*Particle Induced X Ray Emission*) e TOT (*Thermo Optical Transmittance*), respectivamente.

Para determinação dos perfis das fontes consideradas (composição química das partículas emitidas nas fontes) foram utilizados dados de perfis fornecidos pelo IEMA para algumas fontes, sendo que, pra outras fontes, foi necessária atualização do perfil, com coleta de amostra e envio para o mesmo laboratório americano para determinação da composição química.



aplicam técnicas empregadas para extrair o ferro dos minérios e trabalhá-lo com vistas a diferentes aplicações. Esse resultado demonstra que as fontes industriais contribuem de forma significativa com o fluxo de deposição de PS na Ilha do Boi. Outras fontes relevantes na região da Ilha do Boi foram “mar”, “ressuspensão” ou “solos” e “cimenteiras”.

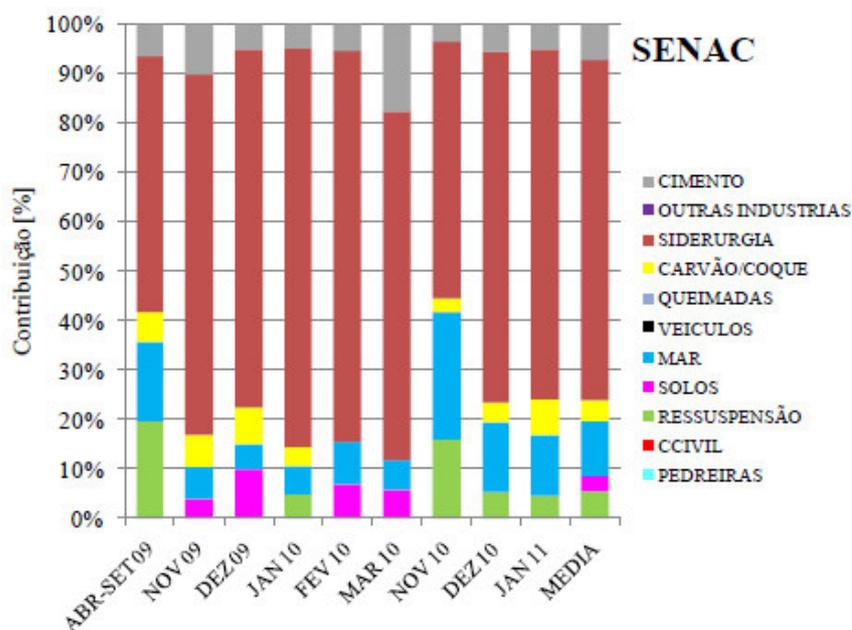


Figura 4-13: Contribuição percentual das fontes de emissão de PS na estação de monitoramento Senac. Fonte: Santos e Reis (2011).

#### 4.4. PESQUISA DE OPINIÃO

A pesquisa de opinião foi concebida para identificar a percepção ambiental à poeira sedimentável da população residente no Bairro Ilha do Boi, localizado em Vitória-ES.

A pesquisa é definida como sendo do tipo Levantamento ou *Survey*, na qual são observadas diversas características dos elementos da população ou amostra, utilizando-se de questionários, sendo a observação feita sem a interferência do entrevistador (Barbetta, 2008).

A percepção ambiental foi verificada por uma pesquisa quantitativa, realizada através da aplicação de um questionário (Apêndice I) composto de 14 questões, sendo 2 (duas) discursivas, 2 (duas) de avaliação dos itens sugeridos por notas de 1 a 10, sendo 10 a nota de maior importância, e as demais objetivas, de forma a facilitar a aplicação do questionário. As variáveis numéricas foram utilizadas no questionário de forma preferencial, pois têm a característica de facilitar o entendimento das questões por parte dos entrevistados (BOLFARINE e BUSSAB, 2000).

Os questionários foram aplicados entre os meses de novembro e dezembro de 2010, tendo sido entrevistados 148 indivíduos moradores da Ilha do Boi.

As questões foram elaboradas com o objetivo de retratar a percepção da população entrevistada, denunciando a intensidade do incômodo, o comprometimento do gozo de suas propriedades, bem como a identificação das principais fontes emissoras de PS na região. Outras informações consideradas importantes foram inseridas, como:

- Local de residência;
- Se o entrevistado possui empregada doméstica ou não;
- Trabalhar fora ou manter-se em casa durante o dia;
- Percepção da variação da concentração ao longo do ano;
- Fatores que causam diminuição/aumento nos níveis de partículas sedimentáveis em suas residências.

As perguntas 12, 13 e 14, mais especificamente, foram elaboradas com o objetivo de comparação com os resultados obtidos pelo estudo realizado por Trindade e Rigo (2006). Tais questões buscam, além de identificar se a população associa a poeira como responsável por algum tipo de dano à sua saúde, conhecer qual a avaliação da população da Ilha do Boi no que diz respeito à qualidade do ar respirado na Grande Vitória, de forma geral. Além disso, a pergunta 13 ainda identifica quais são as principais fontes contribuintes para a concentração de partículas sedimentáveis, na opinião dos moradores entrevistados.

De acordo com dados da Prefeitura de Vitória, a Ilha do Boi possui 1.176 habitantes. Porém, vale ressaltar que a pesquisa de opinião foi aplicada apenas a moradores com idade superior a 16 anos, fazendo-se necessário o cálculo do tamanho da população alvo, para, por fim, calcular o tamanho da amostra de moradores a serem entrevistados.

Para obtenção do percentual de moradores com idade de até 16 anos, foi utilizada a pirâmide etária brasileira para regiões urbanas, desenvolvida pelo IBGE (2010), uma vez que não foram encontrados dados específicos para a região da Ilha do Boi.

De acordo com a pirâmide etária brasileira para regiões urbanas, 24,2% da população brasileira tem idade menor que 14 anos e 33,1% tem idade menor que 19 anos. Considerando que a pesquisa foi direcionada apenas a moradores com idade acima de 16 anos, foram

consideradas as devidas proporções entre os percentuais de brasileiros em cada classe etária, chegando a um percentual de 27,7% da população com idade inferior a 16 anos.

Assim sendo, temos que a população-alvo consiste em:  $72,3\% \cdot 1.176 = 850$  habitantes.

Estabelecida a população, foi utilizada a técnica da amostragem simples causalizada para cálculo da amostra para a qual serão aplicados os questionários. Segundo Ferreira (2005), neste tipo de amostragem, cada unidade tem a mesma chance de ser incluída na amostra e cada unidade é escolhida independentemente da outra. A amostra é capaz de fornecer uma estimativa não tendenciosa das características da população e ainda o erro pode ser estimado satisfatoriamente, desde que um número razoável de unidades seja incluído na amostra.

A Eq. 4-5 a seguir, aplicada à variáveis nominais ou ordinais e população finita, foi utilizada para cálculo do tamanho da amostra (BOLFARINE e BUSSAB, 2000):

$$n = \frac{Nz^2 p' q'}{(N-1)e^2 + z^2 p' q'} \quad \text{Eq. 4-5}$$

Onde N é o tamanho da população; z o n° de unidades de desvio padrão de acordo com a probabilidade e nível de significância escolhidos; e é o erro aceitável; p' o percentual de respostas favoráveis a uma alternativa e q' o percentual de respostas desfavoráveis a uma alternativa.

Sendo que foram adotados nos cálculos:

$z = 1,96$  (para 95% de confiança);

$e = 0,05$ ;

$p' = q' = 0,5$  (maior valor possível).

Após aplicação da equação foi verificado que, para um erro de 5% e Intervalo de Confiança de 95%, a amostra representativa consiste em 265 indivíduos.

Foram entrevistados 148 moradores, o que resultou em um erro amostral de, aproximadamente, 7,3%. Considera-se um erro amostral aquele desvio que aparece devido ao fato de o pesquisador não abordar toda a população (BOLFARINE e BUSSAB, 2000).

Quando o desvio entre os dados amostrais e os dados reais ocorre por fatores independentes do plano amostral, e que poderiam ocorrer mesmo se toda a população fosse abrangida, tem-se os erros não amostrais (BOLFARINE e BUSSAB, 2000), que são, principalmente, os erros

de observação. Tais erros, como a perda de informações, efeito do entrevistador, redação insuficiente de questionário, dentre outros, foram minimizados ao máximo na presente pesquisa, principalmente devido ao fato de todas as entrevistas terem sido realizadas por um único entrevistador.

#### 4.5. PESQUISA DE PAINEL

A pesquisa de painel foi realizada entre os meses de dezembro de 2010 e junho de 2011. O objetivo da realização desta etapa foi avaliar, ao longo do período de aplicação da pesquisa:

- O nível de incômodo dos participantes com frequência mensal, semanal e diária;
- Se existe correlação entre o incômodo relatado e os fluxos de deposição de PS e fatores meteorológicos, como precipitação e velocidade e direção do vento;
- Com até qual frequência (diária, semanal e diária) os participantes conseguem detectar variações nas concentrações de partículas sedimentáveis em suas residências.

A pré-seleção dos moradores aptos a participarem da pesquisa de painel ocorreu levando em consideração o resultado da pesquisa de opinião, uma vez que somente foram selecionados moradores que haviam respondido, na etapa anterior, que sentiam-se incomodadas pela presença de PS em suas residências e que percebiam haver variações na “quantidade” de PS ao longo do ano.

Quando da realização da pesquisa de opinião, a maioria dos entrevistados (79%) relatou que a quantidade de poeira em suas residências não é igual ao longo do ano, e que eles conseguem identificar variações nos níveis de concentração, até mesmo com frequências diárias, capazes de alterar seus níveis de incômodo.

Esse dado reforçou a idéia de elaborar a pesquisa de painel incluindo intervalos curtos de tempo para avaliação das variações nos níveis de incômodo.

Assim, forem “pré-selecionados”, com base na pesquisa de opinião, 95 moradores, tendo sido a eles questionado se desejavam participar do painel. Ao todo, apenas 17 moradores se dispuseram a participar dessa etapa da pesquisa.

Como a pesquisa de painel consiste em acompanhar os níveis de incômodo dos participantes com frequência diária, semanal e também mensal, foi necessária a elaboração de um formulário que facilitasse o registro dos níveis de incômodo por parte dos participantes.

O formulário foi elaborado de forma didática visando facilitar o preenchimento (Anexo II). Os formulários foram entregues pessoalmente a cada participante, sendo que nessa ocasião foi orientado sobre a maneira correta para preenchimento das informações solicitadas. Ressalta-se a importância de orientar os moradores previamente ao preenchimento e de incluir na pesquisa de painel apenas os interessados, pois visa reduzir o erro intrínseco ao processo de obtenção de dados.

A pesquisa de painel não pôde ser planejada de forma que fosse estatisticamente representativa da população da Ilha do Boi devido à falta de mão de obra disponível para esse fim, uma vez que o painel consiste no acompanhamento de uma parcela da população da Ilha durante os meses de janeiro a abril. Dessa forma, o resultado da pesquisa de painel será interpretado como um indicativo de tendência.

Os dados de percepção de incômodo com frequências semanais e diárias foram coletados entre os dias 19 de dezembro de 2010 a 30 de abril de 2011. A coleta de dados de incômodo mensais contemplou os meses de janeiro a junho de 2011.

#### 4.6. ANÁLISE DA RELAÇÃO EXPOSIÇÃO-RESPOSTA

Foram utilizados os programas Excel 2007 e o software livre estatístico R versão 2.13.0 para análise e correlação dos dados. Tais softwares foram utilizados para verificar a possibilidade de prever os dados de Níveis de Incômodo a partir de dados de Fluxo de Deposição e de fatores meteorológicos, através de ajuste de um modelo de regressão linear simples.

A regressão é um modelo estatístico usado para prever o comportamento de uma variável quantitativa dependente ( $Y$ ), neste caso, o Nível de Incômodo, a partir de uma ou mais variáveis explicativas, ou independentes ( $X$ 's), que, neste caso, são o Fluxo de Deposição e os fatores meteorológicos, informando sobre a margem de erro dessas previsões.

Quando existe apenas uma variável independente  $X$ , o modelo designa-se por regressão linear simples (RLS) (PESTANA e GAGEIRO, 2000). Quando existe mais do que uma variável  $X$ ,

o modelo designa-se por regressão linear múltipla (RLM). Os modelos de RLS foram gerados no Excel, já os modelos de RLM foram gerados no software R.

A Eq 4-6 apresenta a equação matemática que expressa a relação entre  $Y$  e  $X$  de forma linear entre os parâmetros  $(\beta_0, \beta_1)$ , o que caracteriza a RLS:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad \text{Eq. 4-6}$$

Onde  $Y$  é variável dependente ou resposta,  $\beta_0$  é a constante de interceptação da reta com o eixo  $x$ ,  $\beta_1$  consiste na inclinação da reta, ou alteração no valor médio de  $Y$ , associado a um aumento unitário de  $X$ ,  $X$  é variável independente ou preditora; e  $\varepsilon$  a variável aleatória residual que descreve os efeitos em  $Y$  não explicados por  $X$ .

O modelo gerado pela regressão linear simples foi utilizado para verificar a influência das seguintes variáveis nos Níveis de Incômodo apresentados pela população, de forma independente, de acordo com a respectiva frequência apresentada pelos dados (mensal, semanal e diária):

- Fluxos de Deposição de PS;
- Velocidade do Vento;
- Direção do Vento;
- Precipitação Pluviométrica.

Para cada análise de regressão realizada foi observada a qualidade dos ajustes, através dos valores de  $R^2$ , ou coeficientes de determinação. O coeficiente de determinação é o quadrado do coeficiente de correlação  $R$  de Pearson. Dessa forma, quanto mais próximo de 1 o coeficiente de determinação  $R^2$  estiver, melhor é a qualidade do ajustamento em termos amostrais. O coeficiente de determinação tende a ser influenciado pela dimensão da amostra e pela dispersão existente nos dados, sendo uma medida otimista da qualidade do ajustamento do modelo de regressão obtido (PESTANA e GAGEIRO, 2000).

A Eq 4-7 apresenta a expressão geral do modelo de regressão linear múltipla (RLM):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad \text{Eq. 4-7}$$

Onde  $Y$  é a variável dependente ou resposta,  $\beta_0$  é a constante, ou interceptação da reta com o eixo  $x$ ;  $\beta_k$  é inclinação da reta, ou alteração no valor médio de  $Y$  associado a um aumento unitário de  $X$ ;  $X_k$  é a variável independente ou preditora; e  $\varepsilon$  a variável aleatória residual que descreve os efeitos em  $Y$  não explicados por  $X$ .

A regressão múltipla foi utilizada para verificar a influência das variáveis meteorológicas precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento, de forma conjunta, nos níveis de incômodo apresentados pelos participantes da pesquisa de painel. Assim como na RLS, na Regressão Linear Múltipla em todos os modelos gerados foi observada a qualidade dos ajustes, através dos valores de  $R^2$ , ou coeficientes de determinação.

Tanto na RLS quanto na RLM, a hipótese que se quer testar é a de eficiência do modelo gerado, ou seja, se o coeficiente  $\beta_k$  gerado é significativo (não nulo). A hipótese nula ( $H_0$ ) afirma, com 95% de confiança, que não há evidências de que o modelo é eficiente, ou seja, o coeficiente da variável independente (nesse caso, as variáveis meteorológicas) não explica a variação da variável dependente (níveis de incômodo). Para realizar essa análise, uma das opções é verificar o valor-p (ou *p-value*). O valor-p representa a probabilidade associada à estatística F, utilizada na regra de decisão em rejeitar ou não a hipótese que está sendo testada. Se o valor-p é menor que o valor de  $\alpha$  (nível de significância) adotado, rejeita-se a hipótese nula ( $H_0$ ), caso contrário, não pode haver a rejeição de  $H_0$ .

Como o  $\alpha$  adotado foi 5%, em cada regressão foi observado o *p-value* de forma que, se o mesmo fosse menor que 5%, a hipótese de que a variável independente não explica a variável dependente era rejeitada, permitindo concluir que as variações nas variáveis explicativas explicam de forma satisfatória as variações na variável dependente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos neste estudo. A Seção 5.1 apresenta os dados da percepção ambiental da população da Ilha do Boi às PS, obtidos através da pesquisa de opinião, com análises comparativas entre os dados obtidos pelo presente trabalho e por trabalhos anteriores. A Seção 5.2 apresenta os resultados da pesquisa de painel, com análises da correlação dos parâmetros que influenciam os níveis de incômodo relatados pelos participantes do painel.

### 5.1. ESTUDO DE OPINIÃO

#### 5.1.1. Percepção do Incômodo pela População da Ilha do Boi

Conforme apresentado na Seção 4.4, durante os meses de novembro e dezembro de 2010 foram aplicados os questionários da pesquisa de opinião a 148 indivíduos moradores da Ilha do Boi. Os moradores foram selecionados de forma aleatória para participar da pesquisa.

A Tabela 5-1 apresenta o perfil dos participantes da pesquisa de opinião de acordo com gênero e faixa etária.

Tabela 5-1: Perfil dos participantes da pesquisa de opinião.

