



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM



Dissertação de Mestrado

**IMPACTO INTEGRADO DE EMPREENDIMENTOS
MINEROMETALÚRGICOS EM CONGONHAS**

Autora: Paula Cristina Castro Andrade
Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz
Co-Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

Ouro Preto/MG
Dezembro de 2013



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM



IMPACTO INTEGRADO DE EMPREENDIMENTOS MINEROMETALÚRGICOS EM CONGONHAS

Autora: **PAULA CRISTINA CASTRO ANDRADE**

Orientadores: **Prof. Dr. HERNANI MOTA DE LIMA**

Prof. Dr. JOSÉ AURÉLIO MEDEIROS DA LUZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral.

Área de concentração: **Tratamento de Minérios**

Ouro Preto/MG
Dezembro de 2013

A553i Andrade, Paula Cristina Castro.
Impacto integrado de empreendimentos minerometalúrgicos em Congonhas
[manuscrito] / Paula Cristina Castro Andrade – 2013.

113f.: il.; color.; grafs.; tabs. mapas.

Orientadores: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz.
Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.
Departamento de Engenharia de Minas. Programa de Pós-graduação em
Engenharia Mineral.
Área de concentração: Tratamento de minérios.

1. Indústria mineral - Teses. 2. Poeira em minas - Teses. 3. Soluções em mineração.
4. Licenciamento ambiental integrado. I. Luz, José Aurélio Medeiros da. II. Lima,
Hernani Mota de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 622.7:621.762

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

**"IMPACTO INTEGRADO DE EMPREENDIMENTOS
MINEROMETALÚRGICOS EM CONGONHAS"**

AUTORA: PAULA CRISTINA CASTRO ANDRADE

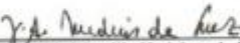
Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 20 de dezembro de 2013, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



• Prof.^a Dr.^a Carla Maria Mendes Lacerda (Membro) – IFMG



• Prof.^a Dr.^a Érica Linhares Reis (Membro) – UFOP



• Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz (Orientador) – UFOP

*"O correr da vida embrulha tudo.
A vida é assim: esquenta e esfria,
aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem".*

(Guimarães Rosa)

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família, principalmente à minha mãe pelo incentivo, confiança e positividade e ao meu avô Lindico, pelos ensinamentos e valores deixados para sempre.

Ao professor Dr. José Aurélio Medeiros da Luz, pela paciência, incentivo, orientação, colaboração e exemplo. E por acreditar nas minhas ideias. Muito obrigada.

Ao professor Dr. Hernani Mota de Lima, pela colaboração e ajuda durante os trabalhos. Pelas conversas, debates e tentativas. Muito obrigada.

Ao colega Msc Almir Malta Ferreira, pela ajuda incondicional e fundamental para a conclusão deste trabalho. Muito obrigada de coração.

Ao colega Arlindo Campos Sales, pela colaboração singular. Muito obrigada.

Aos professores do PPGEM; ao Marcelo da Costa. A Universidade Federal de Ouro Preto, DEMIN, PPGEM e colegas de mestrado. Aos laboratórios do DEGEO e seus funcionários.

A Capes, pelo incentivo financeiro e oportunidade de me tornar mestre.

A Promotoria da Justiça de Congonhas, MG, principalmente Dr. Vinícius Alcântara, pela disponibilidade.

A República Convento (minha segunda casa), ex-alunas e moradoras, por mais uma acolhida de carinho, amor e apoio; em especial, a Rafaela (*Rafildes*) e Msc Débora pela ajuda e colaboração.

Ao meu namorado Tiago pelo companheirismo e alegria contagiante de sempre.

A todos que me apoiaram, incentivaram e, principalmente, acreditaram na conclusão deste trabalho.

RESUMO

A avaliação ambiental para o processo de licenciamento ambiental tradicional das atividades de mineração a partir do porte médio é feita diante das características e dados apresentados no estudo do impacto ambiental (EIA) e no relatório de impacto ambiental (RIMA). Porém, com o acelerado desenvolvimento tecnológico e o aumento do número de empreendimentos por determinada área, observou-se que a avaliação de projetos individuais não tem condições de captar o efeito ambiental sinérgico e cumulativo de um conjunto de empreendimentos. Este trabalho analisa os impactos ambientais integrados (ou acumulados) dentro de uma visão espacial e setorial, usando como área de estudo a cidade de Congonhas, em Minas Gerais. Nessa região há um expressivo parque minerometalúrgico que potencialmente dispõe de significativas fontes emissoras de poluentes atmosféricos, na proximidade do núcleo urbano. A atividade mineradora é uma das principais responsáveis pela geração de material particulado (poeira) que, associado às vias naturais e antropogênicas, atinge o centro urbano do município e tem causado transtornos à população e ao meio ambiente. Diante dos parâmetros estudados, relevo, fontes emissoras e regime de ventos da região, nota-se a ausência de uma gestão que controle a dispersão da poeira na cidade de Congonhas. Para quantificar os impactos advindos das atividades industriais e minerometalúrgicas da região foi proposto o índice de impacto ambiental integrado. O método mostrou-se adequado na mensuração da parcela de impacto ambiental para cada uma das fontes poluidoras no entorno da área de estudo. Diante desse fato, percebe-se que o licenciamento ambiental individual de empresas que se instalam e atuam relativamente próximas uma das outras merece modificação na forma de avaliação de seus impactos. Torna-se necessária uma visão ampla da situação e propostas conjuntas, em vista de amenizar situações paralelas como a exposta no presente trabalho.

Palavras-chaves: Impacto Integrado, geração de poeira, mineração.

ABSTRACT

The environmental evaluation for the traditional environmental licensing process on the mining activities from the midrange is taken on the characteristics and data presented in the environmental impact assessment (EIA) and the environmental impact report (EIR). However, with the rapid technological development and the increasing number of enterprises per given area, it was observed that the evaluation of individual projects is not able to capture the synergistic and cumulative environmental effect of a set of enterprises. This paper analyzes the integrated (or cumulative) environmental impacts within a spatial and sectoral vision, using the study area as the city of Congonhas, Minas Gerais. In this region there is a significant mining-metallurgic park that potentially offers significant emission sources of air pollutants in the surroundings of the urban core. The mining activity is one of the most responsible for the generation of particulate matter (dust) which associated with natural and anthropogenic pathways, reaches the urban center presenting effects and inconvenience to the population and the environment. Given the regional aspects studied such as relief, sources and wind regime, there is the absence of a management that controls dust dispersion in the city of Congonhas. To quantify the impacts from industrial activities in the region and mining-metallurgic index was proposed integrated environmental impact. The method proved to be adequate in measuring the portion of environmental impact for each pollutant sources in the vicinity of the study area. Given this fact, it can be seen that the environmental licensing of individual companies that are installed and operate closely to one another deserves modification on the evaluation of their impacts. Therefore, it becomes necessary an holistic approach to this cenary including joint proposals, in order to decrease parallel situations as exposed in this paper.

Keywords: Integrated Impact, dust generation, mining.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	3
3. OBJETIVOS	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1. Poluição atmosférica	8
4.1.1. A atmosfera	9
4.1.2. Poluentes atmosféricos	12
4.1.3. Fontes de poluição atmosférica	13
4.1.4. Efeitos da poluição atmosférica	14
4.2. Material particulado	14
4.2.1. Conceitualização	15
4.2.2. Tamanho das partículas	17
4.2.3. Fontes de emissão de material particulado no setor minerometalúrgico	19
4.2.4. Efeitos da poluição por material particulado	26
4.2.5. Arcabouço conceitual da dispersão de particulados na atmosfera	31
5. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	36
5.1. Técnicas para contenção de material particulado na mineração	36
5.2. Caracterização da área de estudo	41
5.2.1. Localização	41
5.2.2. O município de Congonhas e a mineração	42
5.2.3. Hidrografia	46
5.2.4. Cobertura Vegetal e Uso da Terra	46
5.2.5. Aspectos Gerais do Relevo, Solo, Geologia e Minerais	47
5.2.6. Clima	51
5.3. Impacto Integrado	53
6. MATERIAS E MÉTODOS	55
6.1. Metodologia utilizada	57
6.2. Características da área de estudo	58
6.3. Fontes emissoras de poluentes atmosféricos	58
6.4. Condições meteorológicas	59

6.5.	Níveis de particulados na atmosfera.....	59
6.6.	Difração de raios X	62
6.7.	Concepção de parâmetros de quantificação: métodos das sombras eólicas	63
7.	RESULTADOS	67
7.1.	Caracterização dos atributos geográficos da área de estudo.....	67
7.2.	Caracterização das condições meteorológicas da área de estudo	68
7.3.	Fontes emissoras de poluentes atmosféricos	73
7.4.	Nível de material particulado na atmosfera	74
7.5.	Partículas Inaláveis (PI).....	77
7.6.	Difração de Raios X	79
7.7.	Quantificação - Impacto integrado.....	80
8.	CONCLUSÃO.....	85
9.	REFERÊNCIAS.....	88
10.	ADENDOS.....	96

LISTA DE FIGURAS

- Figura 4.1 – Protesto pela qualidade do Ar e Água. Fonte: Jornal Hoje em Dia (2010).
- Figura 4.2 – Moradora do Bairro Casa de Pedra mostra poluição causada pelo pó do minério. Fonte: Jornal Hoje em Dia (2011).
- Figura 4.3 – Desenho esquemático das camadas da atmosfera e da temperatura. Fonte: GRIMM (1999).
- Figura 4.4 – Dependência das definições de diâmetro equivalente em função das propriedades e do comportamento das partículas. Fonte: WILLEKE e BARON (1993).
- Figura 4.5 – Serra do Engenho. Fonte À esquerda: www.dzai.com.br, foto tirada em 08 de junho de 2009, superior direita: desconhecida, inferior direita: SANDOVAL (2008).
- Figura 4.6 – Área de depósito de minério de Ferro. Fonte: FERREIRA (2012).
- Figura 4.7 – Curva de penetração de partículas no sistema respiratório em função de seu tamanho. Fonte: USEPA (2004).
- Figura 4.8 – Processo de determinação de poluente na atmosfera. Fonte: Torres & Martins (2005).
- Figura 4.9 – Velocidade limiar (threshold velocity) com dados de vários pesquisadores, extraídos via digitalização de figura de Kok et al. (2012).
- Figura 5.1 – (a) Concentração de partículas inaláveis nos bairros Cristo Rei, Casa de Pedra e Plataforma nos anos de 2008, 2009 e 2010. Fonte: Milanez & Alamino (2011). (b) Mapa do município de Congonhas com destaque para localização do centro urbano (que contempla os bairros Cristo Rei e Casa de Pedra) e o bairro Plataforma. Fonte: Ecosoft (2012).
- Figura 5.2 – Localização de Congonhas, MG.
- Figura 5.3 – Adro de Bom Jesus de Matozinhos, no centro histórico de Congonhas, vendo-se 10 dos 12 profetas de Aleijadinho (século XVII).

