

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DA METODOLOGIA E DOS  
RESULTADOS APRESENTADOS PELA EMPRESA  
ECOSOFT (RTC190018) PARA ATUALIZAÇÃO DO  
INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA  
REGIÃO DA GRANDE VITÓRIA ANO BASE – 2015**

Elaborado por:



Elaborado para:



Abril de 2019

## Ficha técnica

---

### **Equipe técnica responsável:**

**Professor Bruno Furieri**

**Departamento de Engenharia Ambiental**

**Universidade Federal do Espírito Santo**

Engenheiro Ambiental e Doutor em Engenharia Ambiental

**Professor Davidson Martins Moreira**

**SENAI – CIMATEC - BA**

Físico, Mestre em Física e Doutor em Engenharia Mecânica

**Dr Elson Silva Galvão**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental**

**Universidade Federal do Espírito Santo**

Engenheiro Ambiental, Mestre e Doutor em Engenharia Ambiental

**Professora Jane Meri Santos**

**Departamento de Engenharia Ambiental**

**Universidade Federal do Espírito Santo**

Engenheira Mecânica, Mestre em Engenharia Mecânica e PhD em Engenharia Química

**Professor Neyval Costa Reis Júnior**

**Departamento de Engenharia Ambiental**

**Universidade Federal do Espírito Santo**

Engenheiro Mecânico, Mestre em Tecnologias Ambientais e PhD em Engenharia Química

# Sumário

<b>Ficha técnica .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>4</b>
1.1. Contextualização .....	4
1.2. Inventário de emissões na RGV .....	4
1.3. Organização do texto .....	5
<b>2. Análise do inventário de emissões da RGV com base nas diretrizes do EIIP US-EPA 7</b>	<b>7</b>
2.1. Conceitos básicos sobre os procedimentos de garantia de qualidade de inventários EIIP US-EPA.....	7
2.2. Categorização EIIP de inventários: requisitos básicos e uso pretendido.....	8
2.3. Análise do inventário de emissões atmosféricas da RGV com base na categorização e premissas EIIP.....	15
<b>3. Análise técnica da metodologia de cálculo das emissões.....</b>	<b>17</b>
3.1. Análise geral.....	17
3.2. Avaliação específica: Ressuspensão em vias de tráfego .....	20
3.3. Avaliação específica: Pilhas de estocagem .....	24
<b>4. Análise dos resultados .....</b>	<b>27</b>
<b>5. Conclusões e recomendações .....</b>	<b>34</b>
<b>Referências.....</b>	<b>38</b>

# 1. Introdução

---

Este documento tem como principal objetivo apresentar a avaliação técnica da metodologia e dos resultados apresentados no relatório produzido pela empresa EcoSoft, referente ao “Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória”. A descrição detalhada do inventário e de sua metodologia de elaboração pode ser obtida no texto original do relatório, disponível no arquivo RTC190018-R1.pdf.

## 1.1. Contextualização

A confecção do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória (ano base 2015) envolveu a EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais, como empresa executora do trabalho, o Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), como órgão provedor de informações e gestor do projeto, a Fundação Espírito-Santense de Tecnologia (FEST) como a entidade avaliadora da metodologia empregada e dos resultados obtidos e a empresa Tetra Tech Inc. como auditora externa independente.

Ao corpo técnico da FEST coube revisar a literatura sobre as técnicas de medição e modelos comumente utilizados para a estimativa das taxas de emissão em inventário de fontes de poluentes atmosféricos a fim de fomentar as discussões sobre as metodologias apresentadas pela EcoSoft; participar de reuniões com a EcoSoft para a assistência e validação da metodologia proposta e, finalmente, realizar análise crítica da metodologia empregada e dos resultados apresentados pela empresa EcoSoft.

## 1.2. Inventário de emissões na RGV

Um inventário de emissões consiste numa lista da quantidade de poluentes lançados na atmosfera, numa determinada área geográfica, e num determinado período de tempo, por todas as fontes emissoras dos poluentes de interesse. Os resultados apresentados devem permitir a compreensão da importância das emissões ao nível regional (ou nacional, de acordo com a avaliação), e identificar as principais fontes emissoras e seus respectivos poluentes. Ainda que não se possa estabelecer uma relação direta entre qualidade do ar e emissões atmosféricas, os inventários de emissões fornecem informações indispensáveis aos modelos de qualidade do ar e são ferramentas fundamentais para a gestão da qualidade do ar, pois permitem identificar as fontes onde a intervenção é mais premente (Borrego et al., 2010).

Um inventário de fontes deve seguir uma metodologia aceita pela comunidade acadêmica/científica e órgãos responsáveis pela fiscalização e controle das emissões. Nesse

contexto, é bem estabelecido que um inventário de fontes deve ser: completo (todas as fontes para cada poluente em análise); comparável (para outros anos e com outros inventários); consistente (homogeneidade no tratamento); e transparente (deve permitir em si a verificação).

Em 2011, foi realizado o último inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitória (RGV) por meio do Acordo de Cooperação Técnica firmado entre a Secretaria estadual de Meio Ambiente (SEAMA), por intermédio do IEMA, e a empresa EcoSoft que apresentou as emissões relativas aos anos 2009 e 2010. As emissões industriais consideraram as 88 empresas mais significativas quanto ao potencial de emissão de poluentes atmosféricos, estando incluídas empresas de pequeno, médio e grande porte, que representavam aproximadamente 91% das emissões de poluentes atmosféricos de origem industrial na RGV. Entretanto, as seguintes principais limitações foram identificadas:

- ausência da descrição detalhada da metodologia empregada para o cálculo da taxa de emissão de cada poluente em cada fonte indicando suas referências na literatura (principalmente, emissão veicular em vias e pilhas de estocagem), da forma de obtenção dos dados necessários à realização do inventário, da qualidade dos fatores de emissão utilizados, da forma de cálculo das emissões médias e do período de realização (horária, mensal, anual);
- não inclusão do setor da construção civil cuja taxa de emissão é significativa, principalmente no que se refere à contribuição para os níveis de deposição de partículas sedimentadas na região (Santos e Reis, 2011);
- ausência de informações relativas aos valores de eficiência de controle das emissões dos poluentes utilizados no cálculo da taxa de emissão.

Além disso, desde de 2011, houve crescimento significativo da frota veicular na RGV, alteração no parque industrial da região e implementação de novos métodos de controle das emissões industriais.

Assim, torna se evidente a necessidade da realização de um inventário de emissões atualizado e com garantia de qualidade conforme preconizada por organismos internacionais para o desenvolvimento de um inventário abrangente e de alta qualidade.

### 1.3. Organização do texto

Este documento está dividido em cinco capítulos. Após esta introdução (Capítulo 1), é apresentada uma análise do inventário de emissões da Região da Grande Vitória (RGV), realizado pela empresa EcoSoft, com base nos conceitos básicos sobre os procedimentos de garantia de qualidade de inventários preconizados pelo EIIP da US-EPA (Capítulo 2). O Capítulo 3 discute a

metodologia utilizada nos cálculos de estimativa de emissão. O Capítulo 4 apresenta uma análise dos resultados apresentados no inventário. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais e as recomendações para as futuras atualizações do inventário.

## 2. Análise do inventário de emissões da RGV com base nas diretrizes do EIIP US-EPA

---

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA) apresenta premissas e diretrizes para a confecção e melhoria de inventários como parte de seu Programa de Melhoria de Inventários de Poluentes Atmosféricos (*Air Emissions Inventory Improvement Program*, EIIP), cujas informações completas estão disponíveis em <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/air-emissions-inventory-improvement-program-eiip>. O EIIP foi criado em 1993 para promover o desenvolvimento e uso de procedimentos padronizados para coletar, calcular, armazenar, reportar e compartilhar dados de emissões de poluentes atmosféricos a fim de apoiar o desenvolvimento de inventários de emissões que possuem metas/objetivos de qualidade, efetividade de custos e dados confiáveis e acessíveis para os usuários finais.

O Volume 6 do EIIP apresenta o escopo técnico básico para os Procedimentos de Garantia de Qualidade de Inventários (*Quality Assurance Procedures*, QAP), que será empregado nas análises apresentadas neste documento, e expõe referências para identificar, melhorar, consolidar e documentar os processos de garantia de qualidade e avaliação/revisão do processo.

### 2.1. Conceitos básicos sobre os procedimentos de garantia de qualidade de inventários EIIP US-EPA

De acordo com a US-EPA, a existência de um plano ou programa de Garantia de Qualidade (*Quality Assurance*, QA) na elaboração do inventário é essencial para o desenvolvimento de um inventário abrangente e de alta qualidade, aumentando a confiabilidade no inventário e nas políticas regulatórias e estratégias de controle produzidas a partir dele. Um plano de QA possui dos elementos básicos: (i) Controle de Qualidade e (ii) Análise Externa.

O Controle de Qualidade (CQ) é o conjunto de rotinas técnicas realizado pelo pessoal técnico que elaborou o inventário para medir e controlar a qualidade do inventário em desenvolvimento. Os procedimentos de CQ são desenhados para:

- Fornecer uma rotina de avaliações de consistência e pontos de documentação durante o processo de desenvolvimento do inventário para verificar a integridade, correção e completude dos dados;
- Identificar e reduzir erros nas emissões;
- Maximizar a consistência durante a preparação do inventário e sua documentação;
- Facilitar o processo de avaliação/revisão interna e externa do inventário.

As atividades de CQ incluem revisões técnicas, avaliação de precisão e o uso de formulações/procedimentos aprovados e padronizados para o cálculo das emissões. Essas atividades devem ser incluídas desde o planejamento do inventário, coleta de dados, análise, cálculos e elaboração dos relatórios.

O segundo elemento dos procedimentos de QA é a Análise Externa, que inclui o planejamento de um sistema de revisão e auditoria externa efetuada por pessoal não diretamente envolvido no processo de elaboração do inventário. O conceito principal, nesse caso, é uma revisão independente e objetiva por um terceiro para avaliar a efetividade do programa de CQ interno, a qualidade do inventário e reduzir ou eliminar desvios inerentes ao processo.

Segundo a US-EPA, além de atender os objetivos do CQ, um procedimento de revisão de QA adequado fornece um melhor indicador de qualidade geral do inventário, precisão, completude, representatividade e compatibilidade dos dados coletados.

A realização de qualquer inventário de emissões é limitada por tempo de execução e recursos disponíveis. De acordo com o EIIP da US-EPA, é necessário identificar essas limitações e priorizar os esforços de desenvolvimento para garantir que os recursos limitados sejam gastos com base nas prioridades. Nesse contexto, o objetivo e o uso final de um inventário devem determinar os Objetivos de Qualidade de Dados (*Data Quality Objectives*, DQOs). Os DQOs devem ditar o refinamento e complexidade do processo de elaboração do inventário e o nível de detalhamento da documentação. Idealmente, o atendimento de DQOs podem ser medidos pelo uso de Indicadores de Qualidade de Dados (*Data Quality Indicator*, DQI). O objetivo de tal abordagem é garantir o desenvolvimento do inventário com a melhor qualidade possível/desejada dentro dos recursos disponíveis.

## 2.2. Categorização EIIP de inventários: requisitos básicos e uso pretendido

O EIIP da US-EPA divide os inventários em quatro grandes categorias gerais, com base no uso pretendido para as informações apresentadas, cada categoria emprega diferentes procedimentos de execução, Garantia de Qualidade (QA) e requisitos de documentação. Mobley e Saeger (1994) indicam três usos primários para os inventários de emissão:

- Avaliação de problemas de qualidade do ar em regiões e identificação das fontes de emissão;
- Entrada para modelos de qualidade do ar;
- Subsídio para atividades regulatórias associadas à gestão pública e elaboração de políticas públicas.