RESPOSTA	TOTAL	SEXO		IDADE						
		MASC	FEM	16 - 20	21 - 24	25 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 E MAIS
BASE	148	64	84	11	3	7	13	25	38	42
TOTAL DA AMOSTRA	100%	43%	57%	8%	2%	5%	9%	18%	27%	30%

O percentual de mulheres entrevistadas foi superior ao percentual de homens, 57% e 43%, respectivamente. A faixa etária com maior participação na pesquisa de opinião foi a de moradores com idade superior a 60 anos (30%), seguida da faixa dos indivíduos com idade entre 50 e 59 anos (27%), 40 e 49 anos (18%) e dos indivíduos com idade entre 30 e 39 anos (9%), como pode ser também observado na Figura 5-1. Os indivíduos com idade entre 16 e 29 anos totalizaram 15% dos entrevistados.

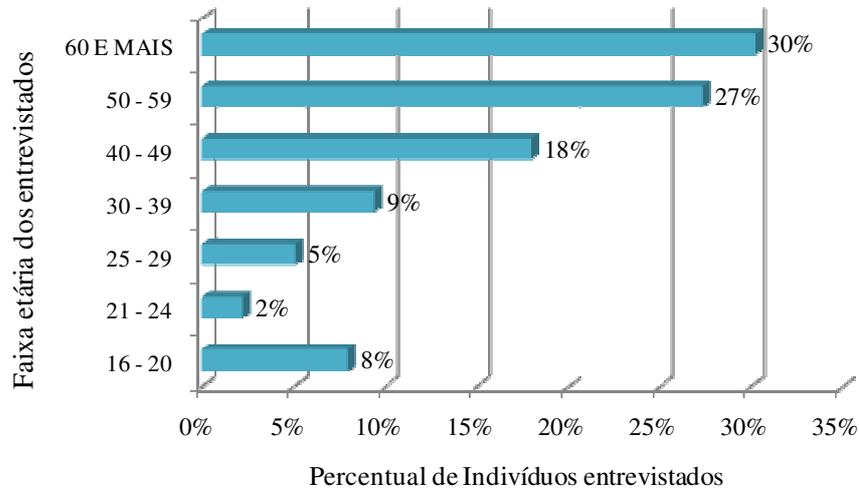


Figura 5-1: Distribuição dos indivíduos entrevistados por faixa etária.

Visando avaliar a insatisfação da população da Ilha do Boi com a presença de poeira em suas residências, foi efetuada a seguinte Pergunta: “8) Você se sente incomodado pela poeira na sua residência?”. De acordo com a Figura 5-2, pode-se constatar um elevado índice de moradores que relatam incômodo pela presença de poeira em suas moradias, 98,6%. Apenas 2 (dois) moradores entrevistados, correspondendo a 1,4% do total, responderam não sentir incômodo devido à presença de poeira, sendo esses entrevistados jovens (entre 21 a 29 anos), do sexo masculino.

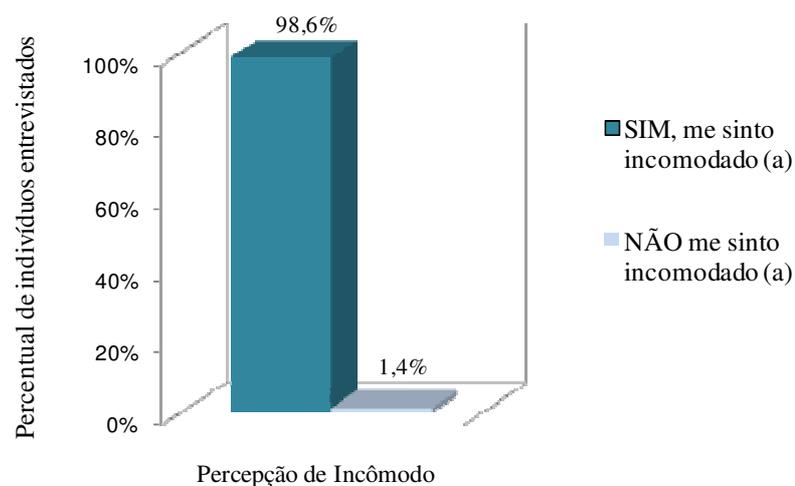


Figura 5-2: Percentual de entrevistados que se sentem ou não incomodados pela presença de poeira em suas residências.

Ainda objetivando avaliar o grau de insatisfação da população, foi efetuada a seguinte pergunta aos entrevistados que, na pergunta anterior, responderam estar incomodados: “9)

Uma vez que você está incomodado, o quão incomodado(a) você se sente em uma escala de 0 a 10, sendo 10 “extremamente incomodado” e 0 “não se sente incomodado?”. Na Figura 5-3 pode-se observar os níveis de percepção de incômodo apresentados pelos moradores da Ilha do Boi.

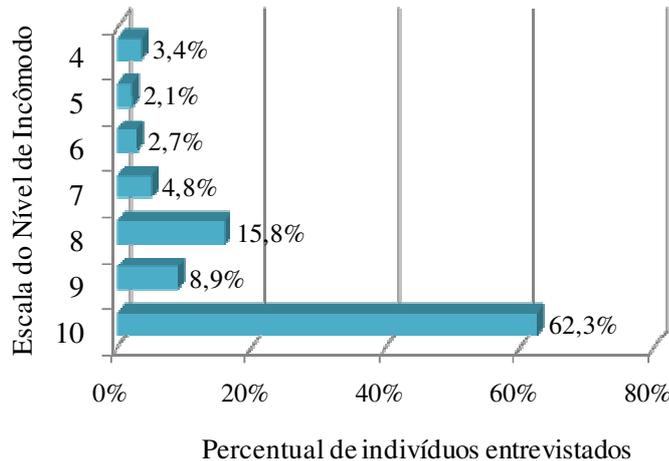


Figura 5-3: Percentual de indivíduos entrevistados em relação ao nível de incômodo, de acordo com a escala estabelecida.

Percebe-se elevado percentual de moradores relatando o nível máximo de incômodo (nota 10), 62,3%. O menor nível de incômodo relatado foi 4, 3,4%, não tendo sido registrados níveis menores. Considerando “extremamente” ou “muito incomodados” os entrevistados que apresentaram notas de 8 a 10, pode-se afirmar que cerca de 87% dos entrevistados relataram níveis elevados de incômodo.

Para uma análise dos níveis de incômodo por gênero foram considerados “Extremamente” ou “Muito Incomodados” os entrevistados que relataram níveis de incômodo variando entre 8 e 10. Pode-se observar na Figura 5-4, que um percentual um pouco mais elevado de entrevistados do sexo feminino, 90,5%, apresentou níveis de incômodo entre 8 (oito) e 10 (dez), considerados extremos, permitindo concluir que a diferença entre os níveis de incômodo apresentados pelos entrevistados do sexo masculino e feminino não é significativa.

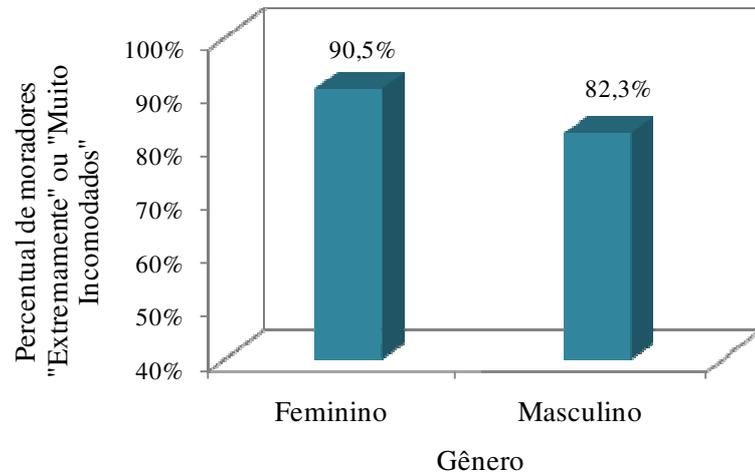


Figura 5-4: Percentual de moradores da Ilha do Boi “Extremamente” ou “Muito Incomodados” de acordo com o gênero.

Realizando-se a mesma análise de acordo com a faixa etária dos entrevistados, obtém-se o resultado apresentado na Figura 5-5. Pode-se observar que, apesar dos entrevistados na faixa etária entre 30 e 39 anos terem apresentado o maior percentual de pessoas “Extremamente Incomodadas”, todas as faixas etárias apresentaram percentual elevado de moradores com níveis elevados de incômodo (acima de 80%), exceto a faixa etária de 21 a 24 anos (33,3%). Dessa forma, constata-se que não há uma correlação nítida entre a idade e os níveis elevados de incômodo relatados.

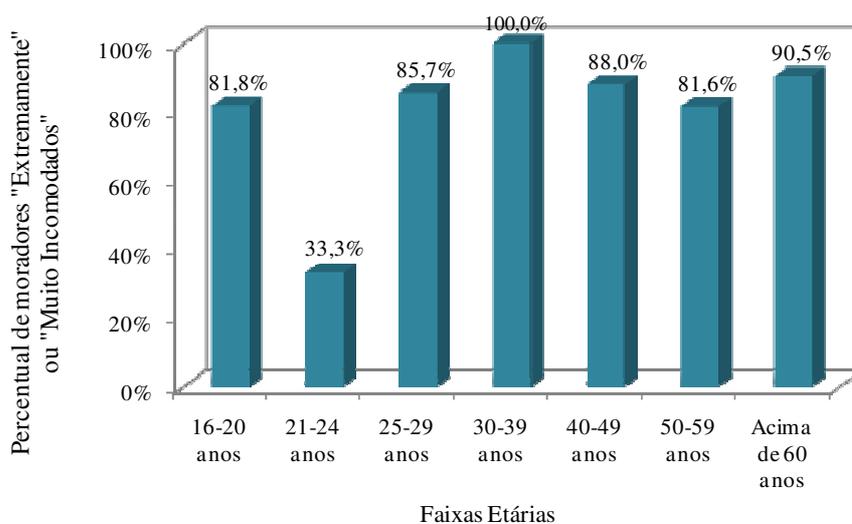


Figura 5-5: Percentual de moradores da Ilha do Boi “Extremamente” ou “Muito Incomodados” por faixa etária.

A pergunta nº 5 do questionário (Apêndice I) objetivou identificar o percentual de moradores que possuem funcionários responsáveis pela limpeza doméstica, de forma a tornar possível uma avaliação da influência desse fator no nível de incômodo apresentado. A maioria dos entrevistados respondeu que possuem auxílio de funcionários para cuidar da limpeza de suas residências, sendo que, dos 87% que responderam “Sim”, quase 70% afirmaram que a empregada doméstica freqüenta sua residência mais de 4 vezes na semana (pergunta nº6).

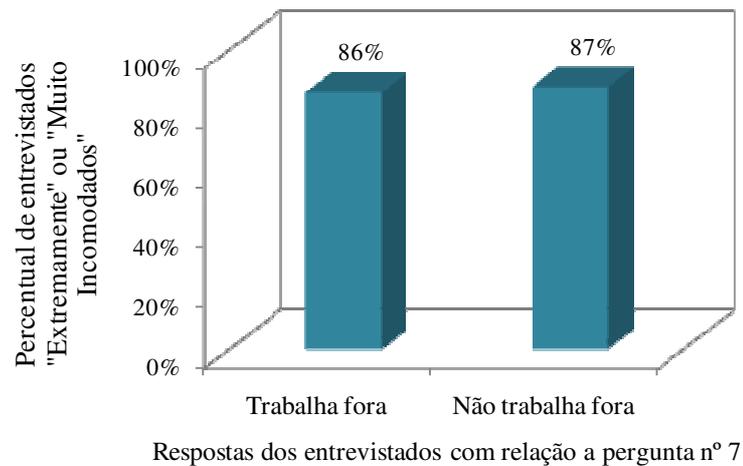
A pergunta nº 7 foi elaborada para identificar o percentual de moradores que trabalha fora, ou seja, fica grande parte do dia fora de suas residências, para tornar possível a avaliação da influência desse fator no nível de incômodo apresentado. Foi constatado que 55% dos entrevistados trabalham fora, ficando ausentes de suas respectivas residências durante o período diurno, e 45% não trabalham fora.

A Figura 5-6 apresenta os relativos percentuais de moradores com altos índices de incômodo (níveis de incômodo entre 8 e 10) dentre as pessoas que trabalham ou não fora de casa (Figura 5-6 (a)), e dentre as pessoas que possuem ou não empregada doméstica (Figura 5-6 (b)).

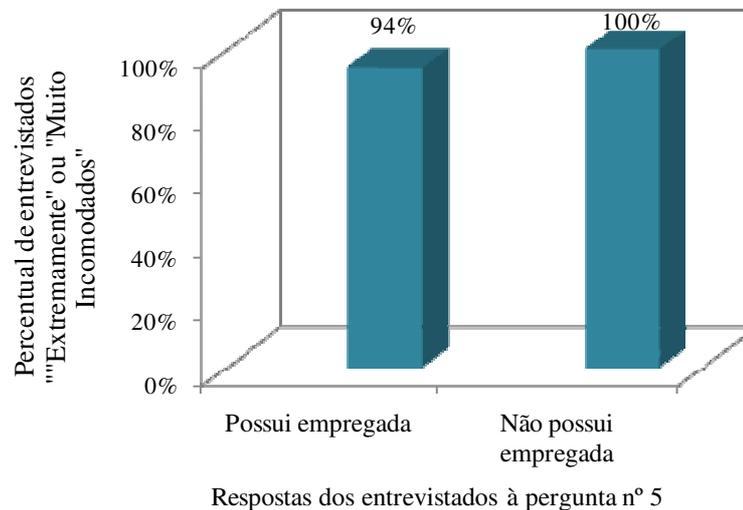
O objetivo do questionamento aos moradores sobre trabalharem ou não fora, foi estimar o tempo de permanência em casa durante os dias da semana, ou seja, teoricamente os entrevistados que não trabalham fora têm mais contato com a poeira, o que possivelmente influenciaria o nível de incômodo. Porém, foi observado que tanto as pessoas que trabalham fora quanto as que não trabalham fora relataram elevados níveis de incômodo (em torno de 86,5%), conforme ilustrado na Figura 5-6 (b). Com esse resultado, constata-se que o fator “tempo que o morador passa em casa” não influencia significativamente o nível de incômodo percebido.

Da mesma forma, constata-se, pela observação da Figura 5-6 (b), que tanto as pessoas que possuem funcionário que auxilia na limpeza da residência quanto as que não possuem relatam níveis elevados de incômodo, haja vista que 94% das pessoas que possuem empregado (a) doméstico (a) relataram níveis de incômodo entre 8 e 10, e todas as pessoas (100%) que não possuem funcionário de auxílio na limpeza da residência relataram estar “Extremamente” ou “Muito Incomodados” com a presença de poeira.

Com o exposto, pode-se concluir que trabalhar fora ou ter empregado(a) para realizar limpeza doméstica não influencia o nível de incômodo.



(a)



(b)

Figura 5-6: Percentual de moradores da Ilha do Boi “Extremamente” ou “Muito Incomodados”, a) Dentre os moradores que trabalham fora ou não; b) Dentre as pessoas que responderam possuir ou não empregada que ajude no serviço doméstico.

A Tabela 5-2 apresenta o percentual de moradores da Ilha do Boi que possuem empregada doméstica e trabalham fora e, mesmo assim, apresentaram-se “Extremamente” ou “Muito Incomodados”. Nota-se que, dos 68 entrevistados que informaram possuir empregado doméstico (a) e trabalhar fora, 84% relataram níveis extremos de incômodo.

Tabela 5-2: Percentual de moradores da Ilha do Boi que possuem empregada doméstica e trabalham fora e se sentem incomodados.

RESPOSTA	Possui empregada doméstica e trabalha fora	% moradores Extremamente ou Muito Incomodados "10-8"
BASE	68	57
TOTAL DA AMOSTRA	100%	84%

Como um dos objetivos da pesquisa é identificar se a população da Ilha do Boi consegue perceber variações nas concentrações de poeira em suas residências, foi efetuada a seguinte pergunta: “10) Para você, a presença de poeira na sua residência é a mesma ao longo do ano?”. Os entrevistados tinham como possíveis respostas “Sim” ou “Não”. A Tabela 5-3 apresenta o resultado obtido com a aplicação da Pergunta 10.

Tabela 5-3: Resultado obtido com a aplicação da Pergunta 10.

RESPOSTA	TOTAL	Pergunta 10) Para você, a presença de poeira na sua residência é a mesma ao longo do ano?	
		SIM, é a mesma	NÃO, há variações
BASE	148	31	117
TOTAL DA AMOSTRA	100%	21%	79%

Percebe-se que, dos 148 moradores entrevistados, 117 relataram que a quantidade de poeira depositada em suas residências não é a mesma ao longo do ano, revelando que 79% dos moradores da Ilha do Boi conseguem perceber variações nas concentrações de poeira.

O elevado percentual de moradores que percebem variações nos níveis de poeira em suas residências ao longo do ano pode ser explicado pelo comportamento sazonal do fluxo de deposição das estações de monitoramento da Ilha do Boi, apresentado na Figura 4-8. O monitoramento do fluxo de deposição nas estações da Ilha do Boi revela que alguns períodos do ano apresentam concentrações de PS significativamente mais elevadas que a média anual.

Visando identificar quais fatores, de acordo com a percepção dos moradores, influenciam as variações nos fluxos de deposição de poeira, foi efetuada a pergunta nº 11: “Se NÃO (Se você acha que a quantidade de poeira não é a mesma ao longo do ano), em quais meses do ano a presença de poeira é maior?”. Dessa forma, os 117 entrevistados que responderam que a

quantidade de poeira em suas residências não é a mesma puderam relatar o que causa essas variações. Os resultados da aplicação da pergunta 11 são apresentados na Tabela 5-4.