Figura 5.4 – Vista (para NW) dos contrafortes minerados, com a barragem de rejeitos limítrofe à periferia urbana de Congonhas.

Figura 5.5 – Estratificação do relevo da área de estudo. Fonte: USGS (2012) apud Ecosoft (2012).

Figura 5.6 – Mapa da região do município de Congonhas com delimitação aproximada do núcleo urbano e das fontes emissoras de particulados em seu entorno. Fonte: Google Earth, 2013.

Figura 5.7 – Perfis de elevação do município de Congonhas. Fonte: Google Earth (2013).

Figura 5.8 – Comportamento sazonal mensal da precipitação pluviométrica para a região de Congonhas (1996 a 2005). Fonte: ANA (2011) apud Ecosoft (2012).

Figura 5.9 – Médias mensais e máximas médias de 1 h da velocidade do vento (a 10 m) registradas na estação Ouro Branco/INMET – 2008 a 2010. Fonte: INMET (2010) apud Ecosoft (2012).

Figura 5.10 – Mapa de isoietas anuais médias para o estado de Minas Gerais com destaque para a região em estudo. Fonte: CPRM (2009) apud Ecosoft (2012).

Figura 6.1 – TNT sobre o telhado de uma escola, no centro urbano de Congonhas, MG, instalado para receber a poeira que provavelmente seria depositaria. Fonte: Autor.

Figura 6.2 – Pontos Receptores Discretos Analisados na Área de Estudo. Fonte: Ecosoft (2012).

Figura 6.3 – Pontos Receptores Discretos Localizados no Núcleo Central da Cidade de Congonhas. Fonte: Ecosoft (2012).

Figura 6.4 – Difratômetro de Raios X do modelo PANalytical. Fonte: Sigiliano (2013).

Figura 6.5 – Exemplo da determinação da “sombra eólica” da cava 3 sobre o núcleo urbano, referente a vento com direção azimutal de 135°, mostrando a rosa dos ventos local (Congonhas).

Figura 7.1 – Variação da velocidade do vento estimado para a região de Congonhas. Fonte: Amarante et al., 2010.

Figura 7.2 – Resultado da análise de difração de raios X feita no Laboratório do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto.

Figura 7.3 – Valores previstos versus experimentais da velocidade limiar de saltação.

Figura 7.4 – Impacto relativo do vento, segundo a direção.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Composição química da atmosfera. Fonte: Adaptado de BAUMBACH (1996).

Tabela 4.2 - Classificação dos poluentes atmosféricos. Fonte: adaptado de ASSUNÇÃO (1998).

Tabela 4.3 – Resolução Conama nº 3 de 28/06/1990 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

Tabela 7.1 – Dados climáticos de Congonhas em função dos meses do ano. Fonte: Pinto e colaboradores (2005).

Tabela 7.2 – Estimativa do regime de ventos na região estudada.

Tabela 7.3 – Empreendimentos industriais da região de Congonhas. Fonte: adaptado de Ecosoft (2012).

Tabela 7.4 – Estimativa das taxas médias de emissão de particulados dos empreendimentos industriais da região de Congonhas. Fonte: adaptado de Ecosoft (2012).

Tabela 7.5 – Concentrações de PTS (Partículas Totais em Suspensão) Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos do centro urbano de Congonhas. Fonte: adaptado de Ecosoft (2012).

Tabela 7.6 – Concentrações de PI (Partículas Inaláveis) Avaliadas nos Pontos Receptores da Região de Congonhas. Fonte: Adaptado de Ecosoft (2012).

Tabela 7.7 – Estimativas de distâncias e áreas das fontes e do núcleo urbano.

Tabela 7.8 – Distribuição do impacto ambiental devido a material particulado.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é tida como setor básico da economia do país. A atividade mineral faz parte da ocupação do território nacional, e partir de 1960, o setor foi escolhido como estratégia econômica e uma das principais alavancas para dinamizar o crescimento nacional. Ela é determinante para o bem estar e para a melhoria de vida das atuais e futuras gerações, além de ser indispensável no que tange a manutenção do nível de vida e no avanço tecnológico das sociedades modernas. (FARIAS, 2002).

A atividade, por outro lado, gera grande quantidade de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos), que normalmente são descartados no meio ambiente e, se não tratados e dimensionados, causam problemas ambientais e socioambientais. Seus efeitos perduram e um amplo trabalho é necessário, com bases nos conceitos e diretrizes da sustentabilidade definidos na Agenda 21 e ampliados em várias conferências e acordos que se sucedem para reconhecer e enfrentar as externalidades geradas por tal atividade. (FERNANDES, 2007).

Em via de compatibilizar as atividades humanas com a proteção ambiental, todas as ações, projetos, obras ou eventos, sejam da atividade pública ou privada, que provoquem impactos ambientais, são passíveis de licenciamento. O licenciamento ambiental é feito sobre a análise da avaliação de impacto ambiental – AIA, um instrumento de avaliação que, após analisado e aprovado, suporta a concessão da licença ao empreendimento. (SEMAD, 2008).

Segundo Walker e Johnston (1999), o impacto integrado são reações entre impactos de apenas um projeto ou entre impactos de outros projetos na área. No Brasil, até recentemente, não é prática requerer a análise do impacto integrado e sim de projetos tomados individualmente (MOREIRA, 1985). Com o acelerado desenvolvimento observou-se que a avaliação de projetos individuais (conforme a legislação determina por meio do EIA/RIMA) analisa o impacto individual, não dando condições de captar o efeito ambiental sinérgico e cumulativo do conjunto dos empreendimentos. E, mesmo visto isoladamente, os projetos podem apresentar soluções (técnico-ambientais) que num conjunto não são as mais adequadas. Portanto, o conceito para avaliar o impacto gerado por diferentes projetos é definido de avaliação de impacto integrado.

A cidade de Congonhas, em Minas Gerais, distante 70 km da capital Belo Horizonte e situada em meio a jazidas de minério de ferro, vive as consequências da falta da avaliação do impacto integrado gerado, principalmente pela extração de minério de ferro. Lá estão instaladas empresas minerometalúrgicas (Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) – Mina de Casa de Pedra, Vale – Mina de Fábrica, Namisa – Mina do Pires e Ferrous – Minas Viga, Gerdau – Açominas, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil (VSB) - entre outras de menor porte) que extraem e beneficiam minério de ferro. A poeira gerada pela atividade minerária atinge a cidade e tem, não raro, ocasionado desconforto a população e ao município.

Em vista da situação, este trabalho tem o intuito de questionar o licenciamento ambiental individual e sua forma de avaliar os impactos gerados por empreendimentos instalados (geograficamente) próximos uns dos outros e identificar que a integração dos impactos requer novas formas de estudo e avaliação. Para tanto, a questão será vista a partir do estudo de caso do município de Congonhas, MG.

2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O licenciamento ambiental tradicional (que analisa individualmente a atividade do empreendimento e seus impactos) tem poucas condições de analisar impactos gerados numa região, pela consequência da ação cumulativa de dois ou mais empreendimentos instalados próximos um do outro.

O desenvolvimento acelerado e a crescente necessidade de produção traz à tona a busca por um espaço dentro de um território que possua potencial econômico, aumentando a densidade industrial dessa região, como é o caso da região de Congonhas.

As empresas minerometalúrgicas instaladas no município de Congonhas apesar de estarem em conformidade com suas licenças ambientais, as quais garantem condições legais de funcionamento, têm, por outro lado, gerado grande quantidade de poeira que atinge a cidade e tem causado sérios transtornos à população. Segundo relatos de moradores, a poeira gerada causa incômodo e problemas respiratórios na população.

É por este contexto que se investigou o impacto ambiental causado pela poeira que se estabelece na cidade de Congonhas, visto que a consequência da proximidade geográfica entre os empreendimentos, associados a outros fatores, tem gerado altos níveis de emissões de resíduos com efeitos maléficos diversos à população e ao patrimônio histórico.

3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é:

- i. Mostrar que o licenciamento ambiental padrão, estabelecido pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA 237/97, não é eficaz para identificar o impacto ambiental integrado, exemplificado pela poeira gerada nas empresas minerometalúrgicas do município de Congonhas.

Para tanto, fez-se levantamentos de dados referentes à qualidade e monitoramento do ar do município, os quais incluíram: a) dados obtidos da Promotoria de Justiça de Congonhas – *Projeto de rede otimizada de monitoramento de qualidade do ar e meteorologia da região de Congonhas*, elaborado pela *Ecosoft e Ferrous Resources do Brasil (2012)*; b) estudos de casos e dados, coletados no município de Congonhas; c) Termo de Ajustamento de Conduta – TAC: proposta de redução de poeira.

Com objetivos secundários, têm-se os seguintes:

- i. Identificar a real origem da poeira instalada na cidade;
- ii. Propor um índice relativo de impacto por material particulado (*airborne particulate matter*), na busca de evidenciar o nível de emissão de poeira do município de Congonha;
- iii. E, procurar ações mitigadoras para a minimização da geração e transporte de material particulado a fim de garantir a sustentabilidade socioeconômica e ambiental do município.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cidade de Congonhas, MG vive o problema da poluição atmosférica, que é consequência da poeira gerada, principalmente, pela atividade mineradora local. Apesar de gerar muita riqueza, a mineração de ferro também traz esse fator impactante para a população.

Reportagens de jornais locais ilustram (Figuras 4.1 e 4.2) e denunciam o impacto socioambiental do município, alegando ser a poeira proveniente da atividade mineraria da região a causadora do problema.

“Todos os dias, são retiradas das vias do município entre cinco e sete toneladas de pó. Resíduo que coloca em risco a saúde de mais de 50 mil habitantes e que ameaça a conservação do acervo histórico (...).” Thiago Lemos - Do Hoje em Dia, de 26/07/2011.

“A poluição acaba encardindo a cidade, além de provocar danos para a saúde da população. No inverno, as pessoas que sofrem de problemas respiratórios ficam ainda mais prejudicadas.” – Secretário de Desenvolvimento Sustentável de Congonhas, Gabriel Scliar.



Figura 4.1 – Protesto pela qualidade do Ar e Água. Fonte: Jornal Hoje em Dia (2010).



Figura 4.2 – Moradora do Bairro Casa de Pedra mostra poluição causada pelo pó do minério.
Fonte: Jornal Hoje em Dia (2011).