A lista acima é baseada no ponto de vista de um órgão ambiental, entretanto, diversos outros usos para os inventários podem ser estabelecidos, levando a diferentes pré-requisitos de complexidade, documentação e nível de incerteza permitido.

Os requisitos de documentação são bastante diferentes conforme a aplicação. O EIIP traz alguns exemplos do nível de detalhamento requerido com base na aplicação pretendida. Por exemplo, o nível de detalhamento da documentação de um inventário de emissões para identificação de problemas de qualidade do ar local ou estimativas regionais de emissão é significativamente menor que o nível de detalhamento requerido para uso em modelos de dispersão de poluentes e qualidade do ar que requerem dados específicos para cada fonte, com detalhamento nas variações espaciais e temporais. Inventários de emissões para definição de limites de emissão, políticas públicas ou para demonstrar atendimento de padrões requerem níveis de documentação ainda mais significativos. Esses dados podem ser até usados para resolver disputas judiciais e, portanto, devem incluir maior detalhamento e atender maiores exigências de incerteza e auditoria.

A Tabela 1 apresenta a classificação de inventários usada pelo EIIP e mostra que dependendo do uso pretendido para o inventário, há diferentes exigências de níveis de documentação, plano de QA e análise de incerteza são especificados. Inventários de Nível IV são compilados, principalmente, a partir de dados já existentes, requerem pouca documentação e os planos de QA são menos exigentes. Nesse caso, de acordo com a documentação EIIP, a coordenação de QA não precisa ser independente da equipe de elaboração do inventário. Todos os cálculos envolvidos devem ser documentados e deve existir um documento com o plano de trabalho formalizado, porém não é estritamente necessária a formalização de QA.

Inventários Nível III são mais refinados do que inventários Nível IV porque incluem alguns dados locais específicos e algum tipo de levantamento local de dados. Assim o processo de elaboração é mais complexo e processos de QA e documentação devem ser mais detalhados. Entretanto, como inventários Nível III não são utilizados em formulação de políticas ou processo decisório, ainda é permitida alguma flexibilidade. Nesse caso, o plano de QA deve ser formalizado, DQOs devem ser estabelecidos e todos os processos de aquisição e tratamento de dados, bem como, cálculos devem ser formalmente documentados.

Para inventários Nível I ou Nível II, os requisitos mínimos para os planos de QA são similares, porém é requerido menor nível de detalhamento para inventários Nível II. Planos Estaduais de gestão da Qualidade do Ar são um bom exemplo de uso para inventário Nível II, em que o inventário subsidia o processo de decisão e elaboração de estratégias de gestão, mas não requer o mesmo nível de exigência aplicado a inventários do Nível I, que podem ser usados para fins legais.

**Tabela 1.** Definição dos níveis de inventários baseados no EIIP. Fonte: Adaptado de US-EPA (1997a).

Nível	Uso do Inventário	Requerimentos básicos	Exemplo
I	Dados normalmente ligados a requerimentos legais ou regulatórios	Requer que os resultados tenham o maior grau de exigência, sendo legalmente defensável. Geralmente requer medições em fontes ou balanço de massa baseados em sites específicos, avaliação de performance de equipamentos e métodos tradicionais de QA para amostragem de fontes devem ser aplicados.	Monitoramento para atendimento de condicionantes legais ou ajuste de conduta.
II	Dados para apoiar o processo de decisão de gestão ou estabelecimento de padrões	Dados locais específicos (ou regionais) são requeridos, mas não necessariamente envolvem medições diretas de fontes ou auditorias sobre performance de equipamentos.	Inventários estaduais de emissão para definição de políticas públicas ou estratégias
III	Dados usados para o desenvolvimento de avaliações gerais ou pesquisa, que não serão usados diretamente para apoiar o processo de decisão ou fins regulatórios	Não necessariamente envolvem medições diretas de fontes, mas muitas vezes incluem dados locais específicos. Métodos de QA são flexibilizados.	Avaliação de efetividade de processos de controle, medidas mitigatórias ou estudos piloto
IV	Inventários compilados a partir de dados já publicados ou outros inventários, não há novas coletas de dados	Flexível e variável.	Inventários desenvolvidos para propósito de coleta de informações, levantamento de tendências e estudo de exequibilidade, tais como inventários regionais de emissão de gases de efeito estufa ou COVs

A diferença principal entre inventário de Nível I e II está no detalhamento da documentação e Indicadores de Qualidade dos Dados (DQIs), que podem ser aceitáveis para um inventário Nível II, porém não aceitáveis para um Nível I.

O Capítulo 3 do Volume 6 do EIIP apresenta diversos métodos para QA, porém estabelece como atividades mínimas para cada nível pretendido os seguintes métodos:

- Verificação de realidade: Responder à pergunta “Isso faz sentido?”. Tem o objetivo de verificar se os resultados obtidos não são fortemente improváveis ou estão se eles dentro de limites considerados razoáveis
- Revisão por pares externos: Revisão independente dos cálculos, hipóteses, metodologias e/ou documentação por um especialista no campo de estudo. É normalmente efetuada por meio da leitura e revisão dos relatórios e documentação do inventário.
- Verificação de cálculo por amostragem: Verificação dos valores obtidos manualmente ou por meio de planilhas eletrônicas para algumas fontes ou conjunto de fontes do inventário.
- Análise de sensibilidade: Analisar como os resultados respondem a mudanças nos parâmetros de entrada dos modelos ou inventário.
- Auditoria externa: Avaliação sistemática das etapas mais importantes do inventário por um auditor externo, com o objetivo de garantir a precisão dos dados do inventário.

A Tabela 2 apresenta os métodos mínimos de recomendados de QA para cada nível de inventário pelo EIIP da US-EPA.

**Tabela 2.** Métodos mínimos de recomendados de atividades de QA para cada nível de inventário. Fonte: Adaptado de US-EPA (1997b).

Método	Nível I	Nível II	Nível III	Nível IV
Verificação de realidade	✓	✓	✓	✓
Revisão por pares externos	✓	✓	✓	✓
Verificação de cálculo por amostragem	✓	✓	✓	
Análise de sensibilidade	✓	✓*		
Auditoria independente	✓	✓*		

\* Nível II pode incluir menos auditorias e/ou diferentes testes de sensibilidade do que o Nível I.

Cada método possui uma função específica, porém métodos diferentes podem ser combinados para cobrir um número maior de funções. Métodos mais complexos tendem a cobrir um maior número de funções, porém envolvem um número maior de horas trabalhadas para realização. A

Tabela 3 apresenta os métodos mínimos recomendados de atividades de QA para cada nível de inventário pelo EIIP e suas funções básicas.

Além do diferente tratamento dado à documentação e procedimentos de QA, os inventários de diferentes níveis requerem maior ou menor refinamento quanto ao tratamento dado às incertezas dos resultados e Indicadores de Qualidade dos Dados (DQIs).

Conforme discutido anteriormente, a qualidade dos dados do inventário é função do uso pretendido. Por exemplo, na preparação de um inventário Nível IV deve-se planejar cálculos de emissão de maneira a aceitar níveis de incerteza maiores do que em inventários Nível I, que devem possuir a melhor qualidade de resultados possível. Entretanto, é importante destacar que nem sempre é possível obter o nível de qualidade desejado. Em alguns casos, o estado-da-arte do conhecimento científico pode não ser suficiente para obter o nível de detalhamento desejado ou em outros casos problemas não antecipados podem atrapalhar a precisão pretendida (por exemplo, disponibilidade de dados, baixo índice de resposta de questionários com pedidos de informação ou outros).

Segundo o EIIP da US-EPA, quando se discute qualidade dos resultados de um inventário, muitas vezes se utiliza a “incerteza” como indicador de qualidade. Tal conceito é muitas vezes associado ao termo “confiança”, que está relacionado à percepção de que o resultado de um modelo ou medição representa adequadamente figuras reais de emissão de uma fonte. Por exemplo, as emissões de uma caldeira determinadas por meio de Monitoramento Contínuo (CEM) são consideradas mais confiáveis que emissões calculadas com base em fatores de emissão AP-42.

O EIIP descreve o termo incerteza como representado por dois tipos de erro nas estimativas de emissão: (i) desvios e (ii) imprecisão. Desvios são normalmente representados como diferenças persistentes entre os valores calculados e os valores reais medidos, sendo normalmente associadas a erros nos modelos de estimativa, parâmetros de entrada nos cálculos ou ainda falhas de medição. Nesse caso, é possível superestimar ou subestimar os valores médios de emissão. Por outro lado, erro de imprecisão é uma diferença randômica que acontece devido à variabilidade (flutuações) de uma mesma fonte ou de uma fonte em relação à outra de um mesmo grupo, por exemplo, um mesmo processo pode apresentar grande variabilidade em sua taxa de emissão ao longo do tempo, gerando valores de emissão instantâneos muito maiores que valores médios de emissão. Dessa forma, é possível identificar três grupos principais de fontes de incerteza em inventários/estimativas de emissões: (i) variabilidade (temporal e entre fontes de uma mesma categoria), (ii) incerteza nos valores dos parâmetros de entrada dos modelos e (iii) incerteza nos modelos ou medições.

**Tabela 3.** Métodos mínimos de recomendados de atividades de QA para cada nível de inventário e suas funções básicas. Fonte: Adaptado de US-EPA (1997b).

Método	Avaliação de razoabilidade dos dados	Avaliação de validade das hipóteses e métodos	Avaliação de correção matemática	Avaliação de qualidade e precisão
Verificação de realidade	✓			
Revisão por pares externos	✓	✓		
Verificação de cálculo por amostragem			✓	
Análise de sensibilidade	✓	✓	✓	
Auditoria independente	✓	✓	✓	✓

Nesse sentido, a Tabela 4 apresenta os métodos preferidos e alternativos recomendados pelo EIIP para qualificar os dados de um inventário de emissões. É importante notar que existem três elementos necessários (avaliação qualitativa, *ranking* e incerteza quantitativa), porém os métodos são diferentes para cada nível de inventário. Adicionalmente, o EIIP informa que os inventários não devem estar restritos apenas aos métodos indicados nessa tabela, mas outros métodos podem ser aplicados/desenvolvidos para situações específicas. Os métodos indicados são considerados como mínimos recomendados pelo EIIP.

Entretanto, a falta de dados pode ser um obstáculo considerável para a estimativa da incerteza de fontes inventariadas. Para esses casos, o EIIP recomenda o uso de métodos de classificação (*ranking*). O método preferido pelo EIIP é um sistema de atribuição de notas entre 0 e 1 denominado *Data Attribute Rating System* (DARS). O DARS (US-EPA, 1996b) lida com quatro fontes principais de erro nos fatores de emissão e nos dados de entrada. Valores numéricos são atribuídos aos dados utilizados para calcular as taxas de emissão, por exemplo, valores medidos possuem DARS maiores que valores baseados em estimativas ou na literatura. Entretanto, é importante ressaltar que o EIIP considera que o DARS lida com o conceito de incerteza de maneira subjetiva (taxas de emissão com maiores valores DARS são consideradas como mais confiáveis), não quantificando a imprecisão ou incerteza da estimativa da taxa de emissão. Por essa razão, o EIIP “encoraja fortemente” que métodos quantitativos sejam utilizados para estimar os intervalos de confiança das emissões.