Tabela 5-4: Resultados obtidos com a aplicação da pergunta nº 11.

<b>Pergunta 11) Se NÃO, em quais meses do ano a presença de poeira é maior?</b>		
Identifica alguns meses	9	7,7%
Outros fatores	97	82,9%
Não sabe identificar o que causa a variação	11	9,4%
TOTAL	117	100%

Constata-se que 9,4% dos entrevistados percebem que o fluxo de deposição de poeira em suas residências varia, mas não sabem identificar o que provoca tais variações. Percebe-se, ainda, que uma pequena porcentagem dos moradores identifica alguns meses como sendo mais críticos que outros (7,7%), porém, constata-se que a grande maioria, quase 83%, entende que “outros fatores” são responsáveis pelo aumento e diminuição da quantidade de poeira, sendo esses “outros fatores” apresentados na Figura 5-7.

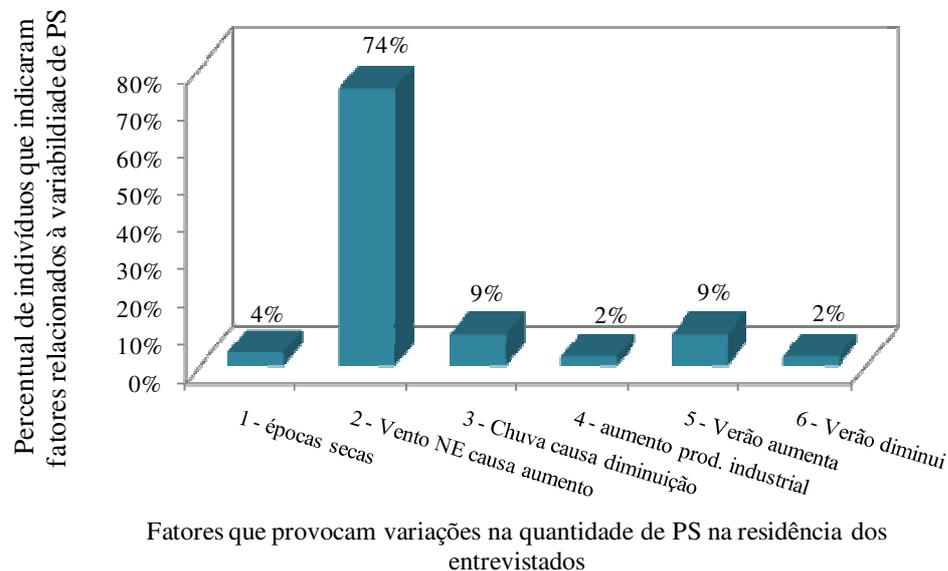


Figura 5-7: Potencial de cada fator relatado pelos entrevistados de provocar variações nas concentrações de PS em suas residências.

Ao analisar as respostas da pergunta 11, constata-se que, dos 97 entrevistados que associaram as variações de poeira à “Outros fatores”, 74% relatam que os ventos na direção nordeste são os responsáveis pelo aumento das concentrações de poeira em suas residências. Vale ressaltar que, como citado anteriormente, os ventos provenientes da direção Norte-Nordeste (N-NE)

direcionam as emissões do Complexo Industrial na direção da Ilha do Boi, conforme explicado na Seção 4.1.1. Assim, esse elevado percentual de moradores relatando a influência do vento Nordeste (NE) na deposição de poeira demonstra o elevado nível de informação por parte dessa população.

Pode-se constatar, por outro lado, o caráter subjetivo das respostas ao verificar que 9% dos entrevistados relataram que em épocas de verão os fluxos de deposição de PS aumentam, enquanto 2% afirmam que nessas épocas (verão) os fluxos de deposição tendem a diminuir.

### *5.1.2. Análises comparativas entre pesquisas de opinião*

Trindade e Rigo (2006) desenvolveram, no ano de 2006, estudo no qual foi avaliada a percepção quantitativa dos moradores da Grande Vitória, representada pelos municípios de Serra, Vila Velha e Vitória, no que diz respeito à extensão do incômodo, sua opinião sobre a qualidade do ar, a identificação das fontes de PS, bem como a associação do problema com a saúde. Tais tópicos foram também abordados pela presente pesquisa, que investigou a população em um bairro da RGV, o que permite que seja feita uma comparação entre os resultados dos estudos.

A pesquisa de Trindade e Rigo (2006) avaliou, dentre outros, se a população da Grande Vitória se sentia incomodada pela presença de poeira em suas residências, revelando um elevado índice de pessoas incomodadas, 83%, sendo que 17% não se sentem incomodadas. Na pesquisa realizada na Ilha do Boi a população se mostra ainda mais incomodada, uma vez que 98,6% dos moradores relataram perceber a presença de poeira, enquanto apenas 1,4% afirmam não se incomodar. Os resultados estão apresentados na (Figura 5-8).

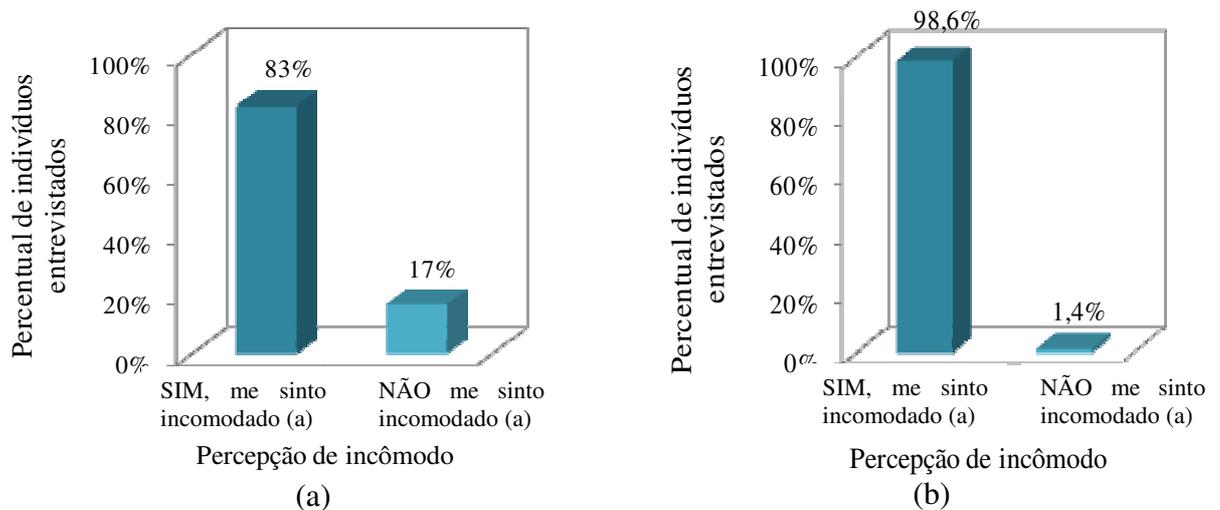


Figura 5-8: Percepção do incômodo. Sendo: (a) Percepção do incômodo apresentada pelos moradores da Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). b) Percepção do incômodo apresentada pelos moradores da Ilha do Boi.

O fato da população da Ilha do Boi relatar um nível de incômodo mais elevado que o nível médio da população da RGV retrata a peculiaridade dessa região, fato que motivou o estudo.

Porém, quando analisa-se o fluxo de deposição da Ilha do Boi comparativamente ao fluxo de deposição da RGV, observa-se que, na média, o fluxo de deposição de poeira observada nas estações da Rede de Monitoramento de Partículas Sedimentadas (RMPS) da RGV localizadas na Ilha do Boi não é mais elevada que o fluxo de deposição nas demais estações, como pode-se observar na Figura 5-9 (os valores do fluxo de deposição apresentada na Ilha do Boi é uma média dos valores observados nas estações Clube Ítalo e Hotel Senac).

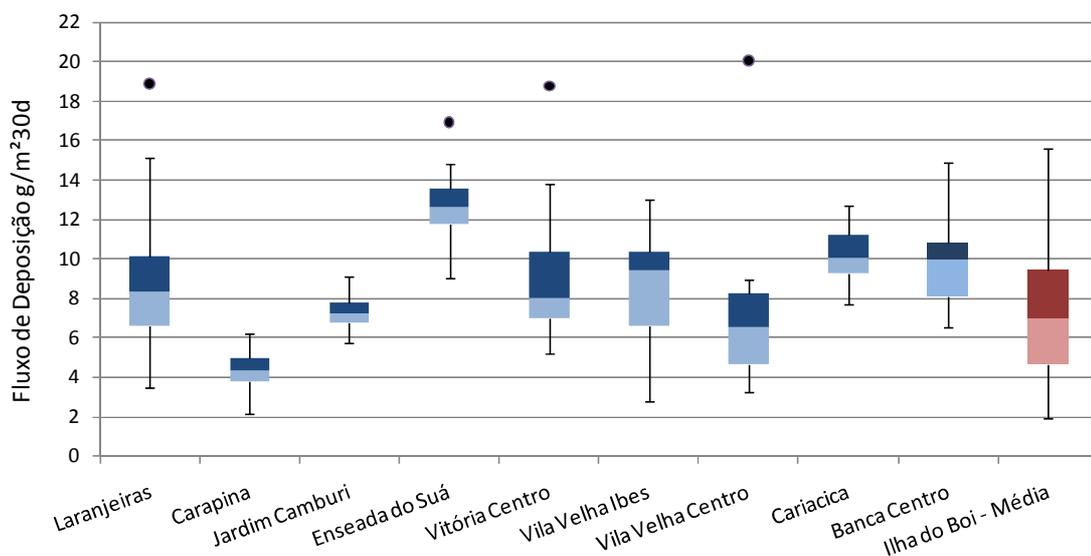


Figura 5-9: Fluxo de deposição de PS nas estações de monitoramento da RMPS da RGV.

O fluxo de deposição médio na Ilha do Boi é de  $7,2 \text{ g/m}^2\text{30dias}$ , em Vila Velha Centro é igual a  $6,8 \text{ g/m}^2\text{30dias}$  e em Carapina a média de todo o período de monitoramento foi de  $4,3 \text{ g/m}^2\text{30dias}$ . Todas as demais estações apresentam valores de fluxo de deposição médio mais elevados, variando de  $12,6 \text{ g/m}^2\text{30dias}$  na estação Enseada do Suá a  $7,3 \text{ g/m}^2\text{30dias}$  na estação Jardim Camburi.

Apesar do fluxo de deposição médio da Ilha do Boi não estar entre os mais elevados, observe-se, pela análise do gráfico de dispersão Box-plot (Figura 5-9), uma significativa amplitude entre os dados, com valores bastante abaixo da média, e também com picos de deposição. Assim, pode-se ressaltar que, provavelmente, os elevados níveis de incômodo apresentados pelos moradores da Ilha do Boi são ocasionados pelos picos de deposição, e não devido à deposição média.

Os picos de deposição também podem ser responsáveis pelo fato de 79% dos moradores relatarem variações nos fluxos de deposição de PS em suas residências ao longo do ano, observado pela aplicação da pergunta 10 do questionário (Tabela 5-3).

Outra avaliação realizada por ambas as pesquisas foi a intensidade do incômodo apresentada tanto pela população da Grande Vitória quanto pelos moradores da Ilha do Boi. Os resultados obtidos pela pesquisa de Trindade e Rigo (2006) revelaram que a poeira incomoda muito 47% dos moradores da Grande Vitória; 28% se sentem extremamente incomodadas; 23% se sentem pouco incomodadas; e 1% não revelou incômodo. Na presente pesquisa, a intensidade do incômodo foi obtida por nota, que variava de 0 (zero), “Não se sentem incomodado”, a 10 (dez), “Extremamente incomodado”.

Porém, para que os resultados fossem comparados com os resultados do estudo realizado na Grande Vitória, foi necessário transformar as notas (variáveis quantitativas) em variáveis qualitativas, sendo elas “Pouco Incomodado”, “Muito Incomodado” e “Extremamente Incomodado”, assim como no estudo de Trindade e Rigo (2006). A Figura 5-10 apresenta os resultados obtidos por ambas as pesquisas.

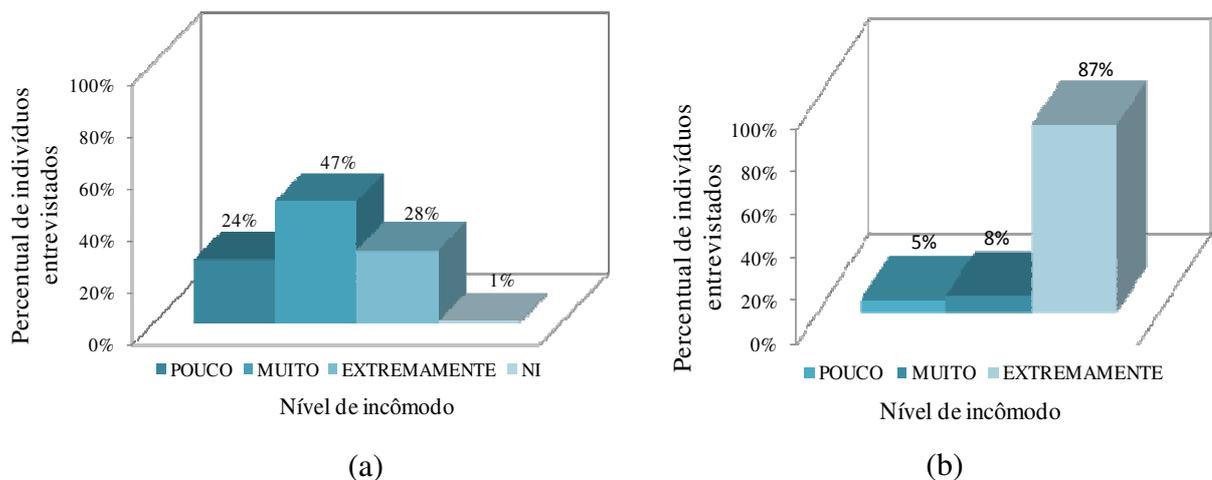


Figura 5-10: Avaliação da intensidade do Incômodo. a) Intensidade do incômodo apresentada pelos moradores da Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). b) Intensidade do incômodo apresentada pelos moradores da Ilha do Boi.

Pode-se notar na Figura 5-10 que a população da Ilha do Boi reportou maior incômodo que a população da Grande Vitória, haja vista que, na Ilha do Boi, 87% dos entrevistados relataram estar “Extremamente Incomodados”, 8% Muito Incomodados e 5% Pouco Incomodados, enquanto na Grande Vitória 28% dos entrevistados relatou estar “Extremamente Incomodado”, 47% Muito Incomodada e 24% relatou estar Pouco incomodada. Assim, o estudo de Trindade e Rigo (2006) revelou que o maior percentual de entrevistados relatou sentir-se entre Pouco e Muito incomodados (71%) na RGV, enquanto o presente estudo, na Ilha do Boi, revelou níveis extremos de incômodo (87%) causados pela presença de poeira em suas residências.

Em ambos os estudos foi avaliada a relação da presença de poeira à danos à saúde de acordo com a população na RGV e na Ilha do Boi. Da amostra da população da Grande Vitória analisada pelo estudo de Trindade e Rigo (2006), 97,7% dos entrevistados indicam que a poeira causa problema à saúde, mas não pelo incômodo social, e sim pela associação das macropartículas à inalação e a conseqüente geração de enfermidades. No presente estudo, o resultado foi similar, pois 96% dos moradores da Ilha do Boi afirmaram que a poeira pode causar danos à saúde. A Figura 5-11 apresenta os resultados de ambas as pesquisas.