A extração de minério de ferro tem aumentado para atender à demanda nacional e internacional. Conseqüentemente, os problemas aumentam nos locais de exploração. A cidade de Congonhas apresenta problemas mais comumente vistos em grandes centros, como São Paulo. A poluição do ar por material particulado não apenas deixa a cidade com uma cor marrom avermelhada, como coloca em risco a saúde das pessoas e até mesmo a integridade do Patrimônio Barroco da cidade. Além de impactos ambientais, há também outros aspectos negativos advindos com a expansão da atividade minerária: a vinda de novos trabalhadores eleva substancialmente o preço dos aluguéis; a expansão da infraestrutura de apoio às minas chega a ameaçar o abastecimento de água de algumas localidades da região. Segundo Luciano Badini, do Ministério Público Estadual, *“só a expansão da mina (Casa de Pedra) e a construção da planta de pelletização (da Companhia Siderúrgica Nacional - CSN) já são suficientes para transformar Congonhas numa nova Cubatão”*. (Jornal Estado de Minas, 2010).

Segundo noticiado no jornal Valor Econômico (2011), *“Do alto das colinas que cercam Congonhas, a visão é nítida: no fim da tarde, quando sopra um vento forte, ergue-se uma grande nuvem escura da área escavada da mina Casa de Pedra e, em poucos minutos, a sombra de minério cobre a cidade que ganhou fama pelo conjunto arquitetônico de Bom Jesus dos Matozinhos, marcado pelas 12 estátuas de profetas de Aleijadinho. A ampliação da mina Casa de Pedra, da CSN, onde se extrai ferro com altíssimo teor de pureza, é apenas um dos muitos investimentos programados para a região do Alto Paraopeba, que em médio prazo devem tornar a área de cinco municípios a cerca de cem quilômetros de Belo Horizonte no principal polo minerador*

e no segundo polo siderúrgico do Estado”. “A poluição provocada pela extração é o maior problema. Mas nós topamos o ônus da mineração e da sobrecarga sobre a infraestrutura, diante do bônus da industrialização”, comentou o Prefeito Anderson Cabido (Partido dos Trabalhadores), de Congonhas, cidade que concentra a maior parte dos investimentos projetados.

Em consequência aos problemas gerados pelo material particulado em Congonhas, em setembro de 2010 houve uma grande manifestação popular, com centenas de pessoas, cobrando ações do governo municipal. Em contrapartida, o governo local, juntamente com a promotoria de Congonhas, apresentou soluções ao supor que a fonte de poeira advém dos veículos (sujos de poeira) que transitam na cidade. Logo, proibiu o trânsito de caminhões pesados no centro da cidade e negociou com as mineradoras a instalação de equipamentos “lava-rodas” nas saídas das minas – operação “lava-rodas”, uma das propostas acordadas no Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) firmado entre mineradoras e Prefeitura Municipal de Congonhas. Desde 2008, a 1ª Promotoria de Congonhas, ocupada por Vinícius Alcântara Galvão, vem propondo ações efetivas de condicionamento do poder corporativo das mineradoras em Congonhas, principalmente sob o tema da poluição atmosférica. O sistema “lava-rodas” proposto não obteve total aderência das mineradoras. Algumas negaram a participação e não executaram o projeto proposto. (LIMA & SANTOS, 2012).

Existem duas teorias que explicam a origem da poeira em Congonhas. A primeira defende que uma corrente de ar que se desloca no sentido de Belo Horizonte/Congonhas, ao longo da BR-040/Serra da Moeda, seja a principal responsável pelo carreamento da poeira das fontes listadas até a cidade.

A segunda, que contraria a primeira, é defendida pela empresa Brandt Consultoria, contratada pela CSN. Segundo o “Estudo Climatológico de Congonhas” apresentado na Câmara Municipal de Congonhas no dia quatro de maio de 2011, numa Audiência Pública que levava ao público a discussão de questões relacionadas ao tombamento do conjunto paisagístico da Serra. O estudo apresentou uma abordagem geoambiental a respeito da poluição atmosférica no município enfatizando a origem da poeira. Neste aspecto buscou convencer o público presente (vereadores, representantes do Ministério

Público, do Poder Executivo, dos órgãos ambientais municipais, das cidades vizinhas à Congonhas, da imprensa, comércio, ONG's ambientais da região e de Belo Horizonte, Associações de Moradores, Técnicos do Instituto Brandt, Igrejas, alunos de escolas do município e das empresas envolvidas CSN e Namisa) que a corrente de ar presente na região estaria na direção Congonhas/mineração, concluindo que a grande quantidade de poeira existente em Congonhas é proveniente apenas da poeira dos veículos das empresas mineradoras que trafegam na cidade e conduzem o pó.

4.1. Poluição atmosférica

“Entende – se como poluente qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ambiente: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade”. Resolução CONAMA 03/1990.

A definição de poluição atmosférica engloba atividades, substâncias e fenômenos que contribuem para a deterioração do equilíbrio e, conseqüentemente, da qualidade natural da atmosfera terrestre. Os poluentes atmosféricos são as substâncias consideradas causadoras do efeito negativo sobre o meio ambiente.

É provável que a poluição do ar acompanhe a humanidade desde sempre. Mas só passou a ser percebida de forma mais intensa nas cidades a partir da Revolução Industrial, período em que o carvão mineral começou a ser utilizado como fonte de energia. As inovações tecnológicas ocorridas no século XX e a utilização de derivados do petróleo como combustível (seja em processos industriais ou em meios de transporte) agravaram ainda mais a questão de poluição atmosférica. Atualmente a poluição do ar é um problema mundial, com reflexos em todo o planeta. As alterações climáticas e os problemas para fauna, flora e para os seres humanos reforçam a importância do assunto. (PHILLIPPI *et alii*, 2004).

4.1.1. A atmosfera

Segundo RAVEN *et alii* (1995), atmosfera é a camada invisível de gases que envolve a Terra. É constituída principalmente de nitrogênio e oxigênio e dividida em cinco camadas concêntricas, de acordo com a composição química e temperatura: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera.

De acordo com GRIMM (1999) a camada inferior da atmosfera, na qual a temperatura decresce com a altitude, é a troposfera, que se estende até a altitude média de 12 km (cerca de 20 km no Equador e 8 km nos polos). Nesta camada a temperatura diminui com a altitude com uma taxa de variação vertical média de 6,5 °C/km. Esta taxa na realidade é bastante variável, podendo ocorrer em camadas estreitas dessa região inversões de temperatura (situação na quais pequenas camadas da troposfera experimentam aumento de temperatura com a altitude), ver Figura 4.3.

A troposfera é o principal domínio de estudo dos meteorologistas, pois é nesta camada que ocorrem essencialmente todos os fenômenos que em conjunto caracterizam as condições meteorológicas e afetam diretamente as condições de vida sobre a superfície. Nessa região as propriedades atmosféricas são facilmente transferidas por turbulência de grande escala e mistura; é a camada mais instável da atmosfera. É nessa região que ocorrem os fenômenos relacionados à dispersão de poluentes. (GRIMM, 1999).

Porém, segundo ASSUNÇÃO (1998), a troposfera não é mais considerada a camada de maior interesse na atmosfera quanto ao aspecto de poluição atmosférica. O quadro se alterou. A ação de emissões antropogênicas sobre a estratosfera fez com que esta viesse a se tornar a camada principal, em função da camada de ozônio presente nela.

A camada seguinte, a estratosfera, se estende até aproximadamente 50 km. Na sua base, cerca de 20 km, o gradiente de temperatura permanece quase constante. O movimento vertical é reduzido devido ao perfil estável de temperatura, ocorrendo apenas por difusão (BAIRD, 2002). O aquecimento progressivo com a altitude do ar na estratosfera pode ser explicado pela presença do ozônio nesta camada. Como se sabe, o ozônio absorve radiação ultravioleta do sol, reação exotérmica responsável pelo aquecimento

nas regiões superiores da estratosfera. Existem pouquíssimas manifestações associadas as “condições meteorológicas”.

Dessa maneira, com o ar mais quente situado nas regiões mais altas da estratosfera, as correntes de convecção são inibidas, o que dificulta a entrada de moléculas da troposfera.

Na mesosfera, camada da atmosfera imediatamente acima da estratosfera, a temperatura novamente decresce com a altura, em torno de 80 km, onde atinge valores da ordem de -90 °C. Nessa camada movimentos verticais ocorrem embora em pequena intensidade. (GRIMM, 1999).

Acima da mesosfera encontra-se a termosfera, região na qual a temperatura é inicialmente constante e depois cresce rapidamente com a altitude, como resultado da absorção de ondas muito curtas da radiação solar por átomos de oxigênio e nitrogênio. A termosfera não possui limite superior bem definido, se estende de uma altitude de aproximadamente 80 km até a faixa de 500 a 1.000 km. Embora as temperaturas atinjam valores muito altos, estas temperaturas não são exatamente comparáveis àquelas experimentadas nas proximidades da superfície da Terra. Temperaturas são definidas em termos da velocidade média das moléculas. Como as moléculas dos gases da termosfera se movem com velocidades muito altas, a temperatura é obviamente alta. Contudo, a densidade é tão pequena que muito poucas destas moléculas velozes colidiriam com um corpo estranho fazendo com que só uma quantidade insignificante de energia seria transferida. (GRIMM, 1999).

A atmosfera é constituída principalmente de gases: nitrogênio diatômico, o oxigênio diatômico (cuja concentração mantém-se estável devido ao equilíbrio entre a respiração e atividade fotossintética), o argônio, dióxido de carbono e outros gases em quantidades muito pequenas - vide tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Composição química da atmosfera. Fonte: Adaptado de BAUMBACH (1996).

COMPOSTO	CONCENTRAÇÃO (volume de ar seco - %)
Nitrogênio (N ₂)	78,1
Oxigênio (O ₂)	20,93
Argônio (Ar)	0,9325
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,03 a 0,04
Hidrogênio (H ₂)	0,01
Neônio (Ne)	0,0018
Hélio (He)	0,0005
Criptônio (Kr)	0,0001
Xenônio (Xe)	0,000009

No entanto, essas concentrações não se mantêm estáveis (naturalmente) devido aos lançamentos antrópicos na atmosfera: lançamentos industriais, da mineração e veiculares.

Várias substâncias naturais e artificiais, como por exemplo, os clorofluorcarbonos (CFCs), estão se concentrando na atmosfera, modificando sua composição básica. A atmosfera contém quantidades variáveis de vapor d'água que vão desde 0,02 % (em volume) nas regiões áridas até 4% (em volume) nas regiões equatoriais úmidas. (BAUMBACH, 1996).

A atmosfera contém também partículas sólidas e líquidas em suspensão (aerossóis), de composição química e concentrações variáveis e inclusive matéria viva, com pólen e micro-organismos.