**Tabela 4.** Métodos preferidos e alternativos recomendados pelo EIIP para qualificar os dados de um inventário de emissões. Fonte: Adaptado de US-EPA (1996a).

	<b>Avaliação qualitativa</b>	<b>Ranking</b>	<b>Incerteza quantitativa</b>
Preferido (Nível I)			Quantificar a faixa de variação das estimativas como um nível de confiança de 90% para todas as fontes.
Alternativo (Nível I ou II)	Fornecer uma avaliação qualitativa da incerteza, abordando o viés e a imprecisão dos principais elementos de dados; indicando a direção do viés e a magnitude relativa da imprecisão sempre que possível. Fornecer quaisquer medidas estatísticas de dispersão de dados que estejam disponíveis.	Para cada fonte dentro do grupo que contribui para os 90% das emissões, fornece uma classificação relativa subjetiva da qualidade da estimativa (DARS).	Quantificar a faixa de variação das estimativas como um nível de confiança de 90% para as 10 principais fontes nas categorias: fontes pontuais, fontes de área, fontes móveis em vias, fontes móveis fora de vias e fontes biogênicas.
Outro método (Nível III)		Classifique as fontes do maior ao menor; fornecer um ranking relativo subjetivo para o maior número possível (DARS).	-
Outro método (Nível IV)		-	-

### 2.3. Análise do inventário de emissões atmosféricas da RGV com base na categorização e premissas EIIP

Com base nas premissas indicadas na seção anterior, é possível classificar o presente inventário como Nível II quanto ao uso pretendido, visto que o uso primário do inventário será subsidiar o processo de decisão e elaboração de políticas públicas. O processo de QA empregado na confecção do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória é consistente com as diretrizes indicadas para pelo EIIP para inventário Nível II.

No contexto da elaboração do inventário, observou-se a presença dos elementos de CQ e Análise Externa desde os estágios iniciais de elaboração do projeto. As atividades de CQ foram primariamente conduzidas pela empresa elaboradora do inventário (EcoSoft). Entretanto, a realização de reuniões periódicas entre o corpo técnico da empresa elaboradora do inventário, IEMA e a equipe técnica responsável pela validação da metodologia empregada (FEST) permitiu a elaboração de uma rotina de avaliações de consistência da metodologia e pontos de documentação durante o processo de desenvolvimento do inventário, apoiando os processos internos de CQ. Adicionalmente, formulações/procedimentos utilizados foram aprovados e padronizados para o cálculo das emissões, atendendo os requisitos de CQ.

Como parte do processo de Análise Externa, a FEST atuou como entidade avaliadora da metodologia empregada e dos resultados obtidos e a empresa Tetra Tech Inc., como auditora externa independente. Dessa forma, FEST e Tetra Tech, sob a coordenação do IEMA, são responsáveis por uma revisão independente para avaliar a qualidade do inventário, contribuindo para o efetivo cumprimento das diretrizes preconizadas pelo EIIP da US-EPA.

Adicionalmente, o presente inventário também atende aos critérios mínimos apresentados pelo EIIP para inventário Nível II quanto ao quesito QA (Tabela 2), incluindo:

- 1) Verificação de realidade;
- 2) Revisão por pares externos;
- 3) Verificação de cálculo por amostragem;
- 4) Análise de sensibilidade;
- 5) Auditoria independente.

Sendo o item 1 realizado pelas equipes técnicas da EcoSoft, FEST e IEMA. O item 2 realizado pela equipe técnica da FEST. Os itens 3 e 5 realizados pela equipe técnica da Tetra Tech. O item 4 realizado pela equipe técnica da EcoSoft, conforme reportado nas reuniões presenciais de acompanhamento.

A documentação também está adequada ao Nível II, pois apresenta as formulações empregadas, escolha de parâmetros e memoriais de cálculo, incluindo o valor DARS de cada fonte inventariada.

Com base nas recomendações previstas pelo EIIP, o único item que não está completamente contemplado pelo presente inventário é o tratamento das incertezas nas estimativas de taxas de emissão. O presente inventário não atende os métodos recomendados ou alternativos previstos pelo EIIP para avaliação qualitativa e quantitativa da incerteza (Tabela 4). Nesse caso, não é possível a avaliação das faixas de variação dos valores estimados com base nos intervalos de confiança das estimativas. Entretanto, conforme recomendado pelo EIIP, nos casos em que a falta de dados é um obstáculo para a estimativa da incerteza de fontes inventariadas, aconselha-se a utilização do DARS como método estimativa de qualidade das emissões. Tal procedimento foi seguido no presente inventário, sendo o valor DARS calculado para as todas as fontes previstas no inventário. A abordagem baseada no DARS não quantifica a imprecisão ou incerteza da estimativa da taxa de emissão calculada, ela fornece um indicador de qualidade da estimativa para cada resultado.

Apesar das limitações apresentadas, o inventário atual representa um grande avanço metodológico em relação ao inventário anterior. Recomenda-se que em futuras revisões seja quantificada a faixa de variação das estimativas como um nível de confiança de 90% para as 10 principais fontes nas categorias: fontes pontuais, fontes de área, fontes móveis em vias, fontes móveis fora de vias e fontes biogênicas, atendendo completamente os requisitos previstos para inventário Nível II da EIIP.

### 3. Análise técnica da metodologia de cálculo das emissões

---

A metodologia utilizada para a quantificação das emissões atmosféricas tem como base o protocolo do *Air Emission Inventory Improvement Program* (EIIP), da *United States Environmental Protection Agency* (US-EPA), conforme discutido no Capítulo 2.

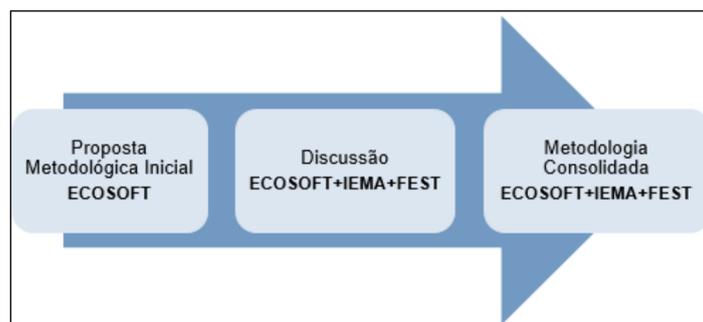
Conforme descrito no relatório do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória, elaborado pela empresa EcoSoft, a proposta metodológica foi baseada em literatura especializada, considerando como referências principais o “AP-42 – *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*” e o “EMEP/EEA *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*”, as quais são nacional e internacionalmente reconhecidas e aplicadas. A partir da proposta inicial, foram realizadas diversas reuniões entre as equipes da EcoSoft, FEST e IEMA, com acompanhamento da Tetra Tech, para discussão e consolidação da abordagem metodológica para estimativa das emissões.

A Figura 1, reproduzida do relatório do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória, elaborado pela empresa EcoSoft, ilustra de maneira resumida o processo de construção/consolidação da metodologia empregada. Nesse processo, a equipe técnica da EcoSoft propôs inicialmente a metodologia para estimativa de medição, sujeita às restrições de tempo, informações e recursos disponíveis. Foram realizadas reuniões entre as equipes da EcoSoft, FEST e IEMA, com acompanhamento da Tetra Tech, para discussão, refinamento e consolidação da abordagem metodológica para estimativa das emissões de cada tipologia de fontes. A partir dessas reuniões temáticas, foram definidas as metodologias empregadas para cada tipologia de fonte.

#### 3.1. Análise geral

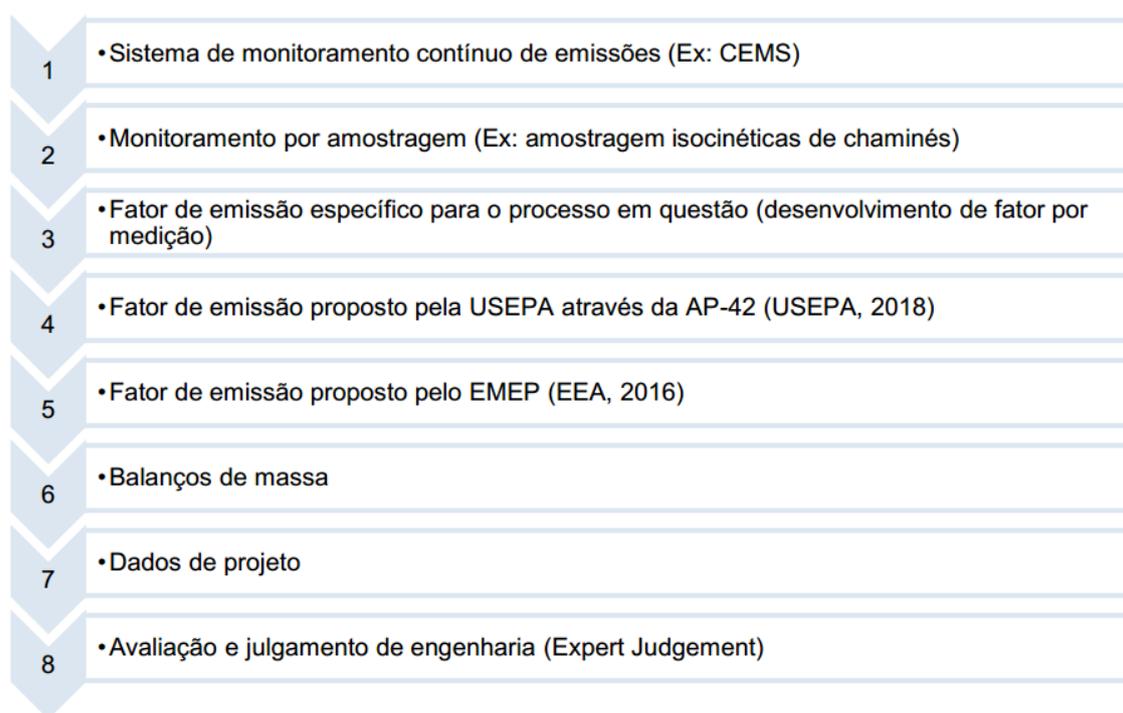
A filosofia básica de execução do inventário consiste em usar as melhores informações disponíveis para a estimativa das emissões, com base nas limitações existentes. Dessa forma, sempre que dados de monitoramento estivessem disponíveis, sua utilização era considerada prioritária. Quando dados de monitoramento eram inexistentes, buscou-se utilizar modelos de estimativa de emissão notadamente reconhecidos internacionalmente e validados, preferencialmente AP-42 da US-EPA, para manter a consistência entre as diversas tipologias de fonte e empreendimento localizados na região. Entretanto, em alguns casos, os fatores de emissão do AP-42 não estavam disponíveis para utilização, buscou-se então abordagens alternativas mantendo-se o maior nível possível de confiabilidade nas estimativas. A Figura 2 apresenta o fluxograma empregado para determinação da abordagem metodológica a ser utilizada na quantificação das emissões, priorizando as fontes de dados mais confiáveis (por exemplo, foram

utilizados dados de monitoramento contínuo para a quantificação das emissões atmosféricas, sempre que disponíveis).



**Figura 1.** Processo de definição da metodologia para estimativa das emissões atmosféricas.

Fonte: EcoSoft (2019)



**Figura 2.** Fluxograma para determinação da abordagem metodológica utilizada na quantificação das emissões. Fonte: EcoSoft (2019)

Nesse contexto, o atual inventário de emissões buscou ser coerente com as recomendações nacionais e internacionais, quer no que diz respeito à contínua revisão e metodologia usada, quer ainda na sua atualização em termos de fatores de emissão e dados das atividades relacionadas. Ressalta-se que o inventário de emissões apresenta informações fundamentais para todo o processo de gestão da qualidade do ar.