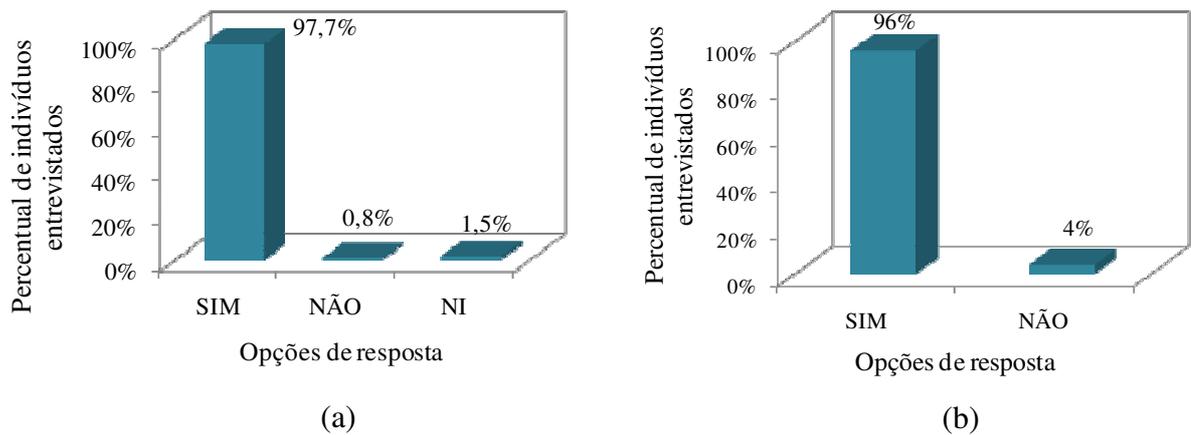
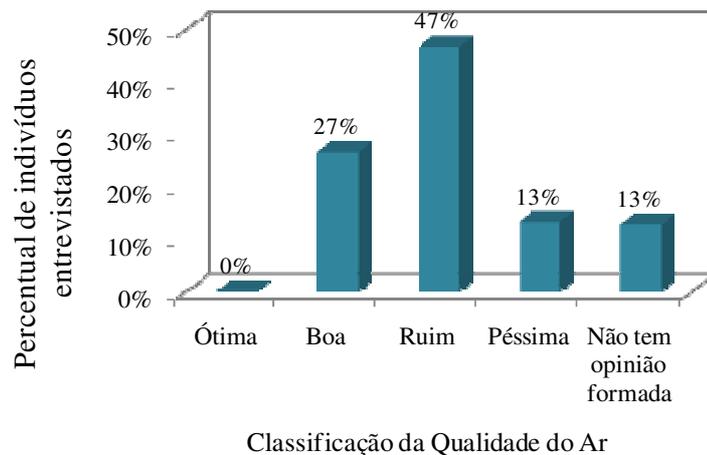


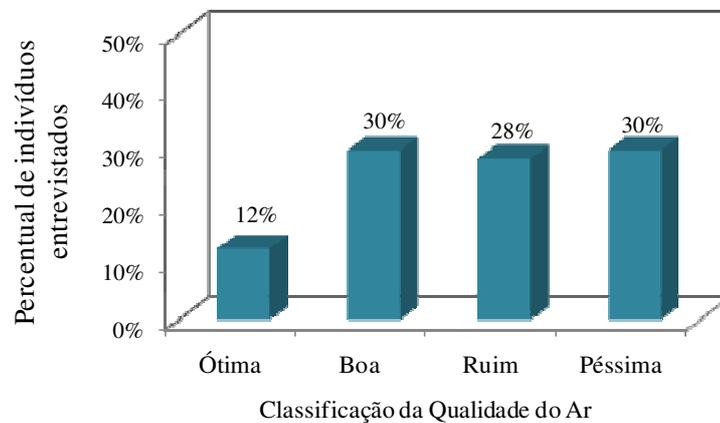
Figura 5-11: Opinião dos moradores com relação à seguinte pergunta: “Você acha que a poeira pode causar danos à saúde?”. Sendo (a) Resultado apresentado pelos moradores da Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006) e (b) Resultado apresentado pelos moradores da Ilha do Boi.

Na avaliação da qualidade do ar, a pesquisa realizada na Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006) retrata que 13% das pessoas classificam a qualidade do ar da Grande Vitória como péssima; 47% como ruim; 27% como boa, e 13% não possuem opinião formada. Percebe-se que a maioria da população entrevistada considera a qualidade do ar na Região da Grande Vitória como ruim, apesar de todos os poluentes com padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 003/90 serem monitorados pelo IEMA e estarem enquadrados no índice da qualidade do ar como bons ou regulares. Apesar dos padrões de qualidade do ar terem sido estabelecidos na década de 80 e serem considerados desatualizados em relação às diretrizes da OMS (2005), o fato de a população considerar a qualidade do ar ruim se deve, possivelmente, à relação que a população faz da qualidade do ar com a poeira (Figura 5-12 a).

O presente estudo realizou o mesmo questionamento acerca da qualidade do ar aos moradores da Ilha do Boi. Os resultados, apresentados na Figura 5-12 (b), retratam que 12% dos entrevistados avaliaram a qualidade do ar como Ótima, 30% como Boa, 28% como Ruim e 30% como Péssima.



(a)



(b)

Figura 5-12: Avaliação da Qualidade do Ar. (a) Resultado da avaliação da qualidade do ar obtido no estudo realizado na Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). (b) Resultado da avaliação da qualidade do ar obtido no estudo presente estudo, realizado na Ilha do Boi.

Percebe-se que o percentual de moradores da Ilha do Boi que avaliam a qualidade do ar da RGV como “Boa” e “Ótima” é maior que aquele relatado por Trindade e Rigo (2006), que amostraram população representativa da RGV. Tal fato demonstra que, apesar de 87% da população da Ilha do Boi relatar incômodo, cerca de 42% avalia a qualidade do ar como “Boa” e “Ótima”. Pode-se concluir, então, que essa população percebe que o causador de incômodo é a presença de PS em suas residências, mas que esse problema não é uma realidade em toda a RGV.

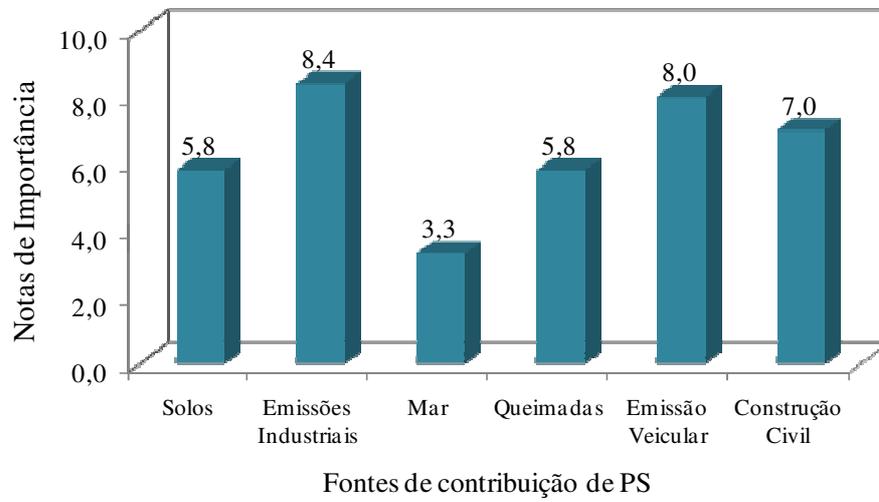
Ambas as pesquisas de opinião também avaliaram a percepção dos moradores com relação às fontes mais significativas de emissão de poeira de maneiras diferentes. No estudo de Trindade e Rigo (2006), os entrevistados classificaram as fontes de PS através de notas de importância,

variando de 1 a 10, conforme solicitado nos questionários. As fontes citadas no questionário foram: “Solos”, “Emissões Industriais”, “Mar”, “Queimadas”, “Emissões Veiculares” e “Construção Civil”. A maioria das fontes recebeu notas superiores a 5, conforme apresentado na Figura 5-13(a). As fontes que receberam as notas mais elevadas, ou seja, que foram consideradas como mais relevantes na emissão de poeira foram “Emissões Industriais” (8,4), “Emissão Veicular” (8), e “Construção Civil” (7). As fontes “Queimadas” e “Solos” foram avaliadas com a mesma nota média, 5,8, e a fonte “Mar”, recebeu a menor nota, 3,3.

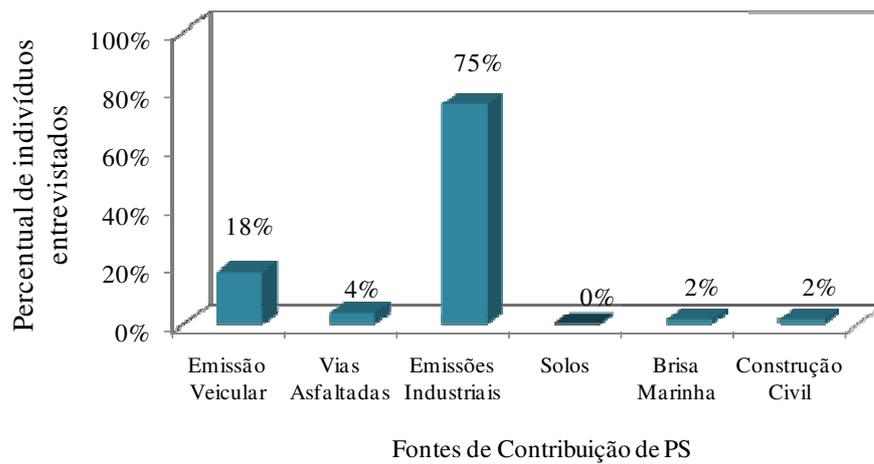
O presente estudo avaliou quais as fontes mais relevantes de acordo com os entrevistados através da aplicação da pergunta 13 do questionário, que consistiu em: “Na sua opinião, quais são as principais fontes de emissão de poeira na GV?”. Foram citadas as seguintes fontes no questionário: “Outros”: “Emissão Veicular”, “Vias Asfaltadas”, “Emissões Industriais”, “Solos” e “Brisa Marinha”, com a oportunidade para o entrevistado citar outras fontes na opção “Outros”.

Conforme apresentado na Figura 5-13 (b), a amostra populacional consultada que as fontes “Emissões Industriais” são as principais emissoras de partículas sedimentáveis na opinião de 75% dos moradores, seguidas das fontes “Emissão Veiculares” (18%), “Vias Asfaltadas” (4%), “Brisa Marinha” (2%) e “Construção Civil” (2%). A contribuição da fonte Solo não foi considerada como relevante pela população da Ilha do Boi.

A percepção da população da Ilha do Boi coincide com o resultado do estudo realizado por Santos e Reis (2011) (apresentado na Seção 4.3), que mostra o conjunto de fontes siderurgia e carvão/coque como predominantes na Ilha do Boi (Hotel Senac), com cerca de 70% de contribuição da massa de PS. O estudo indicou que na estação Hotel Senac, utilizada para representar o bairro Ilha do Boi, dentre os 8,1 g/m<sup>2</sup>/mês de PS, cerca de 5,7 g/m<sup>2</sup>/mês são provenientes do conjunto de fontes siderurgia e carvão/coque.



(a)



(b)

Figura 5-13: Fontes de contribuição de poeira na Região da Grande Vitória de acordo com a opinião dos moradores. Sendo, (a) Resultado do estudo realizado na Grande Vitória (Trindade e Rigo, 2006). (b) Resultado do presente estudo, realizado na Ilha do Boi.

## 5.2. ESTUDO DE PAINEL

### 5.2.1. *Análise da percepção de incômodo com frequência mensal*

A pesquisa de painel foi realizada entre os meses de dezembro de 2010 e junho de 2011. Conforme citado na Seção 4.2.1., a coleta de dados de incômodo mensais contemplou os meses de janeiro a junho de 2011, totalizando 6 (seis) dados mensais por participante.

Nota-se que durante o período de realização da pesquisa de painel houve significativa variação da direção do vento na região. A Figura 5-14 apresenta as rosas dos ventos dos meses nos quais foi realizada a obtenção dos dados de incômodo dos participantes do painel. Observa-se uma predominância dos ventos no quadrante norte-leste (N-E) entre os meses de dezembro de 2010 e fevereiro de 2011. Nos meses seguintes, março e abril de 2011, percebe-se uma alteração do campo de ventos, com ventos na direção sul-oeste (S-W) com maior frequência de ocorrência. A rosa dos ventos do mês de maio/2011 apresenta direções nordeste e sudoeste, com leve predominância da direção nordeste. No último mês de coleta de dados de percepção de incômodo houve predominância dos ventos no quadrante sul-oeste (S-W) novamente. Ainda analisando a Figura 5-14, constata-se que nas direções norte-leste a intensidade do vento apresenta-se mais elevada, com presença relevante de ventos com velocidades na faixa de 3 a 5m/s.

A Figura 5-15 apresenta o fluxo de deposição de PS nas estações da Ilha do Boi e do Clube Ítalo durante o período de desenvolvimento da pesquisa de painel. Nos meses de janeiro e fevereiro houve diferença entre os valores absolutos do fluxo de deposição nas estações, sendo que a estação localizada no Hotel Senac apresentou valores mais elevados. A partir do mês de março de 2011 as estações apresentaram valores bastantes similares. De forma geral, nota-se fluxos de deposição mais elevados no início da pesquisa de painel, e decaimento destes entre os meses de fevereiro e junho.

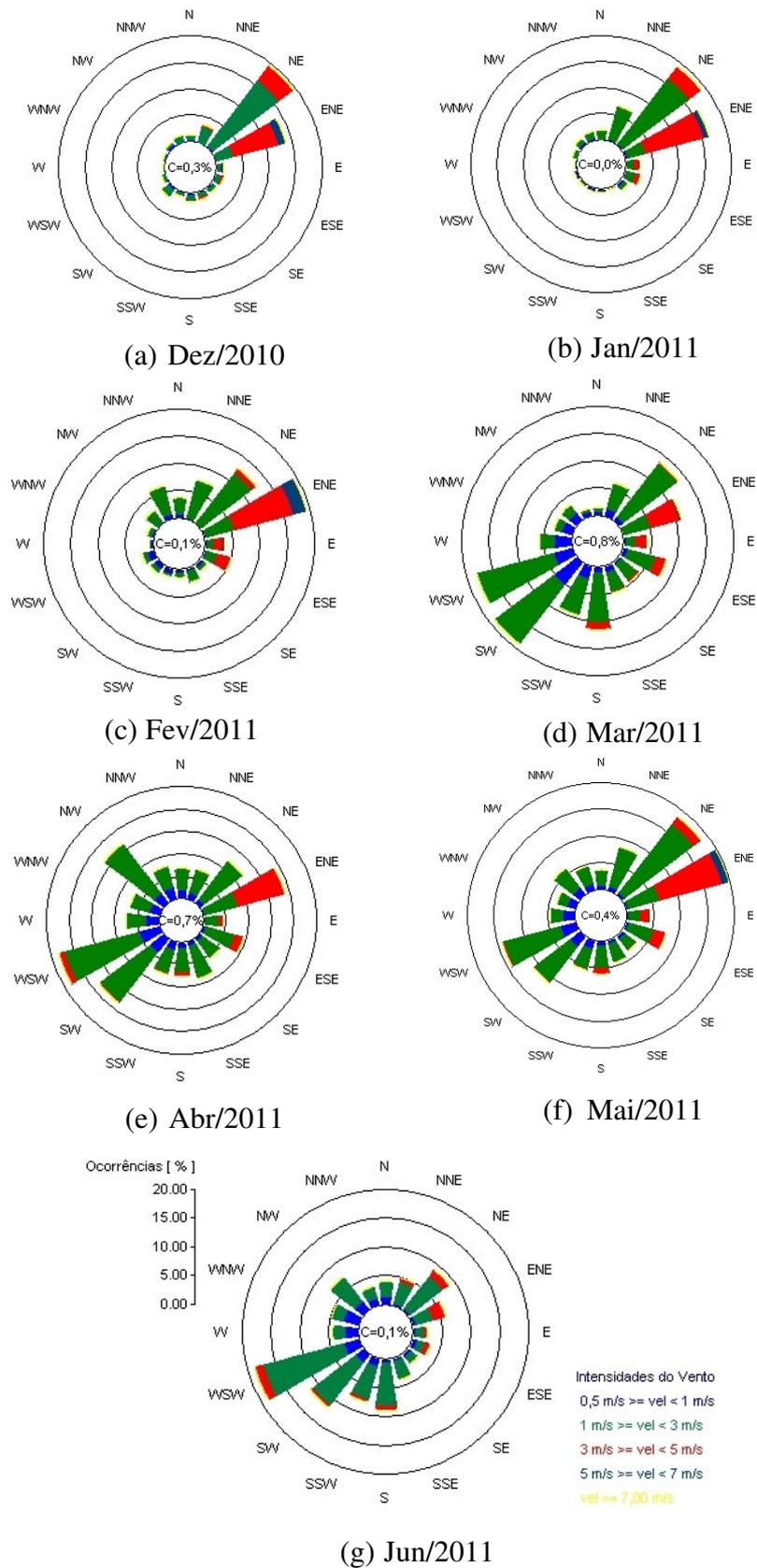


Figura 5-14: Rosas do vento do período de realização da pesquisa de painel. Sendo (a) a rosa dos ventos referente ao mês de Dezembro/2010, (b) Janeiro/2011, (c) Fevereiro/2011, (d) Março/2011, (e) Abril/2011, (f) Maio/2011 e (g) Junho/2011.

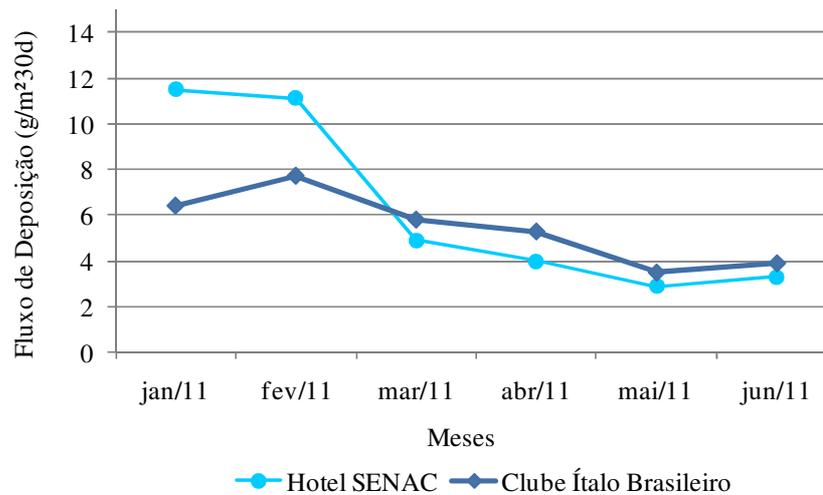


Figura 5-15: Fluxo de deposição de PS nas estações da Ilha do Boi e do Clube Ítalo.