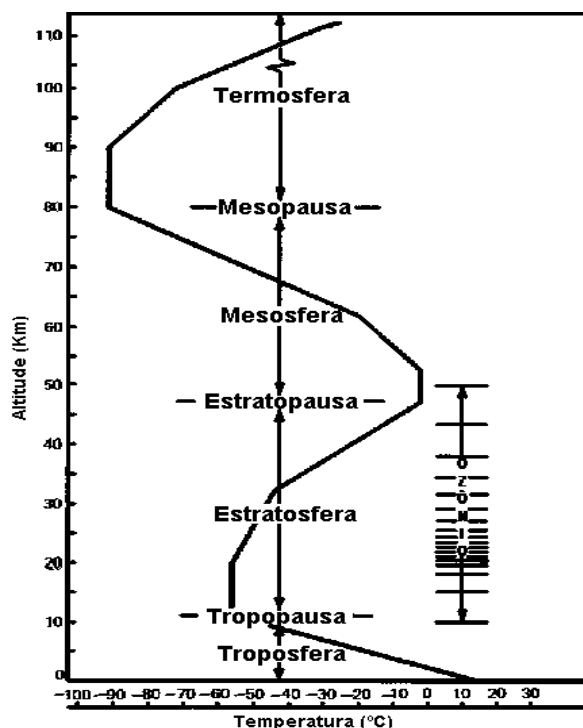


Figura 4.3 – Desenho esquemático das camadas da atmosfera e da temperatura. Fonte: GRIMM (1999).

4.1.2. Poluentes atmosféricos

Os poluentes atmosféricos possuem diversas classificações encontradas na literatura. Assunção (1998) apresenta uma classificação em função da origem, estado físico e classe química para os principais poluentes atmosféricos, apresentados na tabela 4.2.

Segundo Assunção (1998), define-se poluente atmosférico como qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa e de energia que, presente na atmosfera, torne-a poluída. O autor ainda diz que, em função do estado físico, os poluentes atmosféricos podem ser classificados em dois grandes grupos: material particulado e gases e vapores.

Em função da sua origem, podem ser classificados em dois grupos: primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente na atmosfera; incluem: particulados, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos. Poluentes secundários são aqueles produzidos através de reações químicas entre poluentes primários e componentes atmosféricos normais (CETESB, 2005). Exemplos de poluentes secundários é o ozônio e trióxido de enxofre, ambos são formados através de reações químicas na atmosfera.

Segundo a classe química, os poluentes atmosféricos podem ser classificados como poluentes orgânicos e poluentes inorgânicos (ASSUNÇÃO, 1998).

Tabela 4.2 - Classificação dos poluentes atmosféricos. Fonte: adaptado de ASSUNÇÃO (1998).

CLASSIFICAÇÃO	EXEMPLOS
Material Particulado	Poeiras, fumos, fumaça, névoas.
Gases e Vapores	CO, CO ₂ , SO ₂ , O ₃ , NO _x , HC, NH ₃ , cloro, H ₂ S.
Poluentes Primários	CO, SO ₂ , cloro, NH ₃ , H ₂ S, CH ₄ , mercaptanas.
Poluentes Secundários	O ₃ , aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos.
Poluentes Orgânicos	HC, aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, partículas orgânicas.
Poluentes Inorgânicos	CO, CO ₂ , cloro, SO ₂ , NO _x , poeira mineral, névoas ácidas e alcalinas.
Compostos de Enxofre	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, sulfatos.
Compostos Nitrogenados	NO, NO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , nitratos.
Carbonados Orgânicos	HC, aldeídos, alcoóis.
Compostos Halogenados	HCl, HF, CFC, cloretos, fluoretos.
Óxidos de Carbono	CO, CO ₂ .

4.1.3. Fontes de poluição atmosférica

A discussão quanto à origem da poluição atmosférica deve ter uma distinção e ser feita com relação aos processos envolvidos na formação dos poluentes.

Os poluentes atmosféricos são resultados ou de processos naturais ou de processos antropogênicos. As fontes de poluição atmosférica são entendidas como qualquer processo natural ou antropogênico que possa liberar ou emitir matéria ou energia para a atmosfera, tornando-a poluída ou contaminada (RESENDE, 2007).

Como exemplos de fontes naturais de poluentes atmosféricos podem ser citados as emissões de gases de erupções vulcânicas, as atividades de *gêiseres*, a decomposição de animais e vegetais, a ressuspensão de poeira do solo pelos ventos, a formação de gás metano em pântanos, os aerossóis marinhos, a formação de ozônio devido a descargas elétricas na atmosfera, os incêndios naturais em florestas e os polens de plantas. Exemplos de fontes antropogênicas de poluentes atmosféricos são os diversos processos e operações industriais; a queima de combustíveis para fins de transporte em veículos a

álcool, gasolina e diesel ou qualquer outro tipo de combustível; queimadas na agricultura; incineração de lixo; poeiras fugitivas; produtos voláteis; equipamentos de refrigeração e ar condicionado, e *sprays* (GODISH, 1991; BOTKIN & KELLER, 1995; ASSUNÇÃO, 1998).

Os poluentes atmosféricos podem ser genericamente classificados em três grupos básicos: sólidos, líquidos e gasosos. Porém, na prática, esses três grupos podem sofrer combinações entre si, sendo permitido restringi-los a apenas dois grupos: os gases e os particulados (ALMEIDA, 1999).

Segundo GODISH (1991), os principais poluentes atmosféricos ocorrem na forma de gases ou particulados. Estes têm sido objetivo de um considerável número de pesquisas científicas e regulamentações devidas, em parte, aos impactos negativos que eles acarretam sobre a atmosfera, vegetação, saúde humana, animais e materiais.

4.1.4. Efeitos da poluição atmosférica

De acordo com RAVEN *et alii.* (1995) e BOTKIN & KELLER (1995), a poluição atmosférica é a responsável direta pelos efeitos prejudiciais ao meio ambiente, incluindo paisagens naturais, vegetação, animais, solo, água, estruturas naturais e artificiais, como também sobre a saúde humana.

Os efeitos da poluição atmosférica se caracterizam tanto pela alteração de condições consideradas normais como pelo aumento de problemas preexistentes. Esses efeitos podem ser tanto globais como podem ocorrer em níveis local e regional.

Em escala global, os efeitos da poluição atmosférica são caracterizados pela alteração da acidez das águas da chuva (chuva ácida), pelo aumento da temperatura do planeta (efeito estufa) e pela modificação da intensidade da radiação solar, ou seja, aumento da radiação ultravioleta, causado pela depleção da camada de ozônio (RESENDE, 2007).

4.2. Material particulado

Este estudo enfatiza a substância “material particulado” devido ser este o tipo de poluente atmosférico inserido no contexto do presente trabalho.

4.2.1. Conceitualização

Vários autores definem material particulado em suspensão (MPS) e associam, de forma diferenciada, MPS como sendo substâncias em pequenas dimensões de sólidos ou sólido/água, suspensas na atmosfera.

Para LANDSBERGER & BIEGALSKI (1995), as partículas em suspensão ou material particulado em suspensão são formadas por uma combinação de frações sólidas e/ou líquidas no ar ambiente.

De acordo com VASCONCELLOS (1996), MPS são quaisquer substâncias, exceto água pura, que existe no estado sólido ou líquido na atmosfera, que, sob condições normais, possui dimensões microscópicas a submicroscópicas, porém maior do que as dimensões moleculares.

Para UNEP/WHO (1994), MPS é o conjunto de partículas sólidas suspensas e dispersas no ar. Suas propriedades variam em composição química, morfológica (tamanho/forma), parâmetros ópticos (cor/espalhamento da luz) e características elétricas (carga/resistência).

De uma forma geral, o material particulado (MP) se encontra em uma classe de poluentes constituída de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que, devido ao seu pequeno tamanho, se mantém suspenso na atmosfera.

O MP pode ser dividido em dois grupos: primário e secundário.

Os primários são produzidos através de processos químicos e físicos diretamente de fontes de poluição. Podem tanto ser gerados por emissões naturais provenientes de erupções vulcânicas e da ressuspensão do solo em áreas de deserto, por exemplo, quando emissões antropogênicas provenientes de atividades industriais e da combustão de combustíveis fósseis. Segundo RAVEN *et alii.* (1995), as principais fontes primárias de poluição do ar por MP são os processos industriais (exceto queima de combustíveis em veículos) e o transporte (veículos automotores).

As partículas secundárias são formadas na atmosfera como resultado de reações químicas envolvendo gases preexistentes e pode ser produzidas tanto por emissões antropogênicas de gases, quanto por emissões naturais provenientes, por exemplo, da água do mar, de vulcões e de processos de decomposição biológica. (RAVEN *et alii.*, 1995)

A classificação citada por ASSUNÇÃO (1998) sugere a divisão do MP segundo o método de formação em quatro classes: poeiras, fumos, fumaça e névoas.

Poeiras: partículas sólidas formadas geralmente por processos de desintegração mecânica. Tais partículas são usualmente não esféricas, com diâmetro equivalente em geral na faixa acima de 1 μ m. As poeiras de cimento, de amianto e de algodão são alguns exemplos.

Fumos: partículas sólidas formadas por condensação ou sublimação de substâncias gasosas originadas da vaporização / sublimação de sólidos. As partículas formadas são de pequeno tamanho (entre 0,03 – 10,0 μ m), em geral de formato mais esférico. Fumos metálicos (chumbo, zinco, alumínio, etc.) e fumos de cloreto de amônia são alguns exemplos.

Fumaça: partículas principalmente sólidas, formadas na queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira. Contém fuligem (partículas líquidas) e no caso de madeira e carvão, uma fração mineral (cinzas). São caracterizadas por partículas de diâmetro variável entre 1 – 10.000 μ m.

Névoas: partículas líquidas produzidas por condensação ou por dispersão de um líquido (atomização). Apresentam tamanho de partículas em geral maior que 5 μ m. Névoas de óleo de operação de corte de metais, névoas de pulverização de pesticidas, névoas de tanques de tratamento superficial (galvanoplastia) e névoas de ácido sulfúrico são alguns exemplos.

Pacyna (1995) classifica o MP sendo esse dividido em frações denominadas fina (tamanho menor que 2,5 μ m) e grosseira (tamanho maior que 2,5 μ m), e inclui também os respectivos processos de formação dessas frações.

As partículas finas possuem diâmetros menores de 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) e são comumente denominadas partículas respiráveis. Tais partículas são importantes sob ponto de vista de sua deposição no trato respiratório humano, bom como por serem responsáveis pelo maior espalhamento de luz, isto é, pela redução da visibilidade. Além disso, partículas menores podem conter mais substâncias tóxicas do que as partículas maiores.

A fração grosseira (maior que 2,5 μm) é definida como partículas com diâmetros maior que 2 μm geradas por processos mecânicos. As partículas situadas nessa faixa de tamanho, por serem grandes, são susceptíveis à força gravitacional.