O inventário ora apresentado representa um grande avanço sobre o inventário anterior, apresentado em 2010. Além de maior refinamento técnico na apresentação das informações e riqueza de dados utilizados, o inventário atual busca preencher importantes lacunas observadas no inventário anterior. Entretanto, cumpre ressaltar que, apesar das grandes melhorias, alguns pontos ainda podem ser aperfeiçoados, principalmente no que tange às informações disponíveis para a realização dos cálculos de estimativa de emissão.

Nesse contexto, um aspecto extremamente importante na elaboração do inventário é o mecanismo de compartilhamento de informações com as empresas cujas fontes foram inventariadas, que em muitos aspectos limitou a capacidade de execução da empresa contratada para realização do inventário. Em diversos casos, como para a estimativa de emissões de pilhas de estocagem, por exemplo, a falta de informações sobre as características do processo levou a empresa contratada a fazer estimativas sujeitas a um alto grau de incerteza, mas que representavam a melhor conduta operacional com base nas informações disponíveis. Esse mecanismo precisa ser substancialmente melhorado. Recomenda-se que, na próxima atualização, o poder público busque formas alternativas de obtenção dos dados necessários para realização das estimativas de emissões junto às empresas potencialmente poluidoras.

Outro fator relevante é o fato de que qualquer inventário de emissões é limitado por tempo de execução e recursos disponíveis. Conforme citado no capítulo anterior, de acordo com o EIIP da US-EPA, é necessário identificar essas limitações e priorizar os esforços de desenvolvimento para garantir que os recursos limitados sejam gastos com base nas prioridades, objetivando garantir o desenvolvimento do inventário com a melhor qualidade possível/desejada dentro dos recursos disponíveis. Desta forma, algumas metodologias empregadas tiveram sua precisão limitada devido à disponibilidade de recursos para execução. Recomenda-se que, na próxima atualização, busque-se formas de fornecer recursos para melhorar a qualidade das estimativas em alguns pontos críticos.

A falta de informações detalhadas sobre alguns processos introduz significativos níveis de incerteza em algumas estimativas de emissão. Se incertezas elevadas estão associadas a fontes pouco relevantes (baixa contribuição percentual para o total de emissões da região), o impacto sobre a qualidade geral do inventário e prováveis tomadas de decisão com base nas informações levantadas é relativamente baixo. Entretanto, se as incertezas são elevadas em fontes mais relevantes (contribuição percentual significativa para o total de emissões da região), o impacto sobre a qualidade geral do inventário e prováveis tomadas de decisão com base nas informações levantadas pode ser considerável.

Os fatores elencados acima afetam diretamente 2 grupos de fonte de grande importância para a região, a saber ressuspensão em vias de tráfego e pilhas de estocagem. Tais grupos serão discutidos em destaque nas próximas seções devido a sua contribuição percentual significativa para o total de emissões da região.

### 3.2. Avaliação específica: Ressuspensão em vias de tráfego

Conforme indicado na Figura 2, o método preferível de estimativa de emissões é a medição. Uma vez que não havia dados de medição disponíveis, optou-se por utilizar a formulação recomendada pela US-EPA, prevista na AP-42, amplamente aceita e utilizada internacionalmente. A formulação para a estimativa de emissão baseia-se no cálculo do fator de emissão (FE), expresso em g/km ou g/VKT (*Vehicles Kilometers Traveled*), na forma de:

$$FE_i = k_i \cdot sL^{0,91} \cdot W^{1,02} \quad (1)$$

onde  $k_i$  representa uma constante empírica para partículas do tamanho  $i$ ,  $sL$  representa o teor de *silt* da superfície da via [g/m<sup>2</sup>] e  $W$  representa peso médio dos veículos que trafegam na via [t]. Dessa forma, a estimativa do fator de emissão depende teor de *silt* da superfície da via e do peso dos veículos. Enquanto o peso aproximado dos veículos pode ser mais facilmente obtido a partir de dados estatísticos da frota circulante (conforme descrito no relatório do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória, elaborado pela empresa EcoSoft), o teor de *silt* nas vias possui determinação mais complexa. O teor de *silt* na via representa o grau de sujidade superficial e está diretamente associado ao potencial de emissão de partículas pela via. O teor de *silt* em vias de tráfego apresenta uma grande variabilidade, dependendo fortemente das condições locais (tráfego, clima, limpeza das vias, velocidade das vias, etc.).

Conforme reportado na documentação do inventário, para caracterizar esse parâmetro de forma mais representativa na RGV, foram realizadas medições em 22 locais. Entretanto, as medições iniciais da variabilidade dos valores entre vias de mesma classe apontou a necessidade de aumentar o número de pontos de amostragem para reduzir as incertezas nas estimativas de emissão. Tal quesito foi amplamente discutido pelas equipes técnicas da EcoSoft, IEMA e FEST, chegando a consenso geral de que mais pontos de amostragem seriam necessários para reduzir a incerteza das estimativas de emissão. Entretanto, os recursos financeiros disponíveis não permitiam tal ampliação, sendo necessários recursos adicionais para efetivar tal modificação. Uma vez que a execução do inventário estava, também, restrita por requisitos de prazo de elaboração, optou-se por prosseguir a execução do inventário dentro das limitações existentes e propor que o problema em questão fosse indicado para solução na próxima atualização do inventário.

Vias classificadas com a mesma tipologia apresentaram variações consideráveis nos valores medidos dos teores de *silt*, indicando uma grande variabilidade desse parâmetro. A Tabela 5 mostra os valores dos teores de *silt* empregados para cada classe de vias de tráfego, indicando as faixas de variação e intervalo de confiança calculado a partir dos valores medidos. Pode-se observar que os valores mínimos e máximos de *silt* em vias de mesma classe chegam a variar entre 31% e 243% da média para *Freeways*, entre 8% e 415% da média para *Highways* e entre 47% e 209% da média para vias locais e coletoras, ilustrando a grande variabilidade desse parâmetro.

**Tabela 5.** Teor de *silt* utilizado para estimativa das emissões de ressuspensão em vias de tráfego.

Classe da via	Silt [g/m <sup>2</sup> ]	Nº vias	Desvio padrão [g/m <sup>2</sup> ]	Faixa de variação		Intervalo de confiança da média calculada* [g/m <sup>2</sup> ]	
				Mínimo [g/m <sup>2</sup> ]	Máximo [g/m <sup>2</sup> ]	Limite inferior	Limite superior
<i>Freeway</i>	0,26	5	0,22	0,08	0,62	0,09	0,42
<i>Highway</i>	0,61	10	0,78	0,05	2,53	0,21	1,01
<i>Collector + Local</i>	1,94	5	1,29	0,91	4,05	0,99	2,89

\* Nível de confiança de 90%

Considerando a variabilidade das medidas e o número de vias de mesma classe amostradas, foi calculado o intervalo de confiança com nível de confiança de 90% (conforme indicado pela EIIP da US-EPA). Os intervalos de confiança obtidos ficam entre 36% e 164% da média para *Freeways*, entre 34% e 166% da média para *Highways* e entre 51% e 149% da média para vias locais e coletoras. Tais variações nos teores de *silt* podem levar a intervalos de confiança das taxas de emissão entre 40% e 150% da média calculada, indicando grande nível de incerteza nessa estimativa.

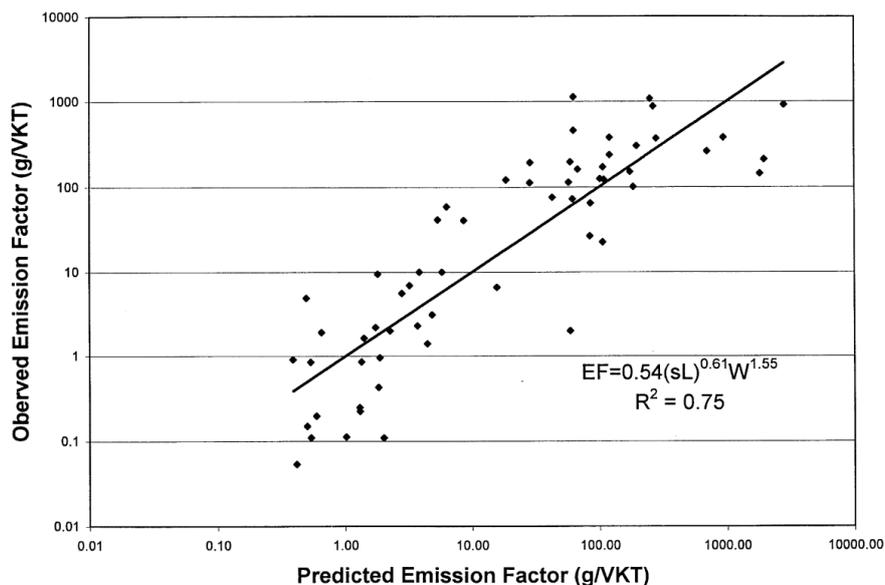
É importante notar que o tamanho da incerteza dessa taxa de emissão (tamanho do intervalo de confiança) é significativamente afetado pelo número de amostras coletadas<sup>1</sup>. Considerando a importância dessa classe de fontes para o inventário da RGV, é extremamente necessário que as próximas revisões do inventário de emissões na RGV incorporem um número de amostragens de vias, caso a AP-42 seja mantida como fórmula de cálculo da emissão.

<sup>1</sup> O tamanho do intervalo de confiança é inversamente proporcional a  $\sqrt{n}$ , onde  $n$  é número de amostras coletadas ou observações.

Além das questões referentes ao número de medições do teor de *silt* nas vias, que foi restrito pela disponibilidade orçamentária, outro ponto digno de discussão é a incerteza referente à própria metodologia da AP-42 empregada. Essa formulação tem sido alvo de críticas por diversos pesquisadores na literatura especializada. Amato et al. (2011) ressalta que essa formulação tem sido criticada por duas principais razões: uma fraca descrição dos mecanismos básicos de emissão (Venkatram 2000, 2001), e inconsistências entre os fatores de emissão estimados e os valores medidos localmente (Zimmer et al., 1992; Kantamaneni et al., 1996; Ashbaugh et al., 1996).

Apesar da ampla utilização do modelo AP-42, A. Venkatram, em seu artigo intitulado “*A critique of empirical emission factor models: a case study of the AP-42 model for estimating PM10 emissions from paved roads*” publicado em uma das principais revistas científicas da área (*Atmospheric Environment*) conclui que o modelo da AP-42, provavelmente, não é capaz de produzir estimativas adequadas das emissões de partículas para ruas pavimentadas, uma vez que é baseado em uma variável (o teor de *silt* ou sujidade da via) que não pode ser medida de maneira inequívoca (de modo a não permitir erro). Outra forte crítica é relativa à hipótese da emissão depender apenas do teor de *silt* e do peso médio dos veículos, enquanto já foi demonstrado por diversos autores que outros fatores influenciam a taxa de emissão (Nicholson, 1988; Nicholson & Branson, 1990), notadamente a velocidade dos veículos.