A Figura 5-16 apresenta o fluxo médio de deposição de PS na Ilha do Boi. Pode-se observar, como citado anteriormente, fluxos de deposição mais elevados no início da pesquisa, havendo decaimento da deposição de poeira ao longo dos meses, exceto no mês de junho/11, no qual percebe-se um aumento com relação ao mês anterior. Pode-se constatar, avaliando de forma conjunta as Figura 5-14 e Figura 5-16, que os meses com os maiores fluxos de deposição de PS na Ilha do Boi coincidem com os meses nos quais a direção N-NE do vento foi predominante, direção essa que favorece a contribuição das fontes industriais na massa de PS da Ilha do Boi.

A Figura 5-17 apresenta as variações nos níveis de incômodo com frequência mensal. Nota-se, pela análise da Figura 5-17, que nos primeiros meses da pesquisa de painel foram detectados os maiores índices de insatisfação por parte dos moradores participantes do painel, sendo que, em janeiro e fevereiro de 2011, os níveis de incômodo apresentados foram, respectivamente, 7,6 e 7,1. De março a junho de 2011 os níveis de incômodo variaram de 4,2 em junho a 4,8 em março, apresentando amplitude/variabilidade restrita, ou seja, os níveis de incômodo entre esses meses não variaram de forma significativa.

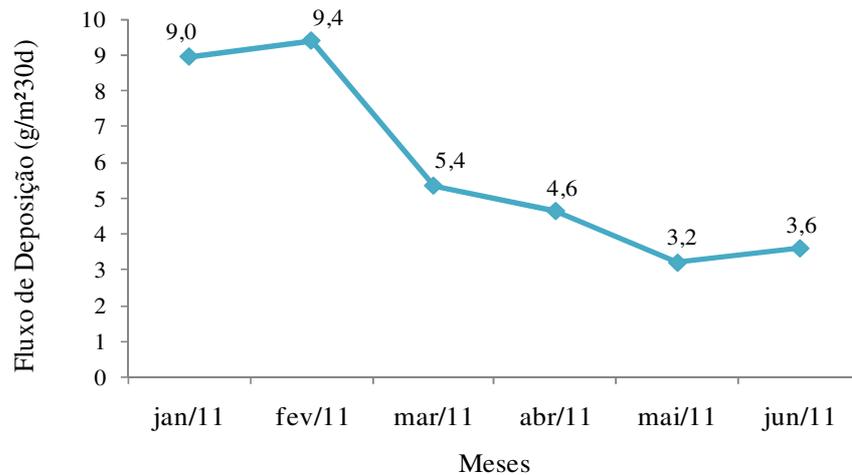


Figura 5-16: Fluxo médio de deposição de PS na Ilha do Boi.

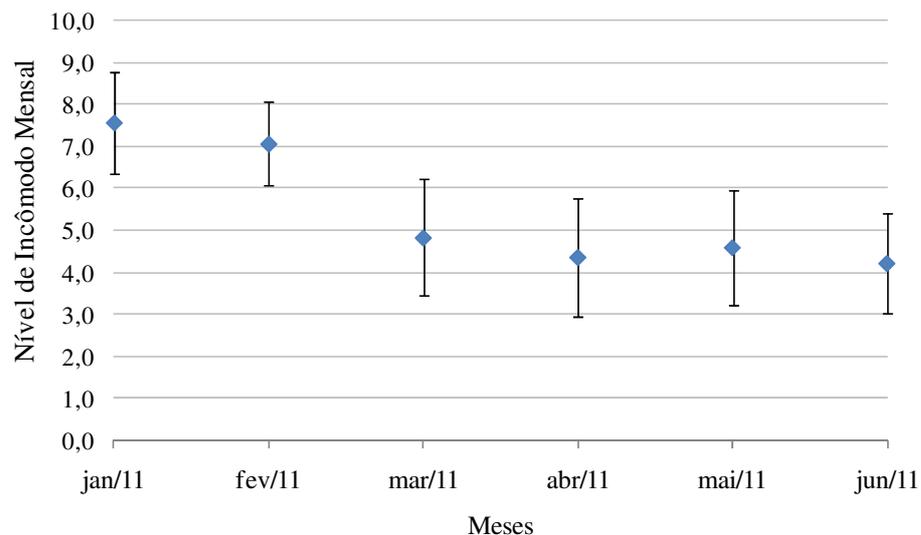


Figura 5-17: Percepção do incômodo causado por PS com frequência mensal, com barras de incertezas associadas.

### 5.2.2. Análise da percepção de incômodo com frequência semanal e diária

Como citado na Seção 4.5, os dados de percepção de incômodo com frequências diárias e semanais foram coletados entre os dias 19 de dezembro de 2010 a 30 de abril de 2011, totalizando 133 (cento e trinta e três) dados diários e 19 (dezenove) dados semanais, por participante.

A análise da correlação entre os níveis de incômodo e os fluxos de deposição de PS medidos de forma direta somente podem ser efetuadas para os dados mensais, pois as estações de

monitoramento da Ilha do Boi fornecem dados experimentais de fluxo de deposição a cada mês. Assim, fez-se necessário estimar os fluxos de deposição com frequências semanal e diária para realização da análise de correlação. As estimativas foram realizadas conforme modelo proposto por Rigo (2011), contemplado na Seção 4.2.2.

A Figura 5-18 apresenta os dados de fluxo de deposição estimados com frequência semanal. Durante o desenvolvimento da pesquisa de painel, entre os meses de jan/11 a junho/11, o fluxo de deposição mensal experimental apresentou uma tendência de decaimento, como foi apresentado na Figura 5-16. Pode-se observar, de forma geral, que os dados estimados de fluxo de deposição semanal seguem essa mesma tendência geral de decaimento.

A Figura 5-19 apresenta os níveis de incômodo relatados pelos participantes da pesquisa com frequência semanal. Nota-se que ocorre tendência significativa de decaimento dos níveis de incômodo relatados pelos participantes ao longo das semanas, assim como ocorre com os dados mensais. Vale ressaltar que os dados mensais e semanais são coletados de forma independente.

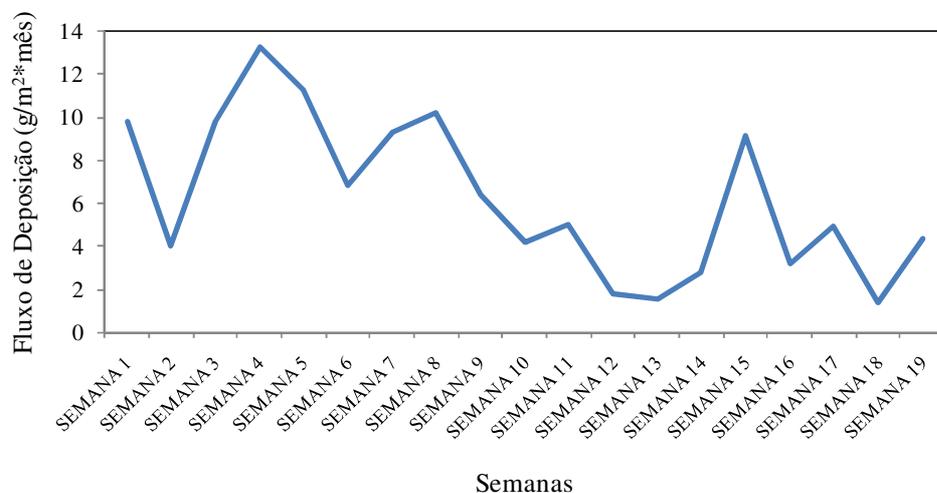


Figura 5-18: Dados Semanais de Fluxo de Deposição estimados pelo modelo de Rigo (2011).

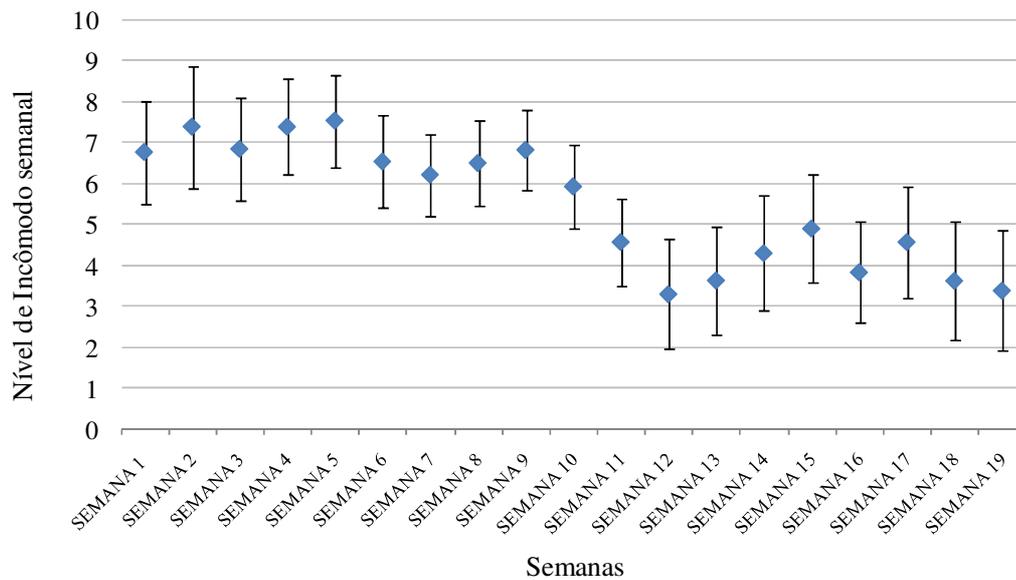


Figura 5-19: Percepção do incômodo causado por PS com frequência semanal, com barras de incertezas associadas.

A Figura 5-20 apresenta os dados de fluxo de deposição estimados com frequência diária. Observa-se que, os dados estimados de fluxo de deposição com frequência diária seguem uma tendência geral de decaimento ao longo dos meses de aplicação da pesquisa de painel, como ocorre com os dados experimentais mensais e os dados estimados semanais.

A Figura 5-21 apresenta os relatos diários de incômodo dos participantes do painel. De forma geral, nota-se que existe uma tendência de decaimento dos níveis de incômodo diários relatados pelos moradores participantes da pesquisa de painel ao longo dos dias. O decaimento ocorre mais nitidamente a partir do final do mês de fevereiro/março de 2011.

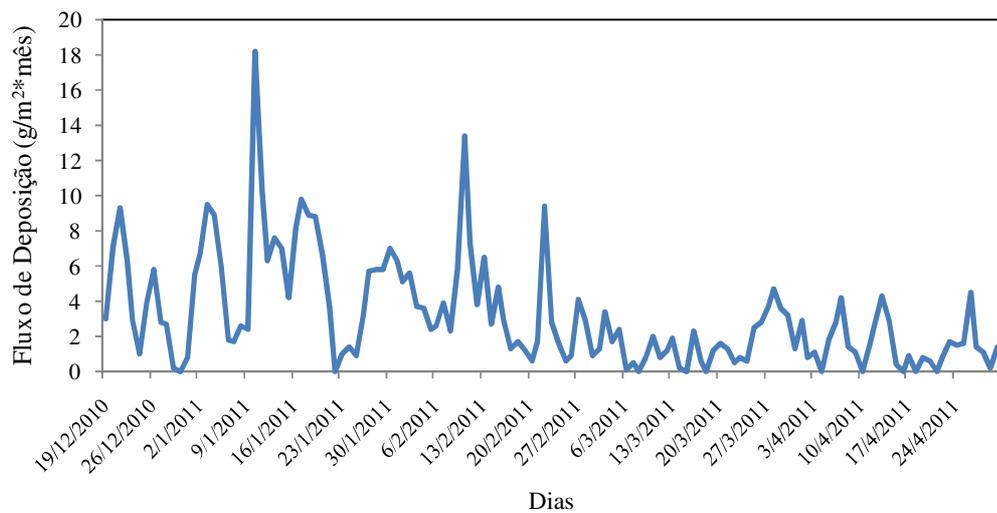


Figura 5-20: Dados Diários de Fluxo de Deposição estimados pelo modelo de Rigo (2011).

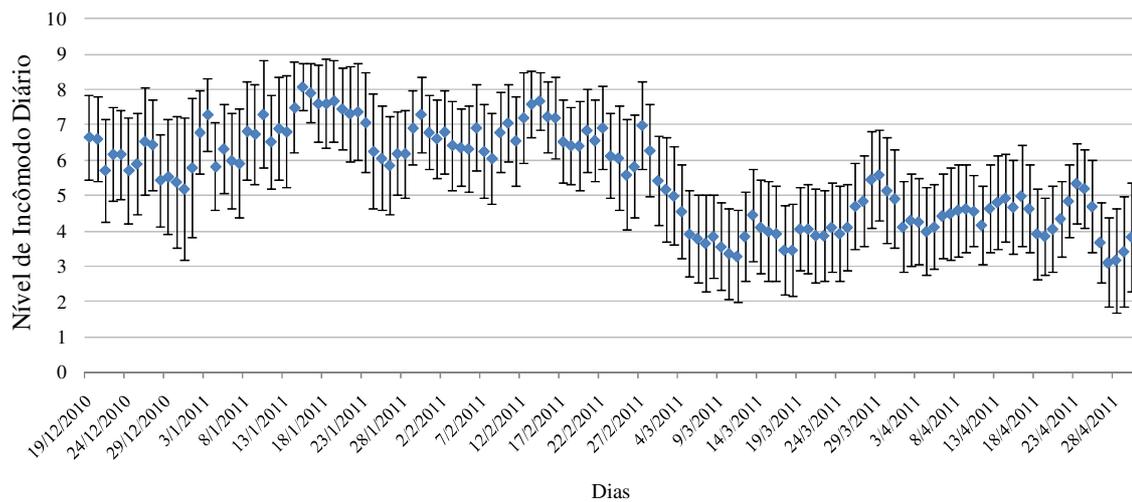


Figura 5-21: Percepção do incômodo causado por PS com frequência diária, com barras de incertezas associadas.

A Figura 5-22 apresenta a variação dos níveis de incômodo relatados por dia da semana. O maior e o menor nível médio de incômodo foram encontrados, respectivamente, no domingo (6,0), e na sexta-feira (5,3), porém, não observa-se correlação entre os níveis de incômodo e os dias da semana. Consta-se que não houve variação estatisticamente significativa entre os dias da semana, ou seja, os dias da semana não influenciam os níveis de incômodo relatados.

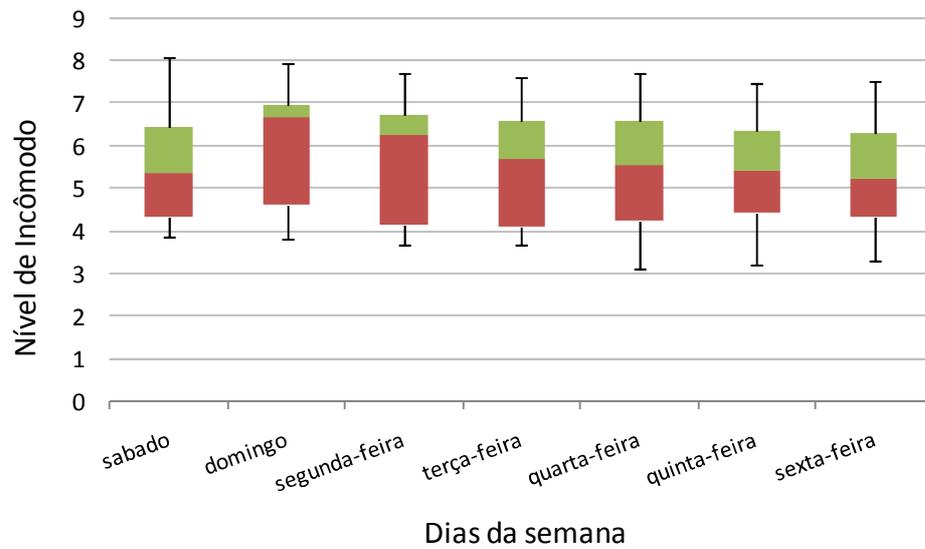


Figura 5-22: Box-Plot da variação dos níveis de incômodo relatados por dia da semana.

### 5.2.3. Análise da Relação Exposição-Resposta mensal, semanal e diária

As análises a seguir objetivam verificar a correlação entre os níveis de incômodo relatados pelos participantes do painel e o fluxo de deposição experimental médio de PS monitorado pelas estações da Ilha do Boi, assim como os fluxos estimados através da aplicação do modelo proposto por Rigo (2011).

A Figura 5-23 apresenta a relação entre o nível mensal médio de incômodo relatado pelos moradores ao longo da pesquisa e o fluxo médio de deposição de PS obtido através da medição direta nas estações da Ilha do Boi.

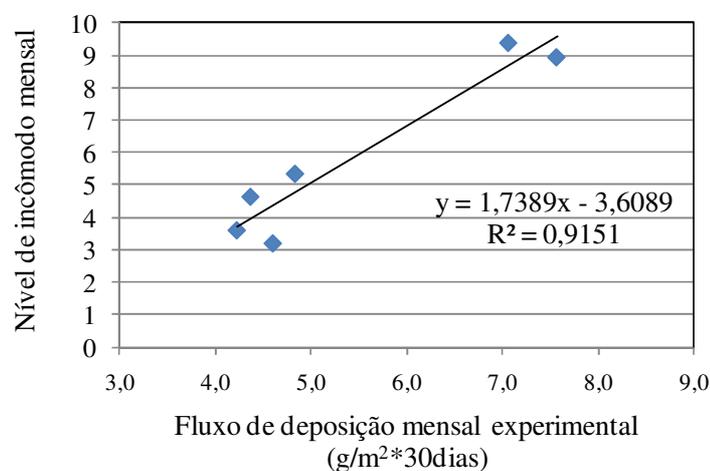


Figura 5-23: Nível de Incômodo mensal versus Fluxo de Deposição mensal experimental.