Enfim, há sempre divergência sobre a definição precisa do que seja poeira inalável e respirável. O critério da International Organization for Standardisation (ISO, 1995) tem sido adotado. Segundo este critério, a poeira inalável seria a fração em massa das partículas suspensa totais que sejam inaláveis pelo nariz e pela boca, enquanto que a poeira respirável corresponderia à fração em massa das partículas suspensas que penetram no sistema de vias aéreas não ciliares.

4.2.2. Tamanho das partículas

O parâmetro tamanho das partículas é um dos mais importantes no estudo da poluição atmosférica, pois influencia diversos fenômenos associados às partículas suspensas, tais como transporte, deposição atmosférica e a migração através do ambiente, além de efeitos nocivos, e, conseqüentemente, é o fator determinante para seu comportamento. Partículas comportam-se distintamente em diferentes faixas de tamanho e são regidas por diferentes leis físicas. (WILLEKE e BARON, 1993).

Para definir o tamanho de uma partícula usam-se faixas de tamanho que pode ser medida ou calculada. É uma tarefa complexa. Por isso, há inúmeras definições para determinar o tamanho de partículas, que depende da técnica de medição ou do uso para qual o parâmetro é atribuído.

Diâmetro equivalente

Ao analisar uma partícula por uma técnica de medição, o dado registrado em geral corresponde a uma propriedade física específica (ALMEIDA, 1999).

O termo diâmetro equivalente pode ser definido como sendo o diâmetro de uma esfera que possua o mesmo valor, para uma dada propriedade física específica, da partícula irregular que esteja sendo medida. Por exemplo, o diâmetro aerodinâmico equivalente é o diâmetro de uma esfera de massa específica de 1.000 kg/m^3 , que tem a mesma velocidade terminal de sedimentação da partícula em estudo. Por outro lado, quando o movimento de uma partícula é levado em conta, o diâmetro de mobilidade equivalente é o diâmetro de uma esfera que tem a mesma mobilidade da partícula em questão. (WILLEKE e BARON, 1993).

A Figura 4.4 mostra a correlação existente para definições de diâmetro equivalente entre as propriedades e o comportamento das partículas.



Figura 4.4 – Dependência das definições de diâmetro equivalente em função das propriedades e do comportamento das partículas. Fonte: WILLEKE e BARON (1993).

Portanto, diâmetros específicos são determinados pela medida de uma propriedade física específica da partícula relacionada por uma dimensão linear. Por essa razão, uma partícula pode apresentar diferentes diâmetros equivalentes em função da propriedade física avaliada. Exemplo de diâmetros equivalente: diâmetro de sedimentação (d_{sed}), diâmetro de arraste (d_a), diâmetro de superfície (d_s), diâmetro de área projetada (d_{ap}), diâmetro de perímetro (d_p), diâmetro de Feret (d_F), diâmetro mínimo (d_{min}), diâmetro de queda livre (d_{ql}), diâmetro de Stokes (d_{St}), diâmetro máximo ($d_{máx}$), diâmetro de Martin (d_M), diâmetro de volume (d_v).

4.2.3. Fontes de emissão de material particulado no setor minerometalúrgico

As atividades de mineração produzem predominantemente poeira fugitiva. Uma lavra a céu aberto com produção anual de três milhões de toneladas por ano, produzirá cerca de 10 toneladas de poeira por dia. A poluição por gases a partir da mineração é pouco significativa, e em geral se restringe à emissão dos motores das máquinas e veículos usados na lavra e beneficiamento do minério (CURI, 2002).

As principais áreas fontes de particulado pela mineração, segundo a ECOSOFT (2012) incluem:

As áreas expostas - são fontes sujeitas à ação do vento que sofrem erosão superficial emitindo poeira, mesmo que não apresentem movimentação de material ou tráfego de máquinas e veículos. Estas ocorrem com maior frequência nas atividades de mineração devido à necessidade de remoção da vegetação para a lavra do minério. Em geral as cavas das minas apresentam grandes extensões de áreas sujeitas ao arraste eólico (ver Figura 4.5 e 4.6).

O principal mecanismo de emissão em uma área exposta é o arraste eólico das partículas finas e livres existentes nas superfícies expostas. A emissão de MP e MP₁₀ em uma área erosiva exposta têm como variáveis importantes para a sua caracterização:

- A dimensão da área suscetível ao arraste eólico;
- O teor de finos do material superficial;
- O teor de umidade do material da superfície;
- A precipitação pluviométrica;
- A velocidade do vento.



Figura 4.5 – Serra do Engenho. Fonte À esquerda: www.dzai.com.br, foto tirada em 08 de junho de 2009, superior direita: desconhecida, inferior direita: SANDOVAL (2008).



Figura 4.6 – Área de depósito de minério de Ferro. Fonte: FERREIRA (2012).

As pilhas de materiais – a formação de pilhas de materiais, que normalmente ocorre a céu aberto, é inerente às operações de manuseio de grandes quantidades de materiais fragmentados. As emissões de poeira em pilhas ocorrem nas diversas fases do ciclo de estocagem de material: (1) carregamento da pilha, (2) erosão eólica no material estocado e (3) retirada do material da pilha. A movimentação de caminhões e equipamentos de carga e descarga sobre a pilha ou ao seu redor também provoca emissão de poeira.

A quantidade de poeira emitida por uma pilha de materiais fragmentados varia em função da quantidade de material nela movimentado. São informações importantes para a caracterização das emissões em uma pilha:

- A área superficial da pilha;
- O ciclo de formação e recuperação da pilha;
- O teor de umidade do material superficial;
- O teor de finos do material superficial;
- A velocidade do vento incidente na pilha;
- A precipitação pluviométrica;
- A geometria da pilha e sua suscetibilidade à ação dos ventos.

Em geral, quando uma pilha está em formação ou quando está sendo recuperada, o seu potencial de emissão de poeira atinge o nível máximo, visto que materiais finos porventura existentes na superfície da pilha são facilmente arrastados e lançados na atmosfera pelas correntes de vento incidentes. À medida que os materiais mais finos vão sendo arrastados, permanecem sobre a superfície da pilha os materiais de maior granulometria, cujo arraste eólico é mais difícil. Se não ocorrerem novas perturbações na pilha, com o passar do tempo, a emissão de MP é significativamente reduzida, exceto se todo o material da pilha apresentar granulometria muito fina.

A umidade causa a agregação dos materiais finos na superfície das partículas mais grossas reduzindo o potencial de emissão.

Semelhante às áreas expostas, a emissão de poeira nas pilhas de materiais varia substancialmente em função de condições meteorológicas, tais como velocidade do vento incidente na pilha, chuvas, etc. Portanto, as taxas de emissão de MP em pilhas de materiais podem variar tão dinamicamente quanto às condições meteorológicas do local.

Frentes de lavra - as emissões de material provenientes das frentes de lavra geralmente ocorrem devido à movimentação do material lavrado. Em uma frente de lavra os minérios e estéreis são constantemente removidos das bancadas por escavadeiras que alimentam caminhões. Essa intensa movimentação de material fragmentado proporciona

a desagregação da fração fina porventura existente no minério e estéreis, sendo lançada para a atmosfera.

Outra fonte descontínua de emissão de poeira nas frentes de lavra são as explosões para o desmonte a fogo das bancadas (detonação), geralmente necessárias onde o solo ou mineral é mais compacto ou em rochas sãs. Esta operação antecede a retirada de minérios com as escavadeiras. Os explosivos são instalados a certa profundidade ao longo do trecho a ser preparado para lavra. As ondas de choque provocadas pela explosão, juntamente com a expansão dos gases ocasionam o lançamento de partículas ao ar. As principais variáveis para quantificação das emissões de desmonte a fogo são:

- Consumo de explosivo;
- Tipo de explosivo;
- Número de detonações por dia;
- Área superficial da região detonada;
- Profundidade dos furos.

As principais variáveis para quantificação das emissões de escavação são:

- Tempo de escavação por dia;
- Quantidade de material lavrado;
- Umidade do material lavrado;
- Teor de finos do material lavrado.

Acessos - quando um veículo trafega em uma via, além dos gases de combustão emitidos pelo escapamento, o atrito e a pressão exercida pelas rodas na superfície da via causam a pulverização do material superficialmente disposto. As partículas aderem e soltam-se das rodas dos veículos. A turbulência no ar provocada pelo deslocamento do veículo arrasta partículas da superfície dos acessos. Assim em um acesso, existe uma parcela de poeira emitida pelo escapamento e outra emitida por suspensão de partículas existentes de sua superfície.

A quantidade de poeira emitida em uma estrada varia linearmente com o volume e velocidade do tráfego incidente sobre a mesma. Além da emissão por tráfego de veículos, a estrada também está sujeita ao arraste eólico, assim como ocorre em uma área exposta. São variáveis importantes para a quantificação das emissões de poeira e gases em acessos de mina:

- Fluxo dos veículos;
- Massa média dos veículos que trafegam na via;
- Umidade superficial da via;
- Teor de finos da superfície da via;
- Tipo de combustível usado na frota de veículos;
- Precipitação pluviométrica;
- Quantidade de combustível consumido pelos veículos.

Instalações de britagem e peneiramento de materiais – a movimentação de materiais nos britadores e peneiras faz com que as partículas finas de poeira contidas no minério se desagreguem com consequente geração de poeira. As características construtivas desses equipamentos, geralmente enclausurados, reduzem a emissão de poeira para o ambiente. São variáveis importantes para a caracterização das emissões de material particulado no processo de britagem:

- Quantidade movimentada de material;
- Umidade do material a ser beneficiado;
- Sistema de carregamento dos britadores e peneiras;
- Altura de queda do material na transferência para os britadores e peneiras.

Áreas de transferência de materiais - os materiais a granel (exemplo: minério de ferro) é transportado desde a sua lavra na mina até o embarque final em vagões e caminhões de transporte. Nesse percurso existem diversos pontos de transferências onde ocorrem as emissões de material particulado. As transferências de materiais ocorrem nas operações de carregamento e descarregamento de caminhões, em pontos de

transferência de circuitos de transportadores contínuos (exemplo: transportadores de correia). As principais variáveis para a caracterização deste tipo de fonte emissora são:

- Quantidade movimentada de material;
- Umidade do material transportado;
- Altura de queda do material;
- Teor de finos do material transportado.

Fontes pontuais (chaminés) - as emissões que ocorrem por chaminés, também denominadas emissões pontuais, normalmente são provenientes de processos produtivos, de combustão ou exaustão de ar ou gases, que geralmente são precedidos por sistemas de controle, tais como filtros de mangas, precipitadores eletrostáticos e lavadores de gases. As principais variáveis para a caracterização deste tipo de fonte emissora são:

- Vazão de gases;
- Temperatura dos gases;
- Concentração de poluentes no fluxo gasoso;
- Altura da chaminé;
- Diâmetro interno do topo da chaminé.