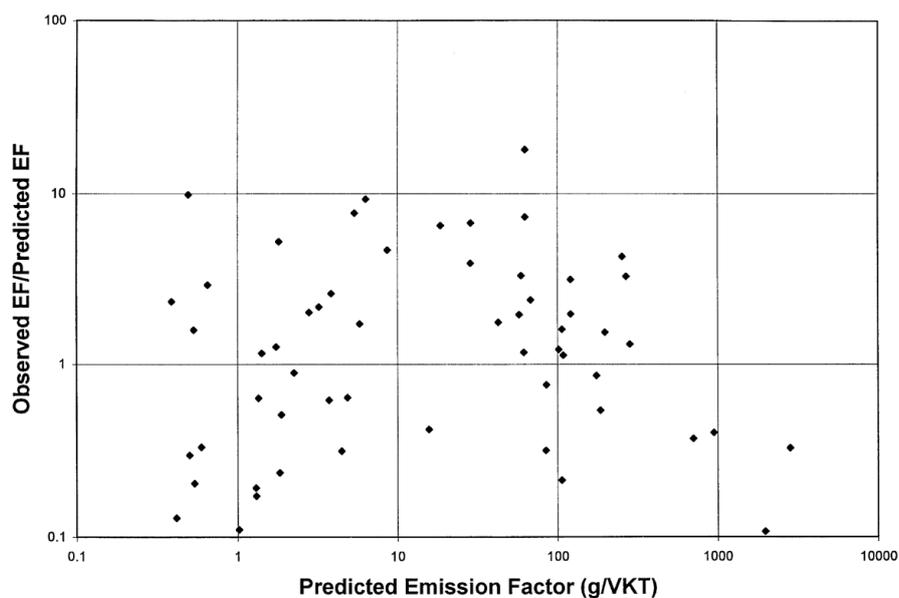
A Figura 3 apresentada por Venkatram (2000) mostra os fatores de emissão preditos pelo modelo AP-42 e os fatores de emissão medidos. Pode-se observar que o modelo explica cerca de 75% da variação das observações, apesar do espalhamento dos dados em relação à linha central de igualdade ser relativamente elevado. Esse espalhamento pode ser observado de maneira mais clara na Figura 4, que mostra a razão entre os fatores de emissão observados e medidos como uma função do teor de *silt* nas vias. Nesta figura, observa-se que para o teor de *silt* igual a 0.5 g/VKT, os valores dos fatores de emissão medidos variam entre 0,1 e 10 vezes o valor do fator de emissão obtido pelo modelo. Zimmer et al. (1992) foram os primeiros autores a avaliarem o modelo AP-42 usando dados medidos de maneira independente dos dados usados para derivar o modelo. No estudo executado em Denver nos EUA, os autores mediram os fatores de emissão e teor de *silt* em diversos tipos de vias. A Figura 5 mostra a variação do fator de emissão em função do teor de *silt*, pode-se observar que o teor de *silt* explica apenas 20% da variação do fator de emissão medido. Além disso, a curva de variação do fator de emissão medido em função do teor de *silt* na via é significativamente diferente da formulação empregada pelo modelo AP-42.



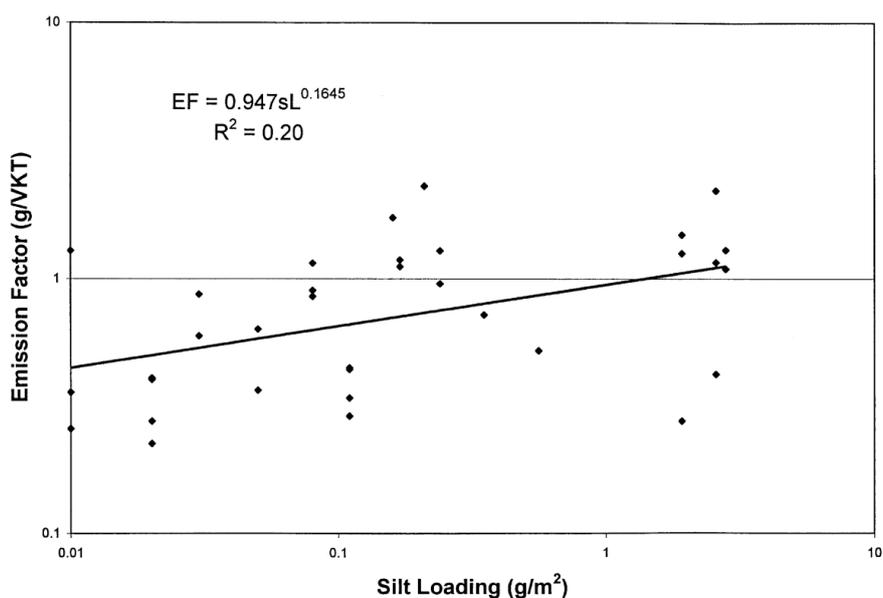
**Figura 3.** Comparação entre fatores e emissão preditos pelo modelo AP-42 e fatores de emissão medidos. EF é o fator de emissão (g/VKT) onde VKT é a distância em quilômetros percorrida pelo veículo, sL corresponde ao teor de *silt* (g/m<sup>2</sup>), e W representa o peso médio dos veículos (toneladas). Fonte: Venkatran (2000).

Entretanto, é importante ressaltar que apesar das suas limitações, o modelo de ressuspensão em vias ainda é o melhor instrumento indicado pela US-EPA e foi selecionado para utilização neste trabalho pela sua grande aceitação internacional. As limitações indicadas devem enfatizar a importância de que os resultados obtidos devem ser analisados com extrema cautela, visto que algumas estimativas em algumas vias podem apresentar desvios de ordens de grandeza em relação aos dados experimentais, conforme reportado por Venkatran (2000), e as incertezas obtidas com o número atual de amostragens é bastante significativa. Mesmo com essas prováveis fontes de incerteza, os valores médios de emissão são dignos de nota e são suficientes para indicar que políticas/estratégias específicas para o controle dessa tipologia de fontes devem ser desenvolvidas para região, visto que esse é um problema bastante significativo.

Versões futuras do inventário devem discutir abordagens alternativas para lidar com essa classe de fontes, seja pelo aumento do número de pontos de amostragens para as medições de teor de *silt* ou pela busca de outras metodologias de quantificação da taxa de emissão.



**Figura 4.** Razão entre os fatores de emissão observados e medidos em função do teor de *silt* nas vias. Fonte: Venkatran (2000)



**Figura 5.** Fatores de emissão em função do teor de *silt* em vias medidos por Zimmer et al. 1992). Fonte: Venkatran (2000)

### 3.3. Avaliação específica: Pilhas de estocagem

A estimativa apresentada no presente inventário mostrou um avanço considerável em relação ao estudo anterior devido à forma como os principais parâmetros de entrada foram correlacionados com as atividades industriais poluidoras. Entretanto, o modelo da US-EPA empregado para estimativa das emissões devido à erosão eólica de pilhas de estocagem apresenta uma série de limitações por se basear em fatores idealizados e de complexa associação com a dinâmica dos

pátios de estocagem. Ao ser aplicado em uma situação real e complexa, fornece resultados com elevado grau de incerteza. Os dados de entrada com maior incerteza e maior influência sobre a taxa de emissão são: (i) número de distúrbios de cada pilha ao longo do tempo, (ii) velocidade de fricção limite e (iii) eficiência das tecnologias de controle empregadas pelas empresas.

Conforme citado anteriormente, um aspecto extremamente importante na elaboração do inventário é o mecanismo de compartilhamento de informações com as empresas cujas fontes foram inventariadas, que em muitos aspectos limitou a capacidade de execução da empresa contratada para realização do inventário. A falta de informações detalhadas sobre alguns processos introduz significativos níveis de incerteza em algumas estimativas de emissão.

O número de distúrbios representa cada um dos eventos de renovação da superfície devido à manipulação de material (empilhamento ou recuperação). A metodologia adotada para estimar o número de distúrbios se baseia no cálculo do número de pilhas formadas e na quantidade de manipulações realizadas nas pilhas (com base na capacidade de estocagem das pilhas e a quantidade de material movimentado nos pátios em um ano). O procedimento resultou em um valor médio que representa aproximação os dados reais de novos eventos de erosão, sendo uma estimativa razoável diante dos dados disponíveis. Entretanto, a ausência de documentação do número de distúrbios das pilhas introduz uma incerteza significativa nas taxas de emissão estimadas para pilhas, visto que a taxa de emissão depende linearmente do número de distúrbios. Desta forma, erros de 20% ou 30% na estimativa do número de distúrbios levam a erros de 20% ou 30% na estimativa das taxas de emissão. De fato, o procedimento ideal seria documentar o número de perturbações, o intervalo entre perturbações e a fração da área perturbada em cada pilha. Idealmente, deveria ser possível correlacionar o intervalo de tempo em que houve a manipulação da superfície exposta ao vento com o vento de rajada para o mesmo período.

A velocidade de fricção limite corresponde ao valor da velocidade de fricção do escoamento de ar (vento) sobre a superfície das pilhas a partir da qual ocorre a emissão de partículas. A velocidade de fricção limite é intrínseca ao material e à sua distribuição de tamanhos de partículas. Assim, é recomendado que, futuramente, sejam realizados procedimentos experimentais de obtenção da distribuição dos tamanhos das partículas para o material granulado seco e não tratado.

Os valores de eficiência de controle das emissões empregados no inventário estão de acordo com os valores internacionais de referencia. Entretanto, a eficiência de controle das emissões relativas às tecnologias de controle comumente utilizadas pelas empresas na RGV é muito sensível à instalação e operação dessas tecnologias. Por exemplo, a eficiência de controle de uma barreira porosa (*wind fence*) ou barreira vegetal (cinturão verde) é extremamente dependente do seu posicionamento em relação ao pátio de estocagem e, portanto, a generalização de um valor único

de eficiência implica em elevadas incertezas para a estimativa da emissão. Recomenda-se que os empreendimentos que apresentaram as maiores emissões devido à erosão de pilhas de estocagem e que possuam (ou pretendem implantar) barreiras porosas ou vegetais realizem campanhas de medição da atenuação do vento. Além disso, a eficiência de controle por meio da aspersão de água e/ou produtos químicos aspergidos sobre a superfície das fontes difusas é dependente da concentração de produto químico e da quantidade de solução aplicada.

É importante observar que pequenas variações na eficiência de controle podem produzir consideráveis variações nas estimativas de emissão. Por exemplo, a taxa de emissão de material particulado total para a ArcelorMittal desconsiderando os controles existentes foi de aproximadamente 43 kg/h, ao passo que para a Vale foi de aproximadamente 275 kg/h. Após a consideração da existência de cinturão verde e aplicação de supressores para a ArcelorMittal Tubarão e de barreiras artificiais de vento (*wind fences*) para a Vale os valores efetivamente utilizados no compilado de emissões do inventário foi de 5,4 kg/h e 26,4 kg/h, respectivamente. Isso significa que na empresa Vale, por exemplo, a contribuição das pilhas de estocagem representam 4,8% das emissões do setor minero-siderúrgico considerando se a eficiência de controle estimada, enquanto esse percentual seria igual a 23,8% desconsiderando se a eficiência do controle. Assim, a incerteza associada a eficiência de controle das emissões nas pilhas de estocagem pode alterar significativamente a contribuição relativa dessa tipologia de fonte. Recomenda-se a realização de ensaios experimentais para estimativa do incremento observado na velocidade de fricção limite devido à ação dos tratamentos de superfície.