Nota-se uma relação positiva entre a variável “Nível de Incômodo Mensal” e “Fluxo de Deposição Mensal”, sendo que cada aumento de uma unidade na variável “Fluxo de Deposição Mensal” acarreta uma variação de 1,7389 unidade na variável “Nível de Incômodo Mensal”.

Da análise da Figura 5-23 pode-se concluir que 91,5% das variações dos níveis mensais de incômodo são explicadas pelas variações dos fluxos de deposição de poeira, validando o resultado obtido através da pergunta 10 (“Para você, a presença de poeira na sua residência é a mesma ao longo do ano?”), aplicada na pesquisa de opinião. A aplicação Pergunta 10 (Apêndice I) retornou como resultado que 75% dos entrevistados percebem as variações nos fluxos de deposição de poeira em suas residências. De fato, a correlação entre os dados de incômodo e a deposição mensal de PS, mostrada na Figura 5-23, permite afirmar que os participantes do painel conseguem perceber as variações nos fluxos de deposição de PS com frequência mensal. Porém, vale ressaltar que se faz necessária a continuidade na obtenção de dados de nível de incômodo junto aos participantes do painel, visando incorporar o efeito da sazonalidade na curva de incômodo versus fluxo de deposição mensal.

A Eq. 5-1 representa a relação encontrada pela regressão linear simples para cálculo do nível de incômodo estimado, dado um fluxo de deposição mensal.

$$Nível\_incom_{mensal} = 1,7389 * FluxoDep_{mensal} - 3,6089 \quad \text{Eq. 5-1}$$

Aplicando a Eq. 6-1, pode-se analisar, por exemplo, qual seria o nível de incômodo percebido pela população da Ilha do Boi se houvesse redução nos atuais fluxos de deposição, ou, ainda, aplicando fluxos de deposição adotados como padrões em alguns países.

O fluxo de deposição médio de PS encontrado na Ilha do Boi é de 7,2 g/m<sup>2</sup>·30 dias (considerando todo o período de monitoramento), o que acarreta, de acordo com a Eq. 5-1, um nível médio mensal de incômodo de 8,9. Considerando que, de acordo com o estudo realizado por Santos e Reis (2011) (Seção 4.3), cerca de 70% da massa de PS depositada na Ilha do Boi é de origem industrial (siderurgia), pode-se verificar qual nível de incômodo a população da Ilha do Boi perceberia, se houvesse redução destas emissões industriais. Por exemplo, uma redução de 50% na contribuição industrial na Ilha do Boi, o fluxo de deposição na região seria de 4,68 g/m<sup>2</sup>·30 dias, o que acarretaria um nível de incômodo médio mensal de 4,5, ou seja, uma redução de 49,4%.

A reta ajustada acima permite afirmar que, para que ocorra uma redução de 50% nos níveis atuais de incômodo, que atualmente é 8,9, faz-se necessária uma redução de,

aproximadamente, 39% nos atuais fluxos médios de deposição mensal de PS. A Tabela 5-5 apresenta os padrões de fluxo de deposição adotados como limites por alguns Estados/Cidades e os níveis de incômodo que o atendimento a tais padrões acarretariam.

Tabela 5-5: Nível de incômodo correspondente a alguns padrões de fluxo de deposição adotados por alguns locais.

<b>PADRÃO</b> (g/m <sup>2</sup> 30 dias)	<b>PAÍS/CIDADE</b>	<b>PECULIARIDADE</b>	<b>NÍVEL DE INCÔMODO CORRESPONDENTE</b>
<b>10,00</b>	Minas Gerais (MM) Argentina (MA)	Áreas Industrializadas	10,00
<b>6,00</b>	Nova York (MM)	Áreas povoadas/ industrialização forte	6,82
<b>5,00</b>	Minas Gerais (MM)	Áreas Residenciais e comerciais	5,09
<b>5,25</b>	Mississippi (MM)	Áreas Residenciais	5,52
<b>4,00</b>	Austrália (MA)	Mínimo Impacto Percebido	3,35
<b>3,00</b>	Nova York (MM)	Áreas rurais para agricultura/recreação	1,61

Constata-se, pela análise da Tabela 5-5, que se o padrão adotado pelo Estado de Minas Gerais para áreas industrializadas fosse adotado na RGV, causaria um nível de incômodo à população da Ilha do Boi de 10 (nível máximo de incômodo). Por sua vez, se o padrão de Minas Gerais para áreas residenciais fosse aqui adotado, acarretaria um nível de incômodo estimado de 5,09, uma redução de, aproximadamente, 96% no nível de incômodo. Aplicando o padrão adotado em Nova York para áreas rurais utilizadas para agricultura ou recreação, 3,0 g/m<sup>2</sup>·30 dias, o nível de incômodo correspondente percebido pelos moradores da Ilha do Boi seria de apenas 1,61, o que causaria menos transtornos.

A Figura 5-24 apresenta a relação entre os níveis de incômodo e os fluxos de deposição estimados pelo modelo proposto por Rigo (2011) com frequência mensal, semanal e diária. Nota-se, pela análise da Figura 5-24 (a), que a reta de regressão para os dados de nível de incômodo mensal e fluxo de deposição mensal estimado apresenta pior ajuste ( $R^2 = 66,34\%$ ) quando comparado ao ajuste com o fluxo de deposição mensal experimental (Figura 5-23), que apresentou um coeficiente de determinação  $R^2$  de 91,5%, porém, pode-se constatar a correlação positiva entre as variáveis, com tendência de aumento dos níveis de incômodo mensal dado um aumento no fluxo de deposição mensal.

Da mesma forma, o ajuste da reta de regressão para a análise com frequência semanal e diária (Figura 5-24(b) e Figura 5-24(c)) não foi satisfatório, tendo sido obtidos os valores de coeficiente de determinação,  $R^2$ , de 59,06% para a estimativa de incômodo com frequência

semanal e de 38,87% para a estimativa de incômodo com frequência diária. Porém, como ocorre com os dados mensais, nota-se uma correlação positiva entre os dados, com aumento dos níveis de incômodo semanais e diários dado um aumento no respectivo fluxo de deposição.

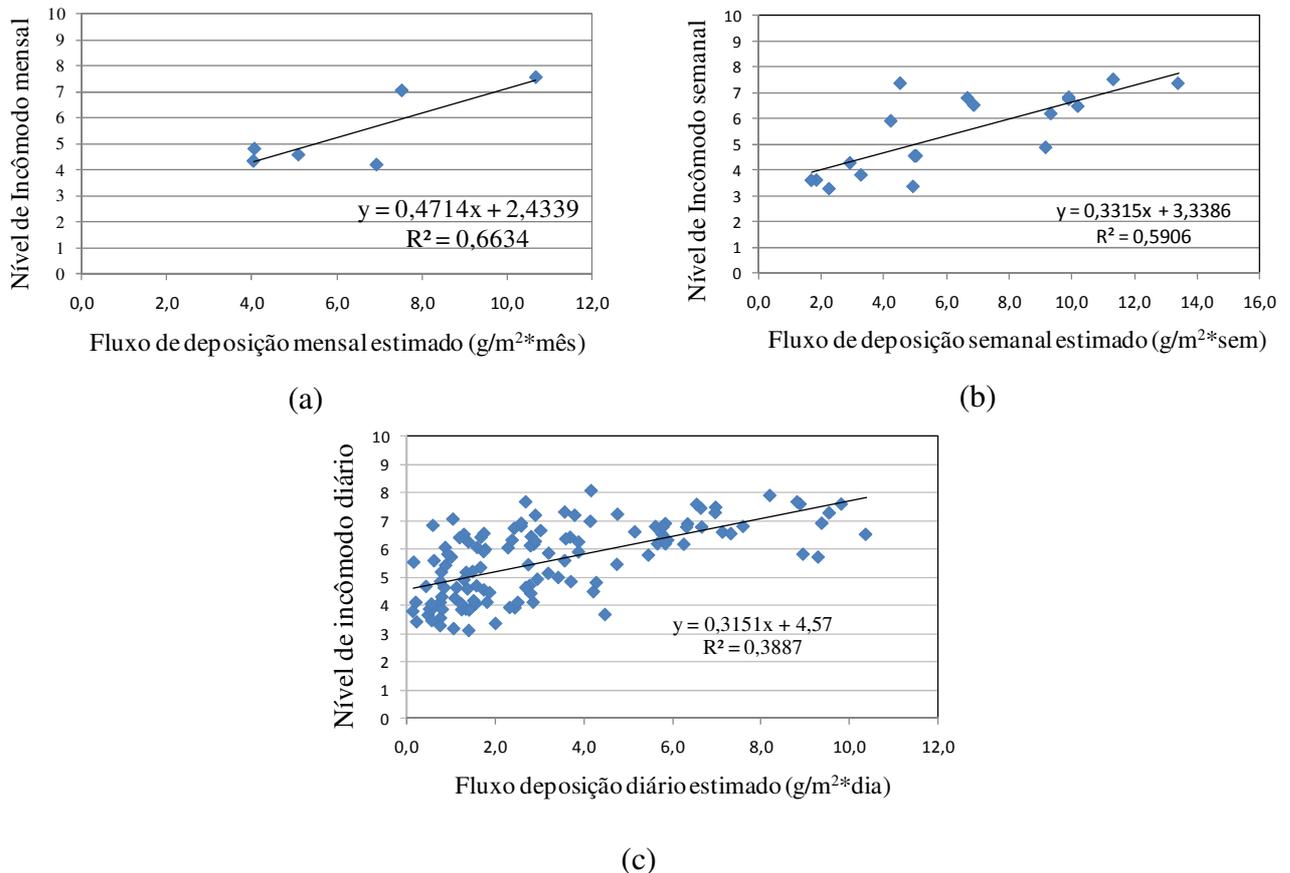


Figura 5-24: Nível de Incômodo versus Fluxo de Deposição estimado. Sendo (a) Frequência mensal; (b) frequência semanal e (c) frequência diária.

Uma possível razão para os baixos valores de correlação entre os dados de nível de incômodo e fluxo de deposição semanal e diário pode ser o fato de os dados de fluxo de deposição semanais e diários terem sido estimados a partir do modelo gerado para previsão de dados de fluxo de deposição mensal. Como não há dados experimentais de fluxo de deposição com frequência semanal e diária, não há como verificar o ajuste dos modelos gerados para tais frequências.

A Figura 5-25 apresenta a relação entre os níveis de incômodo e a velocidade do vento com frequência mensal (a), semanal (b) e diária (c).

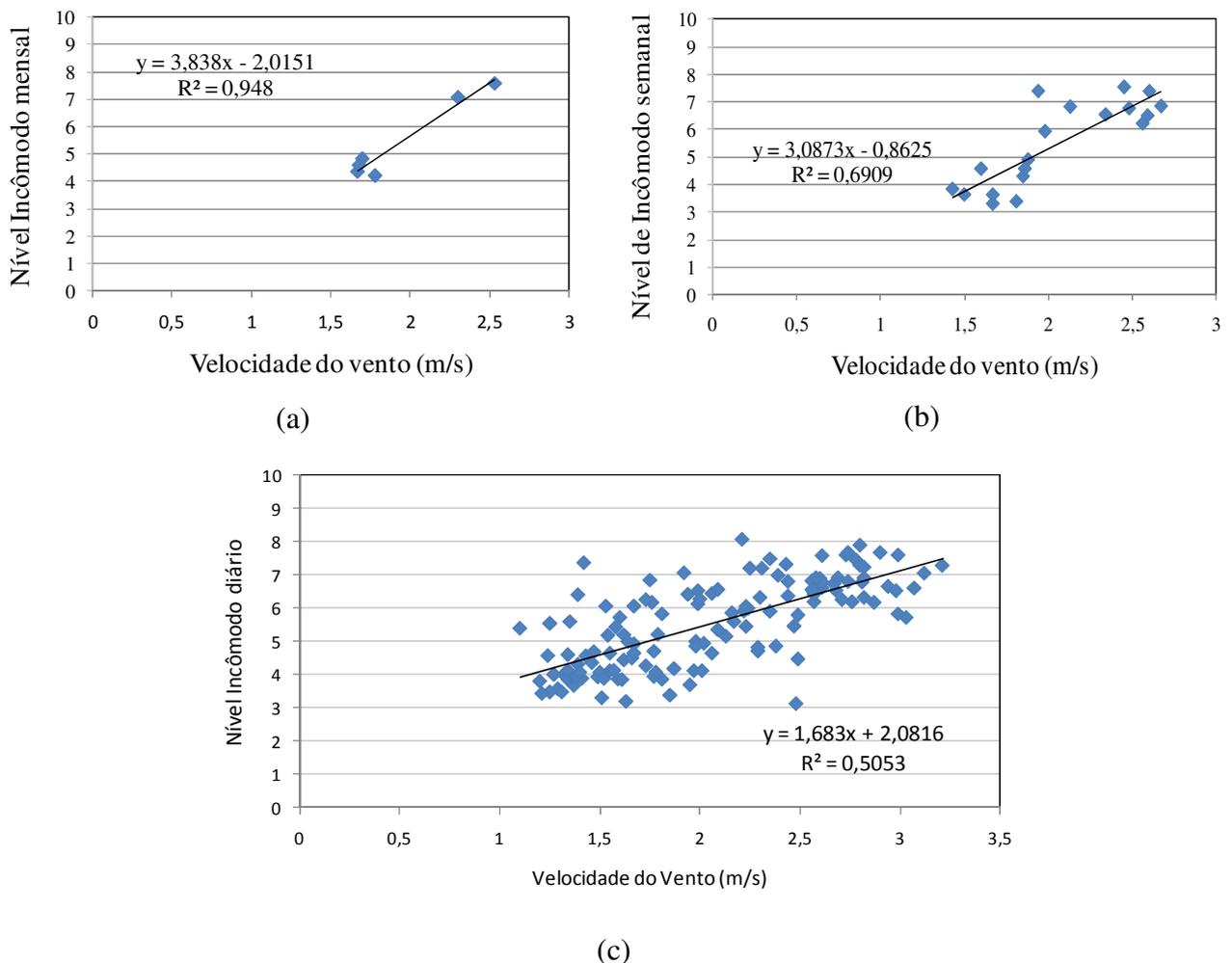


Figura 5-25: Dispersão dos dados de Nível de Incômodo relatados pelos participantes versus dados de velocidade do vento. Sendo (a) Frequência mensal; (b) frequência semanal e (c) frequência diária.

Observa-se que há uma forte correlação entre os dados de incômodo mensal e os dados médios mensais de velocidade do vento, sendo que aproximadamente 95% das variações nos níveis de incômodo são explicadas pelas variações na variável velocidade do vento. A cada uma unidade de variação na variável Velocidade do Vento há uma variação de 3,84 na variável Nível de Incômodo.

Para o caso dos dados com frequência semanal, o coeficiente de correlação é menor, mas ainda assim 69,09% das variações dos níveis de incômodo são explicadas pelas variações na velocidade do vento. Com relação aos dados com frequência diária, não foi possível ajustar uma reta, porém, nota-se uma tendência, pela análise da Figura 5-25(c), de aumento dos níveis de incômodo dado um aumento na velocidade do vento.

A Figura 5-26 apresenta a relação dos dados de níveis de incômodo e os dados de precipitação com frequência mensal (a), semanal (b) e diária (c). Observa-se que as variações nos dados de incômodo relatados, seja com frequência mensal, semanal ou diária, não são explicadas pelas variações na precipitação pluviométrica.