Na indústria siderúrgica integrada a coque, o material particulado é emitido para a atmosfera em praticamente todas suas unidades de processo de produção de aço.

Na unidade de coqueificação ocorre o beneficiamento do carvão mineral para a obtenção de coque. O carvão é descarregado nos pátios de estocagem e empilhado através de equipamentos pesados. Normalmente, são estocadas quantidades além da produção para constituir reserva, em caso de interrupção no suprimento. Depois de retirado das pilhas, segue para a unidade de britagem e, após ser reduzido a uma granulometria adequada, é levado para os silos de estocagem. Os silos são dotados de mesas dosadoras que extraem a quantidade exata a ser depositada em correias transportadoras que, por sua vez, alimentam os moinhos de martelos. Novamente, o carvão é reduzido, antes de ser levado aos fornos de combustão. Os fornos de

combustão de coque são constituídos de retortas de seção retangular, colocadas lado a lado e intercaladas por câmaras de aquecimento, onde é queimado o gás produzido pela própria coqueria, denominado COG (gás de coqueria). O coque produzido é levado pelo carro de carregamento até a torre de extinção e é resfriado por jatos de água sob pressão. Após resfriamento, o coque é levado à unidade de britagem e peneiramento, onde é reduzido às condições ideais para ser utilizado no alto-forno (FIGUEIREDO, 1985).

As emissões de material particulado na coqueria são em decorrência dessas etapas de manuseio, preparo de insumos e matérias-primas e, também, das etapas de enforamento, desenforamento e extinção de coque.

Na sinterização, minério de ferro fino, finos de carvão e fundentes são aglomerados de forma adequada para o carregamento no alto-forno. A mistura é depositada em camadas sobre uma esteira formada por grelhas. Após a ignição na superfície da mistura, o ar é aspirado pelo exaustor, fazendo com que a frente de combustão caminhe até a grelha. Com a queima são gerados gases e material particulado. O sínter formado é quebrado e resfriado, sendo transferido por correias transportadoras para a unidade de peneiramento, em que é reduzido e resfriado, sendo depois utilizado no alto-forno.

No alto-forno, o minério é convertido em ferro-gusa. A redução dos óxidos de ferro ocorre a medida que o minério, o coque e os fundentes descem em contra-corrente aos gases gerados no próprio alto-forno e ao ar quente soprado nas ventaneiras.

As emissões nas áreas de sinterização e de altos-fornos são também em decorrência das etapas de manuseio, preparo de insumos e matérias-primas.

Nas aciarias ocorre a conversão do ferro-gusa em aço. Essa conversão se faz pelo carregamento da carga sólida, do ferro-gusa líquido e o sopro do oxigênio em um convertedor. Após as reações de oxidação, o aço é formado e é vazado nas lingoteiras, de onde segue para a unidade de resfriamento. Depois segue para a unidade de escarfagem (processo que consiste na retirada de um camada superficial das placas de aço, a fim de eliminar os defeitos). As emissões na unidade da aciaria ocorrem pela queima de combustível nos fornos de aquecimento, pelo processo de dessulfuração do ferro-gusa e na etapa de escarfagem.

A queima de combustíveis utilizados nos fornos para aquecimento de placas das áreas de laminação a quente e a frio geram também particulados que têm grande facilidade de dispersão devido sua baixa densidade.

4.2.4. Efeitos da poluição por material particulado

As grandes quantidades de partículas finas, geradas principalmente pela exploração e processamento mineral, podem ocasionar diversos impactos ambientais como redução da visibilidade; desequilíbrios estéticos sobre casas, automóveis e roupas; descoloração e erosão de edifícios; corrosão de metais; danos a equipamentos; impactos na qualidade das águas e na vida aquática; contaminação de análises laboratoriais (presença de contaminantes aéreos); impactos negativos sobre o desenvolvimento turístico e, principalmente, dano à saúde humana (operadores e população) ocasionados por enfermidades respiratórias, alergias, erupções bicais, reações tóxicas, entre outros. (RIPLEY, 1996; CRAM, 2004; RUEDA et. al., 2005).

Os efeitos adversos provocados a saúde pelo material particulado varia de acordo com as faixas de tamanho. Partículas “muito grandes” (aproximadamente 15 μm ou maiores) quando inaladas, não ultrapassam as vias respiratórias superiores, sendo removidas ainda no nariz e garganta, não alcançando, portanto, os pulmões. Partículas “menores” (PM_{10} – aproximadamente 10 μm ou menores), quando inaladas, podem chegar até o sistema respiratório inferior, alcançando assim os alvéolos pulmonares.

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo – CETESB (2007), o nível de poluição do ar vem a ser a quantificação das substâncias poluentes presentes no mesmo. Considera-se poluente toda e qualquer substância presente no ar, e que, pela sua concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, ou possa trazer qualquer prejuízo direta ou indiretamente ao bem estar público.

Até 1989, a legislação brasileira preocupava-se apenas com as "Partículas Totais em Suspensão", ou seja, com todos os tipos e tamanhos de partículas que se mantêm suspensos no ar, ou seja, partículas menores que 100 μm . As maiores partículas são associadas a combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros

materiais da crosta terrestre, que apresentam características básicas, podendo apresentar elementos como silício, titânio, alumínio, ferro, sódio e cloro. Pólenes e esporos de plantas também se encontram nesta faixa.

Em 1970, a agência responsável pela proteção ambiental nos Estados Unidos da América – USEPA (*US Environmental Protection Agency*) identificou como principais poluentes atmosféricos o ozônio, o dióxido de nitrogênio, o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono e o material particulado inalável. Estas partículas inaláveis possuem diâmetro menor ou igual a 10 µm e podem atingir as vias aéreas inferiores. É por esta razão que a EPA ressaltou a determinação do controle destas partículas. Este material particulado inalável apresenta uma característica importante que é a de transportar gases absorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão. (SALDIVA *et alli*, 2002).

Pesquisas recentes mostram que partículas mais finas, em geral aquelas com diâmetros menores que 10 µm, penetram mais profundamente no aparelho respiratório e são as que apresentam efetivamente mais riscos à saúde. A deposição na região traqueo - bronquial e pulmonar é típica de partículas menores que 10 µm, sendo elas as de efeito mais adverso à saúde humana. Consequentemente, a legislação brasileira passou, a partir de 1990, a se preocupar também com estas partículas classificadas como "partículas inaláveis" fixando os padrões primários e secundários deste poluente por meio da resolução CONAMA 3 de 1990. (Tabela 4.3).

- Padrões primários de qualidade do ar: concentrações que quando ultrapassadas poderão afetar a saúde da população exposta (pode-se entender como padrões máximos toleráveis). Aplicáveis para curto e médio prazo.
- Padrões secundários de qualidade do ar: se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, bem como o mínimo dano à fauna, à flora e ao meio ambiente em geral. Aplicável para longo prazo.

Para determinar a qualidade do ar foi criado o índice de qualidade do ar – IQA, pela CETESB, que fornece a população uma ideia do grau de poluição do ar a que esta está submetida. Os poluentes que poluem a atmosfera são diversos, mas, são considerados

no cálculo do IQA apenas os mais comuns, presentes nas áreas urbanas e industriais cotidianas.

São sete os poluentes englobados no IQA: Dióxido de enxofre, Poeira total em suspensão ou material particulado total, Material particulado inalável, Fumaça, Monóxido de carbono, Ozônio, Dióxido de nitrogênio.

Tabela 4.3 – Resolução Conama nº 3 de 28/06/1990 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

POLUENTES	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PADRÃO SECUNDÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	24 horas ¹	240	150	Amostrador de Grande
	MGA ²	80	60	Volume
Dióxido de Enxofre	24 horas ¹	365	100	Pararosanilina
	MMA ³	80	40	
Monóxido de Carbono	1 hora ¹	4000 (35 ppm)	4000 (35 ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas ¹	10000(9 ppm)	10000(9 ppm)	
Ozônio	1 hora ¹	160	160	Quimioluminescência
Fumaça	24 horas ¹	150	100	Reflectância
	MMA ³	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas ¹	150	150	Separação Inercial
	MMA ³	50	50	Filtração
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ¹	320	190	Quimioluminescência
	MMA ³	100	100	

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

2 - Média geométrica anual.

3 - Média aritmética anual.

As partículas superiores a 10 μm são retidas pelas vias respiratórias enquanto que aquelas com diâmetros entre 2,5 e 10 μm atingem os brônquios e bronquíolos. Já os alvéolos são afetados somente com partículas menores que 2,5 μm . Estas partículas são provenientes da combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoelétricas. As partículas causam ainda danos à estrutura e à fachada de edifícios, à vegetação e são também responsáveis pela redução da visibilidade. (GOMES, 2002).

A classificação de partículas é baseada em termos do tamanho de partículas que conseguem atravessar os vários canais do sistema respiratório humano. Desse modo, as partículas podem ser classificadas como: inaláveis (IPM), torácicas (TPM) ou respiráveis (RPM). Esta classificação foi adotada a partir de 1993 pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), pela International Organization for Standardization (ISO) e pelo European Standardization Committee (CEN).

- Partículas inaláveis (IPM): partículas que se depositam em qualquer região do trato respiratório, com diâmetro médio de 100 μm .
- Partículas torácicas (TPM): partículas que se depositam em qualquer região dos canais pulmonares e na zona de troca gasosa, com diâmetro médio de 10 μm .
- Partículas respiráveis (RPM): partículas que se depositam na região das trocas gasosas, com diâmetro médio de 4 μm .

A figura 4.7 mostra a penetração das partículas no trato respiratório em função de seu tamanho.