É importante enfatizar que o resultado não deve ser utilizado como dado de entrada de modelos de dispersão, segundo a recomendação da US-EPA. O resultado do modelo é a emissão em quilogramas para o intervalo entre distúrbios. Entende-se que o cálculo da taxa de emissão em kg/h seguindo a metodologia adotada é aceitável para efeitos de comparação com as demais fontes do inventário. Porém, a utilização do resultado de taxa de emissão para pilhas de estocagem em modelos de dispersão deve ser feita com cautela e para cada um dos menores intervalos entre distúrbios calculados.

A recomendação geral para essa tipologia de fonte é que sejam incentivadas iniciativas de fomento ao desenvolvimento de técnicas de monitoramento experimental de emissão, melhor documentação do manuseio de pilhas por parte das empresas e um refinamento da metodologia considerando as particularidades dos pátios de estocagem na RGV.

## 4. Análise dos resultados

---

As emissões atmosféricas foram apresentadas de forma subdivida em emissões industriais e outras atividades e emissões urbanas. As emissões industriais e outras atividades envolvem as indústrias minero-siderúrgica, alimentícia, de produtos minerais e químicos, além das atividades de logística (portos e aeroportos), construção civil, estoque de combustível, aterros sanitários e outras de menor porte que consideradas em conjunto são significativas. As emissões urbanas envolvem as emissões em vias de tráfego que incluem as emissões veiculares (queima de combustíveis, evaporação de compostos orgânicos voláteis, desgaste de pneus, freios e pavimento da via) e a ressuspensão de partículas nas vias, além das emissões residenciais e comerciais com consumo de gás natural e de gás liquefeito de petróleo, e uso de solventes, desinfetantes, detergentes entre outros.

Uma análise de consistência com os resultados do inventário anterior foi realizada, na qual foi possível observar que ocorreram algumas variações significativas das taxas de emissão entre as reportadas no inventário atual e as apresentadas pelo último inventário. Além disso, fontes não inventariadas anteriormente foram incluídas, como foi o caso da construção civil. Entre o inventário de anos base 2009-2010 e o inventário atual (ano base 2015), ocorreram mudanças significativas na frota veicular, em processos de controle de emissão, matriz energética e nos próprios processos de produção de varias empresas, tais como a instalação da *wind-fence* em pátios de estocagem da empresa Vale ou a mudança de processo de fabricação da empresa Fortlev, que impactaram positivamente as taxas de emissão de material particulado e COVs dessas empresas, respectivamente. Esses fatores foram os principais responsáveis pelas alterações nos resultados de emissão de diversas fontes.

Entretanto, também, foi identificado que em diversos casos a metodologia de estimativa de emissões foi responsável pelas diferenças encontradas. Em 2010, muitos dados de emissão foram autodeclarados pelas próprias empresas ou extraídos diretamente dos processos de licenciamento. Enquanto que no inventário atual optou-se por fazer um levantamento mais pormenorizado e, principalmente, baseado em estimativas AP-42, de maneira a garantir uniformidade no tratamento das diversas fontes emissoras e o uso de uma metodologia internacionalmente aceita. As principais variações foram identificadas, analisadas e discutidas em reunião entre as equipes técnicas da EcoSoft, IEMA e FEST, sendo estas identificadas como mudanças em processos de controle de emissão, matriz energética, processos de produção e/ou alteração da metodologia de cálculo das emissões.

Os resultados quantitativos de emissão e uma divisão das principais fontes e responsáveis é apresentada no relatório do inventário. Neste texto, serão apenas apresentados breves comentários sobre a importância relativa de cada grupo nas emissões de poluentes na região, sendo dada maior ênfase será dada aos aspectos ligados à qualidade das estimativas, principalmente nos casos das estimativas de emissão com maiores contribuições para a região.

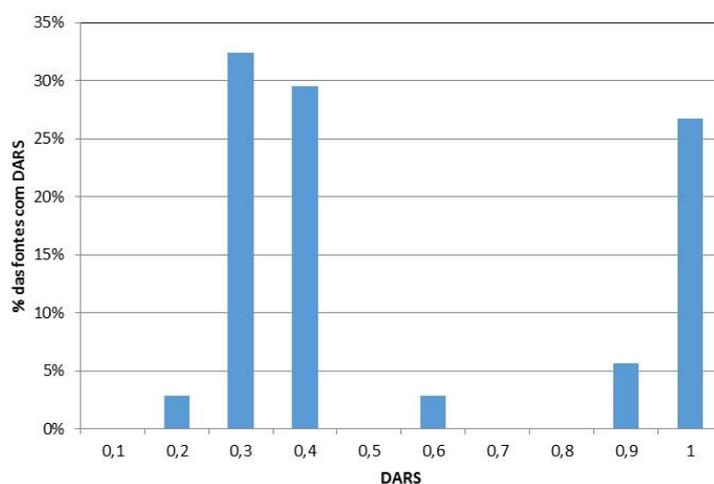
#### *Dióxido de enxofre*

Cerca de 88% das emissões de dióxido de enxofre provenientes de fontes industriais são relativas às indústrias minero-siderúrgicas. Dentre esses 88%, 38% são provenientes da empresa Vale (DARS médio 0,8), 32% da empresa ArcelorMittal Tubarão (DARS médio 0,7), 18% da empresa Arcelor Heat Recovery (antiga Sol Coqueria) (DARS médio 0,5), 4% do setor de logística (principalmente da Companhia Portuária de Vila Velha e do Terminal Portuário de Vila Velha com DARS médio igual a 0,3) e 7% do grupo denominado outros. Nesse grupo outros, a empresa Tevisa Termoelétrica em Viana representa cerca de 90% dessas emissões (DARS igual a 0,9 para as chaminés principais dos geradores). As emissões urbanas de dióxido de enxofre são principalmente de origem veicular (DARS médio cerca de 0,3), mas são pouco significantes comparadas as emissões industriais.

Uma análise dos valores DARS para as estimativas de emissão deste poluente mostram que as grandes fontes de emissão possuem valores de DARS razoavelmente elevados, pois uma parcela significativa destas fontes apresenta monitoramento contínuo. Entretanto, é importante salientar que uma média simples dos valores DARS para as emissões não é o melhor indicador da qualidade dos resultados, visto que não considera o maior peso das emissões de fontes maiores. Um indicador mais adequado para a qualidade geral da estimativa seria uma média ponderada pela taxa de emissão estimada. Uma análise baseada na média simples permite apenas um indicativo mais simplificado de qualidade. Neste documento a média ponderada não foi aplicada devido à complexidade de processamento de dados, uma vez que os resultados fornecidos de estimativas de emissão e DARS não foram apresentados na mesma base de dados dificultando a análise conjunta.

A Figura 6 apresenta uma distribuição de frequência dos valores de DARS para os tipos de fontes das principais emissoras da região, dentre os tipos de fontes inventariadas o percentual em cada faixa de valor DARS entre 0,1 e 1,0. Nestes casos fontes com medição contínua ou próxima de contínua do poluente considerado (dados obtidos > 90%) possuem DARS igual a 1,0. Fontes com monitoramento periódico baseados em amostragens isocinéticas possuem DARS mais próximos de 0,5 dependendo da confiabilidade dos dados, variabilidade do processo e periodicidade de medições. Estimativas baseadas em fatores de emissão possuem usualmente DARS abaixo de 0,5,

dependendo da precisão dos fatores de emissão AP-42, da precisão e variabilidade dos dados disponíveis sobre o processo gerador de emissões.



**Figura 6.** Distribuição de frequência dos valores de DARS para os tipos de fontes das principais emissoras de SO<sub>2</sub> da região.

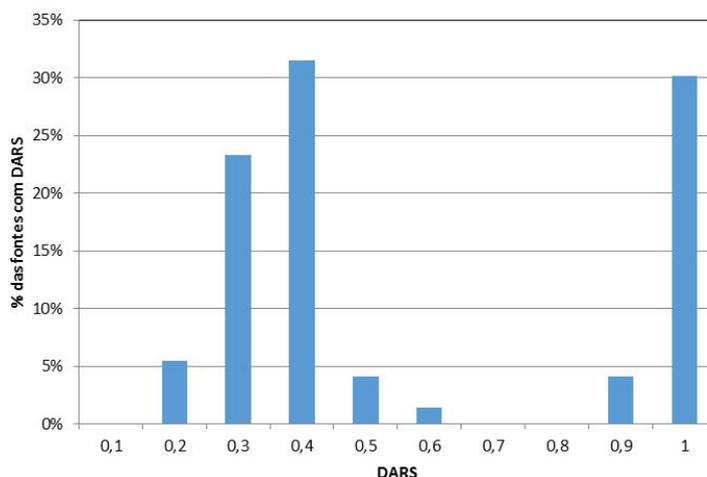
Pode-se observar que existe um grande número de fontes com DARS entre 0,3 e 0,4. Tais fontes foram provavelmente determinadas com base em fatores de emissão. Entretanto observa-se que a média das principais fontes de emissão é significativamente próxima a 1,0, indicando que as estimativas de emissão deste poluente mostram que as grandes fontes de emissão possuem valores de DARS razoavelmente elevados, pois uma parcela significativa dessas fontes apresenta monitoramento contínuo. Isso indica que as estimativas para essas emissões provavelmente possuem qualidade razoavelmente elevada.

#### *Óxidos de nitrogênio*

Cerca de 74% das emissões de óxidos de nitrogênio provenientes de fontes industriais são relativas às indústrias minero-siderúrgicas. Dentre esses, 60% são provenientes da empresa Vale (DARS médio 0,8), 11% da empresa ArcelorMittal Tubarão (DARS médio 0,6), 7% do setor logístico (principalmente da Companhia Portuária de Vila Velha, do Terminal Portuário de Vila Velha e da Companhia Docas do Espírito Santo com DARS médio igual a 0,35) e 18% do grupo denominado outros, sendo desse último 96% provenientes da empresa Tevisa Termoeletrica (DARS igual a 0,9 para as chaminés principais dos geradores). Dentre as emissões urbanas, cerca de 98% são provenientes das emissões veiculares (DARS médio cerca de 0,3). Entretanto, as emissões industriais de óxidos de nitrogênio são 5,4 vezes maiores que as emissões urbanas.

A Figura 7 apresenta uma distribuição de frequência dos valores de DARS para os tipos de fontes das principais emissoras da região, dentre os tipos de fontes inventariadas o percentual em cada

faixa de valor DARS entre 0,1 e 1,0. Pode-se observar que existe um grande número de fontes com DARS entre 0,3 e 0,4. Tais fontes foram provavelmente determinadas com base em fatores de emissão. Entretanto, observa-se que cerca 30% das fontes possuem DARS próximo de 1,0. Os valores médios de DARS para as fontes dos principais emissores não foram tão elevados quando aqueles apresentados para SO<sub>2</sub>, indicando que um número maior de fontes emissões foi estimado.



**Figura 7.** Distribuição de frequência dos valores de DARS para os tipos de fontes das principais emissoras de NO<sub>x</sub> da região.

#### *Monóxido de carbono*

Cerca de 97% das emissões industriais são provenientes das indústrias minero-siderúrgicas. Mais de 99% das emissões urbanas são veiculares. Entretanto, as emissões urbanas são cerca de 16 vezes menores que as industriais.