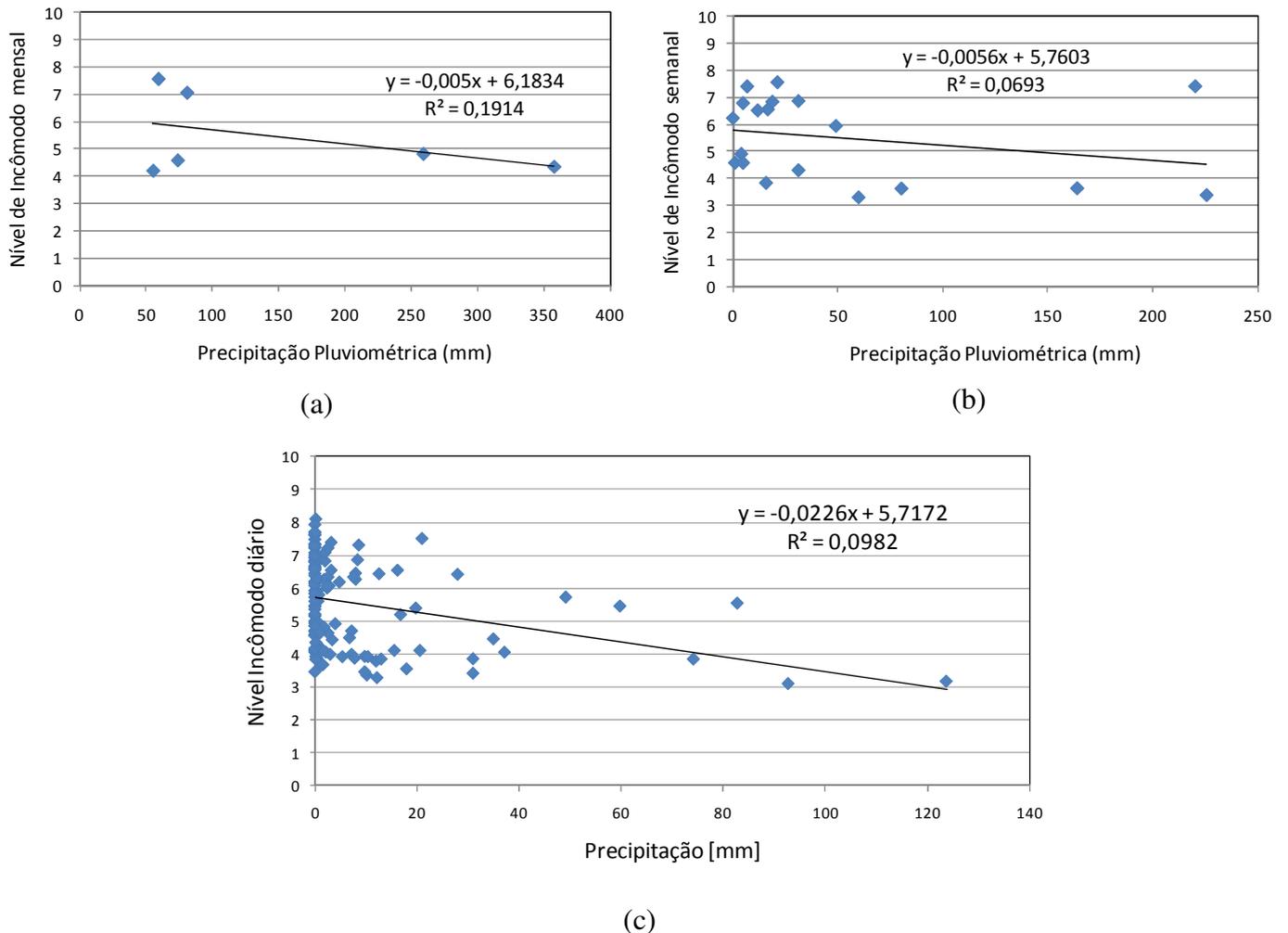


Figura 5-26: Dispersão dos dados de Nível de Incômodo relatados pelos participantes versus dados de precipitação pluviométrica. Sendo (a) Frequência mensal; (b) frequência semanal e (c) frequência diária.

A Figura 5-27 apresenta a dispersão dos dados de níveis de incômodo versus dados de direção do vento com frequência mensal (a), semanal (b) e diária (c). Ressalta-se que não foram utilizadas as médias da direção do vento, e sim a direção com maior ocorrência mensal, semanal ou diária.

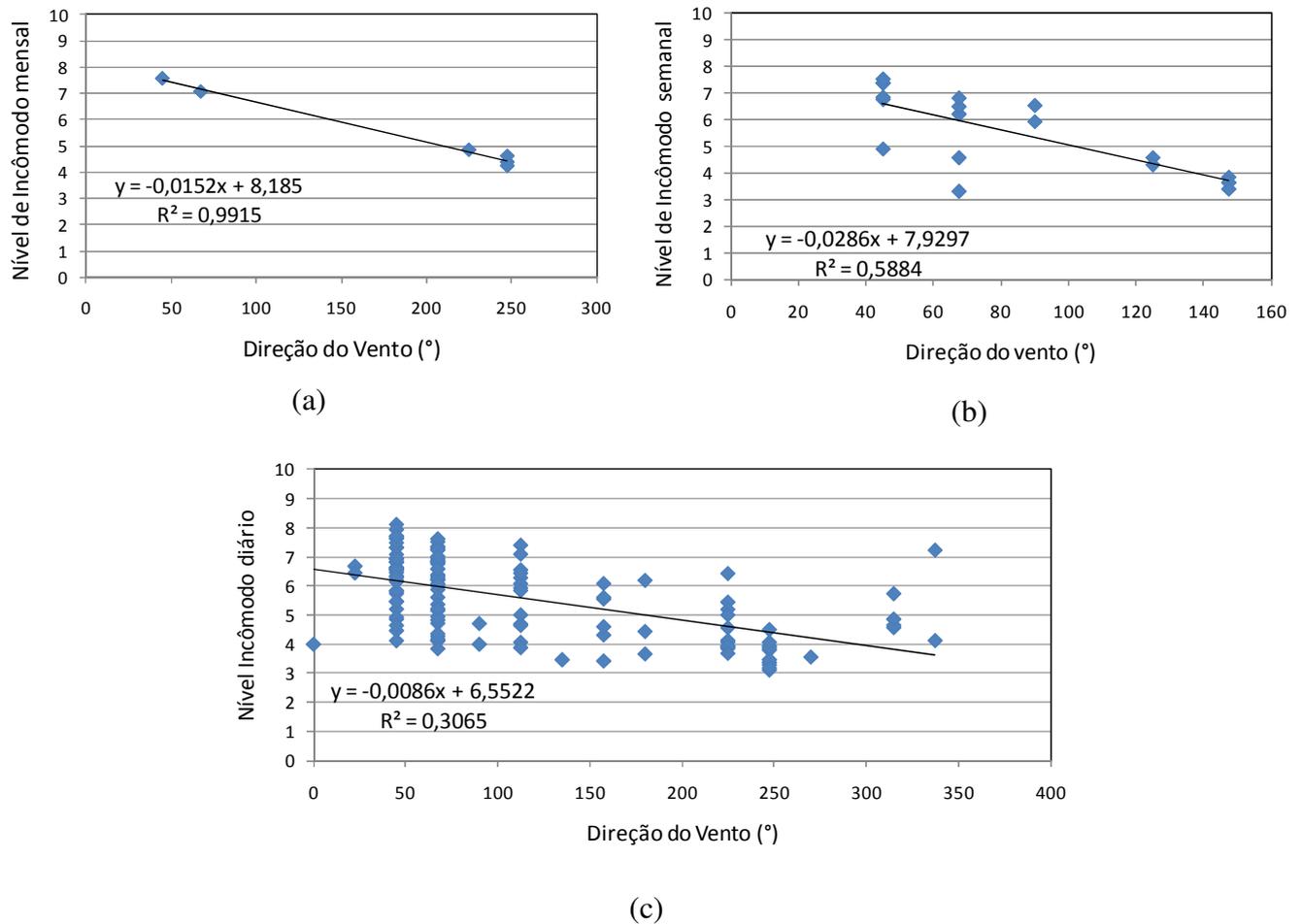


Figura 5-27: Dispersão dos dados de direção do vento versos os dados de nível de incômodo relacionados pelos participantes. Sendo (a) Frequência mensal, (b) Frequência semanal, (c) Frequência diária.

Para realização da análise de regressão entre dados de incômodo e dados de direção do vento predominante, foram considerados os pontos subcolaterais, sendo que cada ponto subcolateral foi associado a seu respectivo ângulo na Rosa dos Ventos. Consta-se que 99,15% das variações nos níveis de incômodo mensais são explicadas pelas variações nas direções do vento. Com os dados semanais e diários já não se pode notar uma influência forte da direção do vento predominante, como notada nos dados de incômodo com frequência mensal.

Faz-se necessário ressaltar que essa análise aborda a direção que ocorreu com maior frequência em um dado mês, semana ou dia, porém, é de conhecimento que outras direções podem ocorrer em um percentual maior do tempo durante o período. Exemplificando, a direção nordeste pode ter ocorrido 30% do tempo em um dado mês e ser a direção

predominante, porém, em 70% do tempo ocorreram outras direções, que também exerceram influência nos níveis de incômodo percebidos pelos participantes do painel.

A análise da correlação entre os níveis de incômodo e parâmetros meteorológicos mostrou que as variações da velocidade e direção predominante do vento são as que mais influenciam as variações nos níveis de incômodo relatados pelos participantes da pesquisa de painel.

Foram realizadas, de forma a complementar a pesquisa, análise de regressão linear múltipla entre os dados de incômodo e os parâmetros meteorológicos, com objetivo de verificar se consegue-se um melhor ajuste da curva para estimativa dos níveis de incômodo se forem consideradas mais variáveis na equação de regressão. Os resultados mostraram que é possível estimar os dados de níveis de incômodo semanais considerando as variáveis meteorológicas de forma conjunta. Para as demais frequências, não foram encontrados resultados satisfatórios com a regressão múltipla. Tais análises estão expostas no Apêndice C.

## 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo geral deste trabalho foi quantificar o nível de incômodo causado pelo poluente PS à população da região alvo do estudo (percepção ambiental), além de avaliar a correlação entre os fluxos de deposição de PS aos quais a população está exposta e os níveis de incômodo relatados, considerando as condições meteorológicas, a fim de propor diretrizes para o fluxo de deposição de PS (Estudo de painel).

Com base no exposto foram desenvolvidas duas atividades básicas, a pesquisa de opinião, e a pesquisa de painel.

A percepção ambiental foi verificada por uma pesquisa quantitativa, realizada através da aplicação de um questionário composto de 14 questões. Os questionários foram aplicados entre os meses de novembro e dezembro de 2010, tendo sido entrevistados 148 indivíduos moradores da Ilha do Boi. Os resultados obtidos indicam que 98,6% dos entrevistados se sentem incomodados pela presença de poeira em suas residências, sendo que, desses, 62,3% apresentam nível máximo de incômodo (10). A pesquisa de opinião ainda permitiu constatar que 79% dos moradores da Ilha do Boi conseguem perceber variações nas concentrações de poeira em suas residências ao longo do ano, o que pode ser explicado pelo comportamento sazonal do Fluxo de Deposição de PS das estações da Ilha do Boi, com períodos com picos de concentração seguidos por períodos com baixas concentrações.

Na comparação entre o presente estudo e o estudo desenvolvido por Rigo (2006) na RGV, constatou-se que o percentual de moradores da Ilha do Boi que relatam incômodo é mais elevado que o de moradores da RGV. Na avaliação do nível de incômodo, o maior percentual encontrado na pesquisa de Rigo (2006) foi a de moradores “Muito Incomodados”, 47%, sendo que na Ilha do Boi, o maior percentual encontrado foi o de moradores “Extremamente Incomodados”, 87%. Na avaliação da qualidade do ar realizada por ambas as pesquisas, constatou-se que os moradores da Ilha do Boi avaliam melhor a qualidade do ar do que os moradores da RGV, apesar de seus elevados níveis de incômodo.

A pesquisa de painel foi realizada entre os meses de dezembro de 2010 e junho de 2011, coletando dados de incômodo com frequência mensal, semanal e diária. Os resultados da evolução dos níveis de incômodo relatados pela população da Ilha do Boi indicam uma clara

tendência de decaimento dos níveis de incômodo ao longo da pesquisa, o que significa que os participantes não relataram seus níveis de incômodo de forma aleatória, e, sim, que realmente esses moradores perceberam variações nas concentrações de Partículas Sedimentáveis em suas residências.

A análise da relação exposição-resposta indica que há correlação entre os níveis de incômodo relatados pelos participantes da pesquisa e o fluxo de deposição experimental médio de PS monitorado pelas estações da Ilha do Boi. O melhor resultado foi obtido com os dados mensais de incômodo, de forma que 91,5% das variações dos níveis mensais de incômodo foram explicadas pelas variações dos fluxos de deposição de experimental de PS da Ilha do Boi. O modelo ajustado para dados mensais permite afirmar que, para uma redução de 50% nos níveis atuais de incômodo percebido por essa população (8,9), faz-se necessária uma redução de, aproximadamente, 39% nos atuais fluxos médios de deposição mensal de PS. A análise da correlação entre os níveis de incômodo e parâmetros meteorológicos mostrou que as variações nos parâmetros velocidade e direção do vento são as que mais influenciam as variações nos níveis de incômodo relatados.

Considerando o objetivo geral deste trabalho, pode-se concluir que a metodologia de painel é viável para correlação entre os fluxos de deposição de PS aos quais a população está exposta e os níveis de incômodo relatados de modo a propor diretrizes para o fluxo de deposição de PS, de modo que possam ser elaborados padrões que levem em consideração o nível de incômodo da população.

Diante do exposto, a presente dissertação conclui ter atingido seus objetivos propostos com bons resultados finais, embora reconheça que falhas existiram. Apesar de o modelo ajustado para estimativa dos dados de incômodo baseados nos dados mensais de fluxo de deposição ter apresentado bom resultado (91,5%), poucos dados mensais de incômodo foram coletados (6 pontos). Dessa forma, faz-se necessário (i) dar continuidade à coleta de dados mensais de incômodo junto aos participantes da pesquisa de painel por um período de, pelo menos, um ano. Além disso, recomenda-se, para futuras iniciativas: (ii) estudos que visem o desenvolvimento de metodologias de coleta de PS com maiores frequências (diária); (iii) acompanhamento dos níveis de incômodo, através de pesquisa de painel estatisticamente representativa, em todos os municípios da RGV visando o desenvolvimento de padrões regionais para o fluxo de deposição.

## 7. REFERÊNCIAS

ALVES, M. R., **Estudo do Fluxo de Deposição de Partículas para a Região Metropolitana da Grande Vitória usando dados de PTS**. 2011. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

AMUNDSEN, A. H., et al. Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for Norway. *Atmospheric Environment* Volume 42, 7679-7688, 2008.

BARBETTA, P.A. *Estatística Aplicada às Ciências Sociais*. Editora UFSC, 7ª edição. Florianópolis, 2008.

ASTM. Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), D 1739. American Society for Testing and Materials. 1998.

BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. O. **Elementos de Amostragem**. Versão Preliminar. Universidade de São Paulo, 2000.

CHIO, C; LIAO, C. Assessment of atmospheric ultrafine carbon particle-induced human health risk based on surface area dosimetry. **Atmospheric Environment**, V.42, Issue 37, p. 8575-8584, 2008

CLENCH-AAS, J. Oslo traffic study part 2: quantifying effects of traffic measures using individual exposure modeling. *Atmospheric Environment* Volume 34, 4737-4744, 2000.

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. European Aerosol Conference, Karlsruhe, Germany, 2009.

COPAM (1981). Deliberação Normativa Nº 01 de 26 de maio de 1981. Conselho Estadual de Proteção Ambiental do Estado de Minas Gerais, Brasil.

DENY (2009). <http://www.dec.ny.gov/regs/2492.html>. Department of Environment New York, United States.

DEQM (2005). <http://www.deq.state.mt.us/AirMonitoring/citguide/appendixb.html>. Department of Environment Quality Montana, United States.

EVANS, G.W., COLOME, D.S., SHEARER, F. Psychological reactions to air pollution. *Environmental Research* 45, 1–15, 1988.

FERREIRA, D. F. *Estatística Básica*. Lavras: Editora UFLA, 2005.

GAIDAJIS, G. Deposition rates of total settleable dust and its elemental composition at mountainous background areas in Northeastern Chalkidiki, Greece. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 3, N° 2, 324-334, 2002.

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

IBGE (2000). Pesquisa Censo 2000. [http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/dados\\_socioeconomicos/populacao/popmunicipio\\_bairro.asp](http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/dados_socioeconomicos/populacao/popmunicipio_bairro.asp). Última consulta 10.12.2010.

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 Volume* 34, 4727-4736, 2000.

KLÆBOE, R., et al. Annoyance from vehicular air pollution: A comparison of European exposure–response relationships. *Atmospheric Environment Volume* 42, 7689-7694, 2008.

LLOP, S., BALLESTER, F., ESTARLICH, M., et al. Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women. *Atmospheric Environment Volume* 42, 2982-2992, 2008.

PC. <http://www.pacode.com/secure/data/025/chapter131/s131.3.html>. Pennsylvania Code, United States, 1998.

PACYNA, J.M. "The origin of Arctic air pollutants: lessons learned and future research." *The Science of the Total Environment*, 1995, 160/161: 39-53.

ROTKO, T., et al. Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>) concentrations in the European *EXPOLIS* study. *Atmospheric Environment Volume* 36, 4593-4602, 2002.

SANTIAGO, A. M. **Simulação da camada limite planetária sobre a região metropolitana da grande vitória com o uso do modelo de mesoescala WRF**. 2009. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

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.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, N. S. Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change. 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.

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.

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.

TRINDADE, C.C; RIGO, M. Análise Química e Identificação de Fontes de Partículas Sedimentáveis na Grande Vitória – ES. Vitória: Trabalho de Conclusão de Curso, 2006.

TRINDADE, C. C. **Avaliação do uso de diferentes modelos receptores com dados de PM<sub>2,5</sub>: Balanço Químico de Massa (BQM) e Fatoração de matriz positiva (FMP)**. 2009. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

VALLACK, H.W., SHILLITO, D.E. Suggested guidelines for deposited ambient dust. *Atmospheric Environment* Volume 32, Nº 16, 2737-2744, 1998.