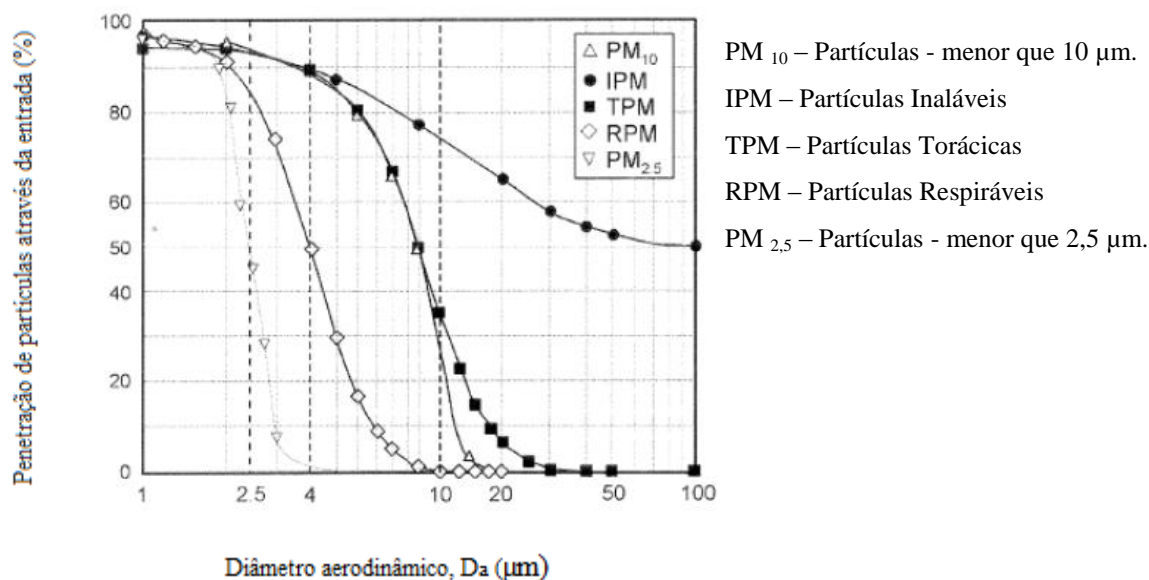


Figura 4.7 – Curva de penetração de partículas no sistema respiratório em função de seu tamanho. Fonte: USEPA (2004).

Segundo Torres e Martins (2005), a concentração de um poluente na atmosfera é determinada ao medir o grau de exposição dos receptores como resultado final do

processo de lançamento do mesmo por suas fontes de emissão e suas interações atmosféricas, físicas (diluição) e químicas (reações químicas), como pode observar no esquema da Figura 4.8.

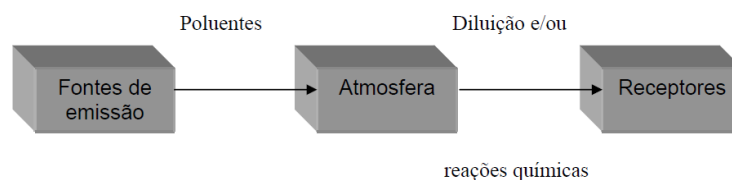


Figura 4.8 – Processo de determinação de poluente na atmosfera. Fonte: Torres & Martins (2005).

Com isso, afirma-se que mesmo mantidas as fontes de emissão, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, determinando uma maior ou menor diluição dos poluentes. Por isso, observamos que no inverno a qualidade do ar piora com relação aos parâmetros monóxido de carbono, material particulado e óxido de sílica, já que as condições meteorológicas, nesta estação, são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes (estabilidade atmosférica). A interação entre as condições atmosféricas e as fontes de poluição é que vai definir o nível de qualidade do ar, que por sua vez determina o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores. (TORRES & MARTINS, 2005).

A Norma Regulamentadora número 15 - NR 15, do Ministério do Trabalho, Portaria nº 8 de 5/10/1992, estabelece limite de tolerância (LT) para poeiras minerais respiráveis (poeira inalável – com jornada de até 48 h semanais). Esta norma também descreve as atividades, operações e agentes insalubres, inclusive seus limites de tolerância, definindo, assim, as situações que, quando vivenciadas nos ambientes de trabalho pelos trabalhadores, ensejam a caracterização do exercício insalubre, e também os meios de proteger os trabalhadores de tais exposições nocivas à sua saúde.

O limite de tolerância (LT) é dado em função do teor percentual de sílica livre cristalizada (t_{SiO_2}) nos particulados e calculado, em mg/m^3 , pela equação (1):

$$LT = \frac{8}{t_{SiO_2} + 2} \quad (1)$$

Luz (2008) e Silva (2013) citam como exemplo da ubiquidade desse problema o controle de poluição em minas com transporte por caminhões, geralmente quantificada através do chamado fator de emissão, o qual se expressa em gramas por veículo e por quilômetro viajado. Uma estimativa do fator de emissão é dado por (Ontario Ministry of Environment, 1999):

$$E_v = 1,7 \times k \times \left(\frac{s}{12\%}\right) \times \left(\frac{v}{48 \text{ km/h}}\right) \times \left(\frac{m_v}{2,7 \text{ t}}\right) \times \left(\frac{n}{4}\right) \times \left(\frac{365 - d_c - d_n}{365}\right) \quad (2)$$

Onde: s – teor percentual de silte na estrada [%]; v – velocidade do veículo [km/h]; m_v – massa do veículo [t]; n – número de rodas do veículo [-]; d_c – dias chuvosos no ano (com precipitação mínima de 0,254 mm) [-]; d_n – dias com neve no ano [-].

Na equação anterior, k pode ser expresso (com coeficiente de correlação estatística: $R^2 = 0,999$, segundo Luz, 2008) pela equação de Rosin-Rammler, em função do tamanho máximo considerado (em micrômetros):

$$k = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d_{p_max}}{20,2 \mu\text{m}} \right)^{1,12} \right] \quad (3)$$

4.2.5. Arcabouço conceitual da dispersão de particulados na atmosfera

A precipitação pluviométrica e a velocidade do vento são variáveis meteorológicas que muito interferem nos processos de emissão de poluentes (notadamente de partículas). A chuva está relacionada ao controle natural da emissão de poluentes, visto que a umidade superficial proporcionada pela precipitação reduz o potencial do arraste eólico de superfícies expostas, o qual é maior quanto maior a velocidade do vento incidente nessas superfícies.

A densidade de probabilidade da distribuição estatística do módulo da velocidade do vento costuma ter boa aderência à distribuição de Rosin-Rammler-Sperling-Benett

(comumente referida como distribuição de Rosin-Rammler, e que é caso particular da distribuição de Weibul). Sua densidade de probabilidade é expressa, então, por:

$$f(v) = \frac{n}{v^*} \times \left(\frac{v}{v^*}\right)^{(n-1)} \times \exp\left[-\left(\frac{v}{v^*}\right)^n\right] \quad (4)$$

A distribuição de Rosin-Rammler-Sperling-Benett acumulada é dada por:

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{v^*}\right)^n\right] = 1 - \exp\left[\ln\left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{v}{v_{50}}\right)^n\right] \quad (5)$$

Onde: n – agudez da distribuição [-]; v^* – fator regressional de escala da distribuição [m/s]; v_{50} – velocidade mediana da distribuição [m/s].

Amarante *et al.* (2010) citam para a região de Congonhas o valor de $n = 2,6$ (à cota de 75 m acima do solo, obtido por modelagem de mesoescala com o *software* MesoMap©).

A velocidade do vento depende da cota acima do terreno, da rugosidade do relevo e dos fenômenos de estratificação térmica. Os valores para outras cotas podem ser obtidos a partir da expressão:

$$v(z) = \frac{v_0}{K} \times \left\{ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + \psi\left(\frac{z}{L}\right) \right\} \quad (6)$$

Onde: v_0 é a velocidade conhecida na cota de referência z_0 [m/s]; z é a cota de estimativa da velocidade do vento [m]; K é o fator de rugosidade de von Kármán [m/s]; L é o parâmetro de estratificação térmica [m]; ψ é a função que leva em conta a estratificação térmica [-].

O fator de rugosidade tem valor aproximado: $K \approx 0,4$; sendo que os valores reportados variam entre 0,35 e 0,42 (Baldocchi, 2012; Buske *et al.*, 2012). Bauer *et al.* (2002) e Creyssels *et al.* (2009) registram o valor $K = 0,41$. Para estimativa a pequenas altitudes, o componente que leva em conta a estratificação térmica na atmosfera pode ser desprezado.

Naturalmente, antes do espalhamento da suspensão pelos ventos tem que haver a incorporação das partículas ao fluxo de ar. Um parâmetro para se quantificar a velocidade mínima de vento que carrega a poeira é a chamada velocidade limiar de saltação (*saltation threshold velocity*), a qual tem sido estudada há décadas. A figura 4.9 ilustra os valores obtidos para esse parâmetro, em função do diâmetro de partícula em areia de quartzo, por vários pesquisadores (Kok, 2010; Kok *et al.*, 2012).

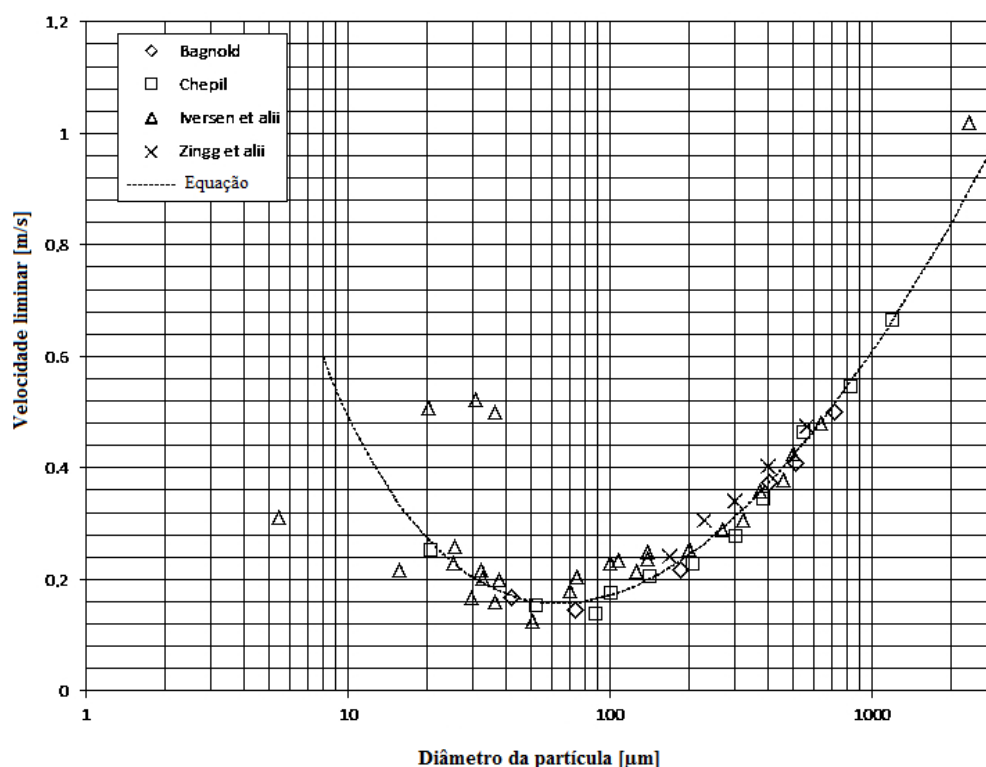


Figura 4.9 – Velocidade limiar (*threshold velocity*) com dados de vários pesquisadores, extraídos via digitalização de figura de Kok *et al.* (2012).