#### *Compostos orgânicos voláteis*

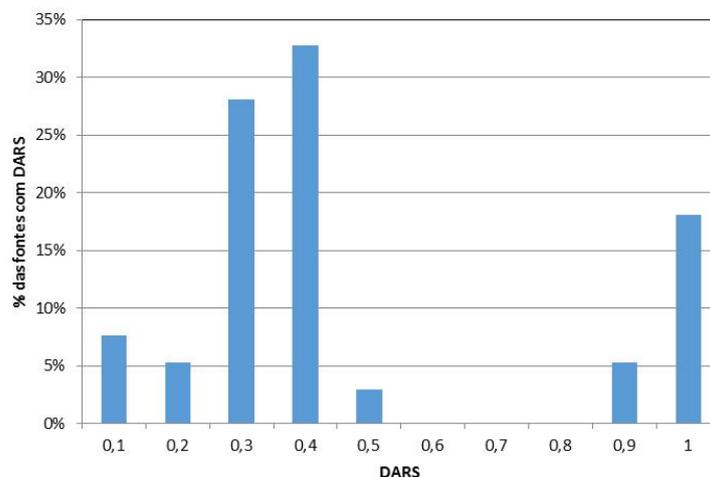
Cerca de 47% das emissões industriais de COV são provenientes das indústrias minero-siderúrgicas e 30% provenientes do estoque e distribuição de combustíveis. Dentre as emissões urbanas, 59% são provenientes de emissões residenciais e comerciais e 41% de emissões veiculares. Nesse caso, as emissões urbanas são cerca de 2 vezes maiores que as emissões industriais. Do total de COV emitido, 29% é proveniente da empresa Vale, 21% dos postos de abastecimento, 8,3% da Bavit (Petrobrás), 8,1% da ArcelorMittal Tubarão e 6,9% da Oiltanking Terminais Ltda.

#### *Material particulado*

Conforme reportado no inventário de emissões, as quatro maiores fontes industriais de material particulado total são as indústrias minero-siderúrgica (68%) e de produtos minerais (principalmente, Brasitália, Incesa, Biancogrês, Roda Brasil, Sobrita e Lhoist perfazendo 11%

com DARS médio igual a 0,3), a construção civil (7,4%, com DARS médio igual a 0,3 para construção de edificações e 0,1 para obras em rodovias) e o setor logístico (principalmente, a Companhia Docas do espírito Santo, o Aeroporto Eurico Sales de Aguiar, o Terminal Portuário de Vila Velha e a Companhia Portuária de Vila Velha perfazendo 5,5% com DARS médio igual a 0,3). As frações de material particulado inferior a 10  $\mu\text{m}$  e 2,5  $\mu\text{m}$  seguem a mesma tendência com cerca de 70% das suas emissões industriais relativas às indústrias minero-siderúrgicas.

A Figura 8 apresenta uma distribuição de frequência dos valores de DARS para os tipos de fontes das principais emissoras da região, dentre os tipos de fontes inventariadas o percentual em cada faixa de valor DARS entre 0,1 e 1,0. Pode-se observar que existe um grande número de fontes com DARS abaixo de 0,4. Tais fontes foram provavelmente determinadas com base em fatores de emissão. O número médio DARS dos principais emissores é significativamente menor do que aqueles apresentados para  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ , indicando que um número maior de fontes emissões foi estimado. Entretanto, mais importante do que o número de fontes, são as fontes com grande importância na região, tais como ressuspensão em vias, pilhas de estocagem ou construção civil apresentam DARS significativamente baixos de 0,3, 0,1 e 0,3, respectivamente.



**Figura 8.** Distribuição de frequência dos valores de DARS para os tipos de fontes das principais emissoras de material particulado da região.

A inclusão da fonte construção civil no inventário atual de fontes representa significativo avanço para a análise das emissões de material particulado na RGV. O uso de fatores de emissão preconizados, por exemplo, pela US-EPA foi inviável visto que a tecnologia empregada em construções nos EUA é bastante diferente daquela empregada no Brasil. A fonte construção civil foi subdividida em construção de edificações e obras em rodovias. A construção de edificações é responsável por 88% das emissões da construção civil (DARS médio igual a 0,3) e as obras em

rodovias representam apenas 12% (DARS médio igual a 0,1). No município de Vila Velha ocorreram as maiores emissões devido a construção de edificações (61%).

A empresa ArcelorMittal Tubarão representa 39% das emissões minero-siderúrgicas, a Arcelor Heat Recovery representa 14% dessas emissões e a empresa Vale 44%. Dentre as fontes de material particulado da empresa ArcelorMittal Tubarão, as vias (DARS 0,3), precipitadores eletrostáticos das chaminés principal e secundária (DARS 1,0), transferências (DARS 0,4), centrais termelétricas (DARS 1,0), chaminé da coqueria (DARS cerca de 1,0), filtro de mangas secundário (DARS 0,3) e navios (DARS 0,3) (indicadas em ordem de importância) representam cerca de 75% das suas emissões totais. A fonte vias apresenta a maior emissão, mas apresenta o menor valor do indicador DARS cerca de 0,3. O máximo valor DARS (1,0) foi encontrado para as fontes associadas aos precipitadores eletrostáticos das chaminés principal e secundária, chaminés da coqueria e centrais termelétricas.

Dentre as fontes de material particulado da empresa Vale, as maiores emissões em chaminés correspondem às chaminés de maior porte que compreendem as chaminés principal, secundária e de despoeiramento (totalizando 195,87 kg/h). Os valores do indicador DARS para essas chaminés são bastante elevados (1,0 ou próximos de 1,0). Entretanto, para essas mesmas chaminés, o valor DARS é em torno de 0,5 para material particulado com granulometria inferior a 10  $\mu\text{m}$  e 2,5  $\mu\text{m}$ .

Os percentuais de contribuição das fontes das indústrias minero-siderúrgicas relativamente às emissões industriais apresentados acima incluem as emissões relativas à erosão eólica das pilhas de estocagem considerando seus respectivos mecanismos de controle de emissão. Nesse contexto, a empresa Vale emite 386,62 kg/h de material particulado e a empresa ArcelorMittal Tubarão emite 345,22 kg/h. Entretanto, os valores de eficiência do controle das emissões em pilhas foram estimados com base na literatura e, portanto, podem não ser representativas da realidade nos pátios das indústrias levando, assim, a maior contribuição real das indústrias minero-siderúrgicas relativamente às emissões industriais.

As limitações da metodologia empregada para emissões relativas à erosão eólica das pilhas de estocagem aliadas aos resultados apresentados se refletem no coeficiente igual a 0,1 obtido com a metodologia DARS. Pode-se notar que, tanto o fator de emissão quanto às informações da atividade poluidora, são responsáveis pelos altos valores de incerteza. Com relação ao fator de emissão, esse não permite representar de forma acurada a variabilidade espacial e temporal intrínseco às fontes difusas. Com relação à atividade poluidora, os dados de movimentação dos materiais nos pátios e o cálculo do número de distúrbios são baseados em observações simplificadas e ausência de representatividade espacial e temporal. Sendo esta classe de fontes uma das mais importantes recomenda-se a revisão em versões futuras do inventário.

Dentre as emissões urbanas, 99,5% correspondem a ressuspensão de partículas em vias de tráfego. A ressuspensão de partículas em vias representa um complexo acoplamento entre a poluição gerada por veículos automotores e outras fontes de poluição, incluindo fontes industriais, visto que a composição química das partículas presentes na ressuspensão de vias apresenta componentes ligados a solos e partículas presentes em emissões industriais e outras fontes, conforme identificado em estudos anteriores sobre a composição das partículas sedimentadas na RGV. De fato, as partículas relacionadas à ressuspensão em vias possuem elevados níveis de alumínio e silício, que são típicos da composição química do solo, mas possuem níveis mais elevados de sódio, cloro, magnésio, enxofre, potássio, ferro e cálcio que as amostras de solo da região (Santos et al, 2017). Tais elementos químicos podem ser relacionados a aerossol marinho, solo, emissões veiculares, construção civil e a fontes industriais da região.

Convém ressaltar que esta emissão está distribuída em uma área de aproximadamente 1447 km<sup>2</sup> e não concentrada pontualmente como emissões industriais, por exemplo. Entretanto, as taxas de emissão são significativamente elevadas, mesmo quando comparado a outros centros urbanos, tais como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife (Andrade et al., 2012), Nova Delhi-Índia (Guttikunda e Calori, 2013), Barcelona-Espanha (Amato et al., 2009) e Paris-França (Amato et al., 2016).

Conforme citado no Capítulo 3, é importante ressaltar que apesar das suas limitações, o modelo de ressuspensão em vias ainda é o melhor instrumento indicado pela US-EPA e foi selecionado para utilização neste trabalho pela sua grande aceitação internacional. As limitações da metodologia enfatizam a importância de que os resultados obtidos devem ser analisados com extrema cautela, visto que algumas estimativas em algumas vias podem apresentar desvios de ordens de grandeza em relação aos dados experimentais, conforme reportado por Venkatran (2000), e as incertezas obtidas com o número atual de amostragens é bastante significativa. Somente a variabilidade relacionada às medições do teor de *silt* nas vias levam uma variação dos valores médio de emissão entre 40% e 150% da média calculada. Mesmo com essas prováveis fontes de incerteza, os valores médios de emissão são dignos de nota e são suficientes para indicar que políticas/estratégias específicas para o controle dessa tipologia de fontes devem ser desenvolvidas para região, visto que esse é um problema bastante significativo. Porém análises comparativas com outras classes de fonte emissoras devem ser realizadas com extrema cautela devido aos níveis de incerteza envolvidos, que dificultam uma comparação direta.

## 5. Conclusões e recomendações

---

### *Conclusões*

O atual inventário de emissões buscou ser coerente com as recomendações nacionais e internacionais, quer no que diz respeito à contínua revisão e metodologia usada, quer ainda na sua atualização em termos de fatores de emissão e dados das atividades relacionadas. Ressalta-se que o inventário de emissões apresenta informações fundamentais para todo o processo de gestão da qualidade do ar, sendo que a sua atualização e melhoria permitirá, ao órgão ambiental responsável pela fiscalização e controle das emissões.

A filosofia básica de execução do inventário consiste em usar as melhores informações disponíveis para a estimativa das emissões, com base nas limitações existentes. Dessa forma, sempre que dados de monitoramento estavam disponíveis, sua utilização foi considerada prioritária. Na situação de dados de monitoramento inexistentes, buscou-se utilizar modelos de estimativa de emissão notadamente reconhecidos internacionalmente e validados, preferencialmente AP-42 da US-EPA, para manter a consistência entre as diversas tipologias de fonte e empreendimento localizados na região. Entretanto, em alguns casos, os fatores de emissão do AP-42 não estavam disponíveis para utilização, buscou-se então abordagens alternativas mantendo-se o maior nível possível de confiabilidade nas estimativas.

O processo de QA empregado na confecção do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória é consistente com as diretrizes indicadas para pelo EIIP para inventário Nível II. No contexto da elaboração do inventário, observou-se a presença dos elementos de CQ e Análise Externa desde os estágios iniciais de elaboração do projeto. Como parte do processo de Análise Externa, a FEST atuou como entidade avaliadora da metodologia empregada e dos resultados obtidos e a empresa Tetra Tech Inc., como auditora externa independente. Dessa forma, FEST e Tetra Tech, sob a coordenação do IEMA, são responsáveis por uma revisão independente para avaliar a qualidade do inventário, contribuindo para o efetivo cumprimento das diretrizes preconizadas pelo EIIP da US-EPA. A documentação também está adequada ao Nível II, pois apresenta as formulações empregadas, escolha de parâmetros e memoriais de cálculo, incluindo o valor DARS de cada fonte inventariada. Com base nas recomendações previstas pelo EIIP, o único item que não está completamente contemplado pelo presente inventário é o tratamento das incertezas nas estimativas de taxas de emissão.