## APÊNDICE B – FORMULÁRIO DA PESQUISA DO PAINEL



Universidade Federal do Espírito Santo  
Centro Tecnológico  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

NOME:

### PERCEPÇÃO DIÁRIA E SEMANAL DOS NÍVEIS DE INCÔMODO CAUSADOS PELA POEIRA

NÍVEIS DE INCÔMODO

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

↓

Não me sinto  
incomodado(a)

↓

Extremamente  
incomodado(a)

Observações:

- 1) Favor informar seu nível de incômodo **diário**, de acordo com a escala acima, no espaço imediatamente abaixo a respectiva data;
- 2) Favor informar seu nível de incômodo **semanal**, ao final de cada semana, no espaço reservado a direita da página. **ATENÇÃO:** Esse valor não deve ser a soma dos níveis de incômodo relatados ao longo dos dias da semana, e sim um valor que informe o quão incomodado(a) você se sentiu na semana que passou.

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	
DEZEMBRO/2010	19/12/2010	20/12/2010	21/12/2010	22/12/2010	23/12/2010	24/12/2010	25/12/2010	Nível de Incômodo Semanal <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>
	26/12/2010	27/12/2010	28/12/2010	29/12/2010	30/12/2010	31/12/2010		<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>

JANEIRO/2011	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	Nível de Incômodo Semanal	
							1/1/2011		⇒ <input type="text"/>
	2/1/2011	3/1/2011	4/1/2011	5/1/2011	6/1/2011	7/1/2011	8/1/2011		⇒ <input type="text"/>
	9/1/2011	10/1/2011	11/1/2011	12/1/2011	13/1/2011	14/1/2011	15/1/2011		⇒ <input type="text"/>
	16/1/2011	17/1/2011	18/1/2011	19/1/2011	20/1/2011	21/1/2011	22/1/2011		⇒ <input type="text"/>
	23/1/2011	24/1/2011	25/1/2011	26/1/2011	27/1/2011	28/1/2011	29/1/2011		⇒ <input type="text"/>
30/1/2011	31/1/2011								

FEVEREIRO/2011	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	Nível de Incômodo Semanal	
			1/2/2011	2/2/2011	3/2/2011	4/2/2011	5/2/2011		⇒ <input type="text"/>
	6/2/2011	7/2/2011	8/2/2011	9/2/2011	10/2/2011	11/2/2011	12/2/2011		⇒ <input type="text"/>
	13/2/2011	14/2/2011	15/2/2011	16/2/2011	17/2/2011	18/2/2011	19/2/2011		⇒ <input type="text"/>
	20/2/2011	21/2/2011	22/2/2011	23/2/2011	24/2/2011	25/2/2011	26/2/2011		⇒ <input type="text"/>
	27/2/2011	28/2/2011							

MARÇO/2011	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	Nível de Incômodo Semanal	
			1/3/2011	2/3/2011	3/3/2011	4/3/2011	5/3/2011		⇒ <input type="text"/>
	6/3/2011	7/3/2011	8/3/2011	9/3/2011	10/3/2011	11/3/2011	12/3/2011		⇒ <input type="text"/>
	13/3/2011	14/3/2011	15/3/2011	16/3/2011	17/3/2011	18/3/2011	19/3/2011		⇒ <input type="text"/>
	20/3/2011	21/3/2011	22/3/2011	23/3/2011	24/3/2011	25/3/2011	26/3/2011		⇒ <input type="text"/>
	27/3/2011	28/3/2011	29/3/2011	30/3/2011	31/3/2011				

ABRIL/2011	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	Nível de Incômodo Semanal	
						1/4/2011	2/4/2011		
	3/4/2011	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	9/4/2011		
	10/4/2011	11/4/2011	12/4/2011	13/4/2011	14/4/2011	15/4/2011	16/4/2011		
	17/4/2011	18/4/2011	19/4/2011	20/4/2011	21/4/2011	22/4/2011	23/4/2011		
	24/4/2011	25/4/2011	26/4/2011	27/4/2011	28/4/2011	29/4/2011	30/4/2011		

### PERCEPÇÃO MENSAL DOS NÍVEIS DE INCÔMODO

#### NÍVEIS DE INCÔMODO

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

↓  
Não me sinto  
incomodado(a)

↓  
Extremamente  
incomodado(a)

Favor informar, ao final de cada mês, qual foi seu nível de incômodo, de acordo com a escala acima, no espaço imediatamente a direita do respectivo mês.

	Nível de Incômodo Mensal
JANEIRO/2011	
FEVEREIRO/2011	
MARÇO/2011	
ABRIL/2011	
MAIO/2011	
JUNHO/2011	

Larissa Barbosa de Souza  
Mestranda em Engenharia Ambiental - UFES  
Contato: 9838-9074/3323-4434  
Orientador: Neyval Costa Reis Júnior

## APÊNDICE C - ANÁLISE CONJUNTA DA INFLUÊNCIA DOS FATORES METEOROLÓGICOS

A Figura C-1 apresenta o resultado da aplicação do modelo de regressão múltipla, obtido através do Software estatístico R, para os dados com frequência mensal, sendo os dados de incômodo mensais a variável dependente, ou a ser explicada, e os dados de (i) direção do vento (DIR\_VENTO), (ii) velocidade do vento (VEL\_VENTO) e (iii) precipitação pluviométrica (PRECIP) as variáveis independentes, ou explicativas.

Na regressão simples realizada com os dados mensais, a direção do vento se mostrou como o fator que mais influencia os níveis de incômodo apresentados pelos participantes (vide Figura 5-27), sendo que as variações na direção do vento explicaram 99,15% das variações dos níveis de incômodo.

A Figura C-1 apresenta o resultado gerado com a análise conjunta das variáveis meteorológicas com frequência mensal.

Observa-se que o modelo gerado apresenta-se bem ajustado, sendo capaz de prever em até 99,22% os níveis de incômodo. Porém, pela análise do  $p_{valor}$  observa-se que as variáveis velocidade do vento (VEL\_VENTO) e precipitação pluviométrica (PRECIP) não foram significativas para o modelo, corroborando com a idéia de que a regressão simples pode ser utilizada para previsão dos níveis de incomodo mensais a partir dos dados de DIR\_VENTO sem prejuízo para o modelo.

A Figura C-2 apresenta o resultado do modelo de regressão múltipla gerado para previsão dos dados de níveis de incômodo com frequência semanal a partir das variáveis explicativas (i) direção do vento (DIR\_VENTO), (ii) velocidade do vento (VEL\_VENTO) e (iii) precipitação pluviométrica (PRECIP).

A velocidade semanal média do vento foi a única variável que permitiu uma previsão dos dados de incômodo com frequência semanal de forma satisfatória, com as variações nos dados de velocidade do vento explicando 69% dos níveis de incômodo semanais. Porém, os níveis de incômodo com frequência semanal são mais bem explicados pelas variáveis meteorológicas analisadas conjuntamente, através da regressão linear múltipla, como pode ser observada pela Figura C-2, obtendo um coeficiente de determinação de 75,93% (em destaque na Figura C-2), enquanto a regressão simples realizada apenas com a variável explicativa VEL\_VENTO previu 69% dos dados de incômodo.

Porém, vale ressaltar que, apesar de o ajuste ter sido melhor na regressão múltipla, a única variável significativa foi a velocidade do vento, pela análise do  $p_{valor}$  (em destaque na Figura C-2), que apresentou valor acima de 0,5 para as variáveis PRECIP e DIR\_VENTO.

Dessa forma, para estimativa dos dados de incômodo com frequência semanal (*NívelInc\_semanal*), a melhor maneira seria a utilização do modelo de regressão múltipla ajustado, apresentado na Eq C-2.

$$NívelInc\_semanal = -0,0138DIR\_VENTO + 2,2336VEL\_VENTO + 0,0019PRECIP + 1,9737$$

Eq. C-2

```
> analise_mensal<-read.table("clipboard", header=T)
> analise_mensal
  INCOMODO DIR_VENTO VEL_VENTO PRECIP
1      7.6      45.0      2.53  59.0
2      7.1      67.5      2.30  80.6
3      4.8     225.0      1.70 258.8
4      4.4     247.5      1.67 357.4
5      4.6     247.5      1.68  73.6
6      4.2     247.5      1.78  55.0
> attach(analise_mensal)
> modelo_mensal_integrado<-lm(INCOMODO~DIR_VENTO+VEL_VENTO+PRECIP)
> summary(modelo_mensal_integrado)

Call:
lm(formula = INCOMODO ~ DIR_VENTO + VEL_VENTO + PRECIP)

Residuals:
    1      2      3      4      5      6 
0.11056 -0.12537  0.00794 -0.00720  0.17883 -0.16475

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.744e+00  4.121e+00   2.364  0.1418
DIR_VENTO   -1.757e-02  5.749e-03  -3.056  0.0925 .
VEL_VENTO   -5.771e-01  1.558e+00  -0.370  0.7466
PRECIP      -6.958e-05  9.481e-04  -0.073  0.9482
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2088 on 2 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9922,    Adjusted R-squared:  0.9805
F-statistic: 84.64 on 3 and 2 DF,  p-value: 0.0117
```

Figura C-1: Resultado do modelo de regressão múltipla gerado para previsão dos dados de níveis de incômodo com frequência mensal a partir das variáveis explicativas (i) direção do vento (DIR\_VENTO), (ii) velocidade do vento (VEL\_VENTO) e (iii) precipitação pluviométrica (PRECIP), fornecida pelo programa estatístico R.

```

> analise_semanal<-read.table("clipboard", header=T)
> analise_semanal
  INCOMODO DIR_VENTO VEL_VENTO PRECIP
1      6.77      45.0      2.48    4.8
2      7.40      45.0      1.94  220.0
3      6.84      45.0      2.67   31.2
4      7.38      45.0      2.60    6.8
5      7.54      45.0      2.45   21.2
6      6.54      90.0      2.34   16.6
7      6.21      67.5      2.56    0.0
8      6.50      67.5      2.59   11.8
9      6.80      67.5      2.13   18.8
10     5.93      90.0      1.98   49.0
11     4.57     125.0      1.60    1.0
12     3.30      67.5      1.67   59.8
13     3.63     147.5      1.50  163.8
14     4.30     125.0      1.85   31.2
15     4.90      45.0      1.88    4.0
16     3.83     147.5      1.43   15.8
17     4.57      67.5      1.86    4.8
18     3.60     147.5      1.67   80.2
19     3.38     147.5      1.81  225.4
> attach(analise_semanal)
> modelo_semanal_integrado<-lm(INCOMODO~DIR_VENTO+VEL_VENTO+PRECIP)
> summary(modelo_semanal_integrado)

Call:
lm(formula = INCOMODO ~ DIR_VENTO + VEL_VENTO + PRECIP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.5859 -0.5417 -0.1299  0.6738  1.2895

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.973749   1.886328   1.046  0.31197
DIR_VENTO   -0.013836   0.006812  -2.031  0.06035 .
VEL_VENTO    2.233661   0.686993   3.251  0.00537 **
PRECIP       0.001936   0.002925   0.662  0.51803
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.8202 on 15 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.7593,    Adjusted R-squared: 0.7111
F-statistic: 15.77 on 3 and 15 DF,  p-value: 6.608e-05

```

Figura C-2: Resultado do modelo de regressão múltipla gerado para previsão dos dados de níveis de incômodo com frequência semanal a partir das variáveis explicativas (i) direção do vento (DIR\_VENTO), (ii) velocidade do vento (VEL\_VENTO) e (iii) precipitação pluviométrica (PRECIP), fornecida pelo programa estatístico R.

A Figura C-3 apresenta o resultado do modelo de regressão múltipla gerado para previsão dos dados de níveis de incômodo com frequência diária a partir das variáveis explicativas (i) direção do vento (DIR\_VENTO), (ii) velocidade do vento (VEL\_VENTO) e (iii) precipitação pluviométrica (PRECIP).

Vale ressaltar que, nos modelos de regressão linear simples gerados (vide Figuras 6-26, 6-27 e 6-28), a velocidade do vento, precipitação pluviométrica e direção do vento conseguiram estimar os níveis de incômodo em 50,5%, 9,8% e 30,6%, respectivamente. Ou seja, a estimativa dos níveis de incômodo com frequência diária a partir das variáveis meteorológicas não apresentou resultados confiáveis.

A regressão linear múltipla também não apresentou ajuste satisfatório, uma vez que apenas 55,25% das variações nos níveis de incômodo diários estão sendo explicadas pelas variações nas variáveis meteorológicas analisadas. Dessa forma, pode-se afirmar que não foi encontrado um modelo satisfatório para estimativa dos dados de incômodo com frequência diária.

```
> analise_diario<-read.table("clipboard", header=T)
> attach(analise_diario)
> modelo_diario_integrado<-lm(INCOMODO~DIR_VENTO+VEL_VENTO+PRECIP)
> summary(modelo_diario_integrado)

Call:
lm(formula = INCOMODO ~ DIR_VENTO + VEL_VENTO + PRECIP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.9151 -0.5469 -0.1047  0.5258  2.7365

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.921732   0.472970   6.177 8.43e-09 ***
DIR_VENTO   -0.002324   0.001204  -1.930  0.0559 .
VEL_VENTO    1.431909   0.179392   7.982 7.97e-13 ***
PRECIP      -0.009403   0.004728  -1.989  0.0489 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.8963 on 125 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.5525    Adjusted R-squared: 0.5417
F-statistic: 51.44 on 3 and 125 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Figura C-3: Resultado do modelo de regressão múltipla gerado para previsão dos dados de níveis de incômodo com frequência diária a partir das variáveis explicativas (i) direção do vento (DIR\_VENTO), (ii) velocidade do vento (VEL\_VENTO) e (iii) precipitação pluviométrica (PRECIP), fornecida pelo programa estatístico R.

## **ANEXO A – METODOLOGIA PARA ANÁLISE QUANTITATIVA DAS AMOSTRAS DE PS**

### **A.1 ESCOPO**

O procedimento para quantificação de material particulado sedimentável foi baseado nas normas ASTM D 1739-98 (2004) e ABNT MB-3402-91. A norma ABNT foi utilizada, exceto quando necessária a realização da quantificação da fração do material particulado sedimentado coletado.

O material particulado sedimentável é definido como qualquer material composto por partículas pequenas o suficiente para passar através de uma peneira de 1 mm, e grande o suficiente para serem sedimentadas através de seu peso no recipiente.

Este método de análise permite determinar a taxa de sedimentação de poeira em gramas por metro quadrado durante o período de 30 dias com tolerância de  $\pm 2$  dias. As massas do solúvel em água e componentes insolúveis do material coletado são determinados por gravimetria. Os resultados são expressos em gramas por metro quadrado por 30 dias  $g/(m^2 \times 30 \text{ dias})$ .

### **A.2 COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS**

O frasco coletor deve pelo menos 150 mm de diâmetro com altura não inferior à duas vezes o diâmetro, ser aço inox ou plástico resistente a intempéries. A capacidade volumétrica do frasco deve ser compatível com o índice pluviométrico da região, mantendo-se as exigências quanto ao material e diâmetro da boca do coletor.

Deve ser adicionado ao coletor 1 ml de solução de cobre a 1 ppm para cada litro de água, conforme precipitação pluviométrica esperada para prevenção do crescimento de microorganismos. Os coletores devem ser protegidos da exposição à poeira até sua instalação no suporte. A exposição deve durar 30  $\pm$  2 dias. Após o tempo de exposição, o coletor deve ser coberto e recolhido para análise no laboratório.

*Nota: Fazer uma prova em branco. Preparar um recipiente de coleta e não o expor à atmosfera, deixando-o tampado e guardado no laboratório.*

### A.3 APARELHAGEM, VIDRARIA E MATERIAIS

- Balança analítica
- Béqueres de vidro 250 ml (em substituição a cápsula de porcelana) e 1000 ml
- Cápsulas de porcelana
- Dessecador
- Estufa
- Paquímetro ou outro aparato para medição do diâmetro interno do coletor
- Recipiente coletor com tampa
- Proveta 250 ml
- Bastão de vidro com ponta de borracha
- Chapa elétrica de aquecimento

### A.4 REAGENTES

- Água reagente
- Solução de cobre a 1 ppm
- Sílica-gel com indicador para secagem.

### A.5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

- a. Preparar os béqueres de 250 ml, lavando e colocando na estufa a 110 °C, por um período de 12 horas. No caso de cápsula, tarar em mufla a 550 °C por 1 hora e depois levar a estufa;
- b. Retirá-los da estufa;
- c. Limpar a base do béquer ou cápsula com um pano seco ou papel,
- d. Levar o béquer ou cápsula a um dessecador e aguardar resfriamento por uma hora;
- e. Aferir a massa do béquer (este valor peso é a tara);
- f. Começando pelo branco, transferir todo material retido no coletor para um béquer de 1 l, passando-o por uma peneira de 1 mm. Lavar o frasco coletor com água reagente, com o auxílio de um bastão de vidro com ponta de borracha transferir a água de lavagem do frasco coletor para o béquer de 1 l;
- g. Usando uma chapa elétrica de aquecimento, aquecer o béquer de 1 l até que o volume da solução se reduza a aproximadamente 50 ml.
- h. Transferir a solução para o béquer tarado;

- i. Lavar o béquer de 1 l com uma pequena quantidade de água reagentes e com o auxílio do bastão de vidro fazer a limpeza final e transferir a água de lavagem para o béquer tarado;
- j. Colocar o béquer para secar em estufa elétrica regulada a  $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  até estabilização do peso;
- k. Retirar o béquer da estufa e colocá-lo no dessecador por, no mínimo, uma hora;
- l. Aferir novamente a massa do béquer e obter sua massa final. Subtrair a massa inicial do béquer pela sua massa final para obter o valor final desejado.