Uma análise de consistência com os resultados do inventário anterior foi realizada, na qual foi possível observar que ocorreram algumas variações significativas das taxas de emissão entre as reportadas no inventário atual e as apresentadas pelo último inventário. Entre o inventário de anos

base 2009-2010 e o inventário atual (ano base 2015), ocorreram mudanças significativas na frota veicular, em processos de controle de emissão, matriz energética e nos próprios processos de produção de varias empresas. Estes fatores foram os principais responsáveis pelas alterações nos resultados de emissão de diversas fontes. Entretanto, também, foi identificado que em diversos casos a metodologia de estimativa de emissões foi responsável pelas diferenças encontradas. Em 2010, muitos dados de emissão foram autodeclarados pelas próprias empresas ou extraídos diretamente dos processos de licenciamento. Enquanto que no inventário atual optou-se por fazer um levantamento mais pormenorizado e, principalmente, baseado em estimativas AP-42, de maneira a garantir uniformidade no tratamento das diversas fontes emissoras e o uso de uma metodologia internacionalmente aceita.

### *Recomendações*

Conforme citado anteriormente, o inventário ora apresentado representa um grande avanço sobre o inventário anterior, apresentado em 2010. Entretanto, cumpre ressaltar que, apesar das grandes melhorias, alguns pontos ainda podem ser aperfeiçoados, principalmente no que tange às informações disponíveis para a realização dos cálculos de estimativa de emissão.

1. Recomenda-se que em futuras revisões seja quantificada a faixa de variação das estimativas como um nível de confiança de 90% para as 10 principais fontes nas categorias: fontes pontuais, fontes de área, fontes móveis em vias, fontes móveis fora de vias e fontes biogênicas, atendendo completamente os requisitos previstos para inventário Nível II da EIIP. Se incertezas elevadas estão associadas a fontes pouco relevantes (baixa contribuição percentual para o total de emissões da região), o impacto sobre a qualidade geral do inventário e prováveis tomadas de decisão com base nas informações levantadas é relativamente baixo. Entretanto, se as incertezas são elevadas em fontes mais relevantes (contribuição percentual significativa para o total de emissões da região), o impacto sobre a qualidade geral do inventário e prováveis tomadas de decisão com base nas informações levantadas pode ser considerável. Desta forma, torna-se extremamente importante conhecer as incertezas das estimativas de emissão para cada fonte, principalmente aquelas responsáveis pela maior parte das emissões.
2. Um aspecto extremamente importante na elaboração do inventário é o mecanismo de compartilhamento de informações com as empresas cujas fontes foram inventariadas, que em muitos aspectos limitou a capacidade de execução da empresa contratada para realização do inventário. Em diversos casos, como para a estimativa de emissões de pilhas de estocagem, por exemplo, a falta de informações sobre as características do processo levou a empresa contratada a fazer estimativas sujeitas a um alto grau de incerteza, mas que representavam a melhor conduta operacional com base nas informações

disponíveis. Esse mecanismo precisa ser substancialmente melhorado. Recomenda-se que, na próxima atualização, o poder público busque formas alternativas de obtenção dos dados necessários para realização das estimativas de emissões junto às empresas potencialmente poluidoras.

3. Versões futuras do inventário devem discutir abordagens alternativas para lidar com as estimativas de emissão de partículas ligadas a ressuspensão em vias, seja pelo aumento do número de pontos de amostragens para as medições de teor de *silt* ou pela busca de outras metodologias de quantificação da taxa de emissão. Conforme discutido detalhadamente nos capítulos anteriores, é importante ressaltar que apesar das limitações do modelo AP-42, ele ainda é o melhor instrumento indicado pela US-EPA e foi selecionado para utilização neste trabalho pela sua grande aceitação internacional. Porém as limitações indicadas devem enfatizar a importância de que os resultados obtidos devem ser analisados com extrema cautela, visto que algumas estimativas em algumas vias podem apresentar desvios de ordens de grandeza em relação aos dados experimentais, conforme reportado por Venkatran (2000), e as incertezas obtidas com o número atual de amostragens é bastante significativa.
  
4. As limitações da metodologia que foram discutidas aliadas aos resultados apresentados se refletem no valor DARS igual a 0,1. Pode-se notar que, tanto o fator de emissão quanto as informações da atividade poluidora, são responsáveis pelos altos valores de incerteza dessa metodologia. Com relação ao fator de emissão, esse não permite representar de forma acurada a variabilidade espacial e temporal intrínseco às fontes difusas. Com relação à atividade poluidora, os dados de movimentação dos materiais nos pátios e o cálculo do número de distúrbios são baseados em observações simplificadas e ausência de representatividade espacial e temporal. A recomendação geral para a estimativa das emissões devido a erosão eólica em pilhas de estocagem é que sejam incentivadas iniciativas de fomento ao desenvolvimento de técnicas de monitoramento experimental de emissão, melhor documentação do manuseio de pilhas por parte das empresas e um refinamento da metodologia considerando as particularidades dos pátios de estocagem na RGV. É recomendado que sejam criados procedimentos para documentar o número de perturbações, o intervalo entre perturbações e a fração da área perturbada em cada pilha. Idealmente, deveria ser possível correlacionar o intervalo de tempo em que houve a manipulação da superfície exposta ao vento com o vento de rajada para o mesmo período. É recomendado que, futuramente, sejam realizados procedimentos experimentais de obtenção da distribuição dos tamanhos das partículas para o material granulado seco e não tratado. A velocidade de fricção limite corresponde ao valor da velocidade de fricção do escoamento de ar (vento) sobre a superfície das pilhas a partir da qual ocorre a emissão

de partículas. A velocidade de fricção limite é intrínseca ao material e à sua distribuição de tamanhos de partículas. Recomenda-se que os empreendimentos que apresentaram as maiores emissões devido à erosão de pilhas de estocagem e que possuam (ou pretendem implantar) barreiras porosas ou vegetais realizem campanhas de medição da atenuação do vento. A eficiência de controle por meio da aspersão de água e/ou produtos químicos aspergidos sobre a superfície das fontes difusas é dependente da concentração de produto químico e da quantidade de solução aplicada. A eficiência de controle das emissões relativas às tecnologias de controle comumente utilizadas pelas empresas na RGV é muito sensível à instalação e operação dessas tecnologias.

5. Algumas metodologias empregadas tiveram sua precisão limitada devido à disponibilidade de recursos para execução. Recomenda-se que, na próxima atualização, busque-se formas de fornecer recursos para melhorar a qualidade das estimativas em alguns pontos críticos. Conforme citado no capítulo anterior, de acordo com o EIIP da US-EPA, é necessário identificar essas limitações e priorizar os esforços de desenvolvimento para garantir que os recursos limitados sejam gastos com base nas prioridades, objetivando garantir o desenvolvimento do inventário com a melhor qualidade possível/desejada dentro dos recursos disponíveis. Desta forma, recomenda-se que na próxima revisão do inventário busque-se uma melhoria geral no conceito DARS das fontes, mas que sejam priorizadas as atividades relacionadas à melhoria do conceito DARS de fontes relevantes na região que possuíram baixa classificação DARS, tais como pilhas de estocagem e ressuspensão em vias.
6. É importante salientar que uma média simples dos valores DARS para as emissões não é o melhor indicador da qualidade dos resultados, visto que não considera o maior peso das emissões de fontes maiores. Um indicador mais adequado para a qualidade geral da estimativa seria uma média ponderada pela taxa de emissão estimada. Uma análise baseada na média simples permite apenas um indicativo mais simplificado de qualidade. Neste documento a média ponderada não foi aplicada devido à complexidade de processamento de dados, uma vez que os resultados fornecidos de estimativas de emissão e DARS não foram apresentados na mesma base de dados dificultando a análise conjunta. Assim, recomenda-se que os valores DARS de cada fonte emissora seja fornecido em conjunto com os dados de emissão das fontes para cada poluente emitido.

## Referências

---

- Amato, F. et al., 2009, Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: A comparison with PMF2. *Atmospheric Environment*, v. 43, p. 2770-2780, 2009.
- Amato, F. et al., 2011. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities, *Atmospheric Environment*, 45, pp 6777-6787
- Andrade, M.F. et al., 2012. Vehicle emissions and PM2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Qual Atmos Health*, v. 5, p. 79-88.
- Ashbaugh, L. et al., 1996. Traffic Generated PM10 'HotSpots'. Air Quality Group, Crocker Nuclear Laboratory. University of California, Davis.
- Borrego, C., Monteiro, A., Ferreira, J., Moraes, M.R., Carvalho, A., Ribeiro, I., over the metropolitan area of Porto Alegre, Brazil. *Atmospheric Environment* 44, 370-380.
- Guittikunda, S. K.; Calori, G., 2013. A GIS based emissions inventory at 1 km x 1 km spatial resolution for air pollution analysis in Delhi, India. *Atmospheric Environment*, v. 67, p. 101-111.
- Kantamaneni, R., Adams, G., Bamesberger, L., Allwine, E., Westberg, H., Lamb, B., Claiborn, C., 1996. The measurement of roadway PM10 emission rates using atmospheric tracer ratio techniques. *Atmospheric Environment* 30 (24), 4209-4223.
- Mobley, J.D. and M. Saeger. 1994. Procedures for Verification of Emissions Inventories: Report of the Expert Panel on Emissions Verification. Prepared for The United Nations Task Force on Emissions Inventories, Economic Commission for Europe.
- Nicholson, K.W., Branson, J.R., 1990. Factors affecting resuspension by road traffic. *Science of the Total Environment* 93, 349-358.
- Nicholson, K.W., 1988. The dry deposition of small particles: a review of experimental measurements. *Atmospheric Environment* 22 (12), 2653-2666.
- Santos, J.M. e Reis, N.C., 2011. Caracterização e quantificação de partículas sedimentadas na Região da Grande Vitória. Relatório Técnico. Fundação Espírito- Santense de Tecnologia, Vitória-ES.
- Santos, J.M., Reis, N.C., Galvão, E.S., Silveira, A. Goulart, E.V., Lima, A. T. Source apportionment of settleable particles in an impacted urban and industrialized region in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 1-14, 2017.
- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). Quality Assurance Procedures and DARS, Chapter 4 - Evaluating the Uncertainty of Emission Estimates. United States of America, 1996a. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/vi04.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2019.
- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). EIIP Recommended Approach to Using the Data Attribute Rating System (DARS). United States of America, 1996b.

Disponível em: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000D2PJ.PDF?Dockey=2000D2PJ.PDF>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). Quality Assurance Procedures and DARS, Chapter 2 - Planning and Documentation. United States of America, 1997a. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/vi02.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2019.
- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). Quality Assurance Procedures and DARS, Chapter 3 - General QA/QC Methods. United States of America, 1997b. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/vi03.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2019.
- Venkatram, A., 2000. A critique of empirical emission factor models: a case study of the AP-42 model for estimating PM10 emissions from paved roads. *Atmospheric Environment* 34, pp 1-11.
- Venkatram, A., 2001. Response to comments by Nicholson. A critique of empirical emission factor models: a case study of the AP-42 model for estimating PM10 emission from paved roads (*Atmospheric Environment* 34, 1-11). *Atmospheric Environment* 35 (1), 187.
- Zimmer, R.A., Reeser, W.K., Cummins, P., 1992. Evaluation of PM10 emission factors for paved streets. In: Chow, J.C., Ono, D.M. (Eds.), *PM10 Standards and Nontraditional Particulate Source Controls*, pp. 311-323.