Portanto, a velocidade limiar de saltação, na qual as partículas sedimentadas iniciam seu movimento de carreamento pelo vento é muito importante. Entretanto, esse tratamento é mais adequado a partículas maiores que 0,1 mm (Kok, 2010; Kok, 2012). Tipicamente, como sumarizam Kok *et al.* (2012).

Por outro lado, a dispersão eólica a distância acentuada se restringe a particulados de granulação fina, cuja velocidade de sedimentação esteja no regime stokesiano. A equação de Stokes pode ser formalmente derivada substituindo o valor do coeficiente de arraste no regime laminar na equação genérica da velocidade terminal. Num caso mais genérico resulta:

$$v = \frac{d_p^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_f)}{18 \cdot \eta} \times f(c_v) \times f(\psi) \times f_{Cunn} \quad (7)$$

Onde: v é a velocidade de sedimentação em m/s; d_p é o diâmetro da partícula em m; g é a aceleração da gravidade em m/s^2 ; ρ_s é a massa específica da partícula (sólido) em kg/m^3 ; ρ_f é a massa específica do fluido em kg/m^3 ; η é a viscosidade dinâmica do fluido dada em Pa.s; $f(c_v)$ é a correção devida à concentração volumétrica [-]; $f(\Psi)$ é a correção devida à morfologia das partículas [-]; f_{Cunn} é a correção que leva em conta o movimento browniano das partículas [-].

Segundo Luz (2009) a correção devida à fração volumétrica de sólidos é dada por:

$$f(c_v) = (1 - c_v^{0,919})^{4,681} \quad (8)$$

As equações para determinação das velocidades terminais para partículas não esféricas devem ser afetadas de coeficiente de correção morfológica (também multiplicativo), o qual não foi quantificado com rigor até o presente. As mais correções usualmente empregadas são os coeficientes ($f(\psi)$) baseados na esfericidade, como aqueles devidos a Pettyjohn e Christiansen (apud Geldart, 1990). No regime de Stokes tem-se:

$$f(\psi)_s = 0,843 \times \log\left(\frac{\psi}{0,065}\right) \quad (9)$$

Na realidade há uma descontinuidade intrínseca dos fluidos em decorrência da teoria atômico-molecular. Formalmente, temos considerado que o percurso livre das moléculas (λ) é muito menor que a dimensão das partículas. Geralmente, quando o diâmetro das partículas for menor que vinte vezes o percurso médio livre das moléculas

do meio fluido, torna-se necessária a aplicação da correção de Cunningham. Em outras palavras não se pode, nessa situação, desprezar-se o movimento browniano das partículas.

O chamado *percurso livre médio das moléculas* representa a média estatística do comprimento de arco das trajetórias das partículas entre colisões sucessivas. Usando a abordagem clássica de Loschmidt, pode-se mostrar que:

$$\lambda = \frac{k \times T}{\sqrt{2} \times \pi \times d^2 \times p} \quad (10)$$

Onde: **k** é a constante de Boltzman ($k = R/N_{Av} = 1,38062 \times 10^{-23}$) [J/K]; **T** é a temperatura absoluta [K]; **d** é o diâmetro equivalente médio das moléculas [m]; **p** é a pressão do fluido [Pa].

Para o caso específico do ar a 25 °C: $\lambda \approx (5,5 \times 10^{-5})/p$ (com pressão, **p**, dada em Torricellis). É comum admitir-se, para o ar a 1 atm e a temperatura ambiente, o valor: $\lambda = 66$ a 68 nanômetros. A correção de Cunningham é dada pela equação, em função de três parâmetros empíricos (**A**₁, **A**₂ e **A**₃):

$$f_{Cunn} = \frac{1}{1 + \frac{2 \times \lambda}{d_p} \times \left[A_1 + A_2 \times \exp\left(-\frac{A_3 \times d_p}{\lambda}\right) \right]} \quad (11)$$

Segundo Davies (1945), para o ar, tem-se: **A**₁ = 1,257; **A**₂ = 0,400; e **A**₃ = 0,550. Entretanto, Jennings (1988), mostra que valores mais precisos para o ar são: **A**₁ = 1,252; **A**₂ = 0,399; e **A**₃ = 1,10 (e percurso médio livre do ar seco de 66,35 nm, a 23° C e 10.130 Pa).

As equações (7) a (11) dizem respeito à sedimentação de particulados em suspensão. Embora essas equações sejam totalmente aplicáveis, a modelagem de plumas de contaminação atmosférica é em geral feita pela clássica abordagem da pluma gaussiana, levando-se em conta as condições atmosféricas reinantes.

5. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Apesar das diversas fontes e formas de poluição citadas, o que se vê *in loco*, indica que as maiores fontes de poeira são, principalmente, as frentes de lavra, áreas desnudas, movimentação de veículos dentro das minas, construção de pilhas de estéril e trabalhos de terraplanagem para expansão das diversas unidades das minas.

Para uma afirmação real da situação, é necessário identificar a origem da poeira, o que se torna complexa devido a grande quantidade de fontes geradoras e suas proximidades entre si, e ainda associadas ao relevo da região (que conta com a Serra da Moeda vista como uma barreira física do vento) e a instabilidade dos ventos (direção, sentido e velocidade).

5.1. Técnicas para contenção de material particulado na mineração

Na atividade de extração de minérios um dos principais riscos à saúde é a exposição à poeira. Portanto, é de se esperar que as mineradoras busquem formas de amenizar este impacto, a fim de proporcionar um ambiente sadio aos operários e a população que vive no entorno das operações.

Além de dados revelarem que o melhor custo benefício seja prevenir a remediar, leva-se em consideração que a preocupação com o meio ambiente e até mesmo com a saúde de trabalhadores e outros expostos a certas atividades surgiu apenas de uns anos para cá. E hoje, um dos grandes desafios das mineradoras em todo o mundo é adotar medidas de higiene ocupacional para redução da exposição ao pó. (REVISTA PROTEÇÃO, 2008).

Segundo Walker (1997), a solução mais óbvia para o controle de poeira na mineração está no fato de ser a fragmentação a chave para a produção de particulados; quanto maior o manuseio dispensado a um material, maior será a disponibilidade desse material de fragmentar em frações suficientemente pequenas para formar poeira. Dessa forma, o autor apresentou algumas técnicas visando o controle da poluição por material particulado na mineração:

- a) Revegetação de taludes finais – beneficia a redução da geração de poeiras e auxilia no restabelecimento do ecossistema, porém, apesar de ser uma boa solução, o resultado é em longo prazo.
- b) Sistemas tradicionais de aspersão com o uso de água em vias de transporte – tem um efeito positivo, porém temporário. Um novo produto utilizado na forma diluída provou ser bastante eficiente, trata-se do *Coherex*, uma resina a base de petróleo e agentes umectantes que atua como um inibidor do particulado.
- c) Uso de *sprays* d'água junto ao britador – tem o intuito de minimizar a geração de particulado devido à abrasão sofrida pela rocha no processo da cominuição. Tem eficácia limitada.
- d) Novo sistema de controle de particulado com o uso de *sprays* d'água, *Dust-Buster* – baseado na produção de espumas as quais são injetadas nas áreas de atrito de britadores, peneiras vibratórias e pontos de transferência de minérios. Tem como vantagem o aumento da área de superfície de coleta e à reduzida quantidade de água utilizada, 80 a 90% menor se comparada a técnicas tradicionais.

Em 2008, a Rio Paracatu Mineração (RPM) desenvolveu um Programa de Higiene Ocupacional que, pelos resultados obtidos na redução das concentrações de poeira, recebeu o troféu Proteção Brasil de Melhor *Case* de Higiene Ocupacional. Para essa efetiva redução da exposição à poeira, a RPM afirmou ter investido prioritariamente em medidas de engenharia. Segundo relata, em algumas situações a redução foi de quase 24 vezes em relação às concentrações dos limites de tolerância para poeira total e respirável, além da ‘ocorrência zero’ de doença ocupacional relacionada à exposição à poeira. As medidas tomadas foram várias, como, no setor de britagem, considerado um dos mais críticos, foi instalado dois aspersores de água sobre as correias transportadoras. A névoa de água repercutiu uma redução significativa da geração de pó durante o transporte do material. Na descarga de caminhões, no sistema de britagem, foram instaladas borrachas laterais com tramas de fibra ao longo do corpo da estrutura da cobertura das moegas, formando uma “cortina” para contenção da poeira gerada. Na lavra, a redução da poeira foi alcançada com o uso de caminhões-pipa com boa eficiência nos bicos aspersores de água e controles dentro da cabine, com estes

realizando uma “ronda 24 horas” para aspersão de todas as áreas da mina. Nos acessos às frentes de trabalho foi colocada uma camada de brita visando, além de reduzir a poeira, melhorar o acesso dos equipamentos e diminuir o uso das motoniveladoras, outras grandes geradoras de pó. (REVISTA PROTEÇÃO, 2008).

No Porto de Tubarão, no Espírito Santo, a Vale também utiliza de várias técnicas para conter o material particulado suspenso, a fim de minimizar os problemas ambientais e sociais locais causados pela poeira. Apesar de a população local ter em mente que a empresa não cumpria seu papel com o controle de emissão de particulados, a empresa comprovou, por meio do relatório anual do IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente do Espírito Santo, em 2007, a classificação como boa a qualidade do ar em toda a Grande Vitória, inclusive na região de Camburi. Para o controle, a Vale adotou, à época, equipamentos de controle ambiental a fim de reduzir a contaminação do ar da Grande Vitória, tendo alcançado uma redução de aproximadamente 77,4% na emissão de poeira no pátio de pelotas (RODRIGUES, 2010). Os dispositivos adotados incluem:

- a) Lavador de pneus – estruturas localizadas estrategicamente nas saídas dos pátios de estocagem de minério a fim de evitar que os carros e caminhões levem consigo partículas poluentes.
- b) Supressor de poeira (*dust suppressants*) – produto comumente utilizado nas atividades de mineração para abatimento de material particulado proveniente de fontes difusas. São aplicados através de sistemas de aspersão (sprays) que previnem e controlam as emissões. Incluem sistema de aspersão de água ou de produtos químicos que proporcionam um abatimento (OLIVEIRA & RUBIO, 2007). Existem diversas classes de *dust suppressants*, sendo as principais a água, os sais higroscópicos, os produtos orgânicos derivados do petróleo, os produtos orgânicos não derivados do petróleo, as emulsões de polímeros sintéticos, os mulches de fibras de madeira ou de papel, os produtos eletroquímicos e as misturas que combinam componentes provenientes destas categorias (EPA, 2004).
- c) Precipitador eletrostático – equipamento de coleta e contenção de poeira em fontes de emissão. Trata-se de uma gigantesca caixa de aço dotada de câmaras

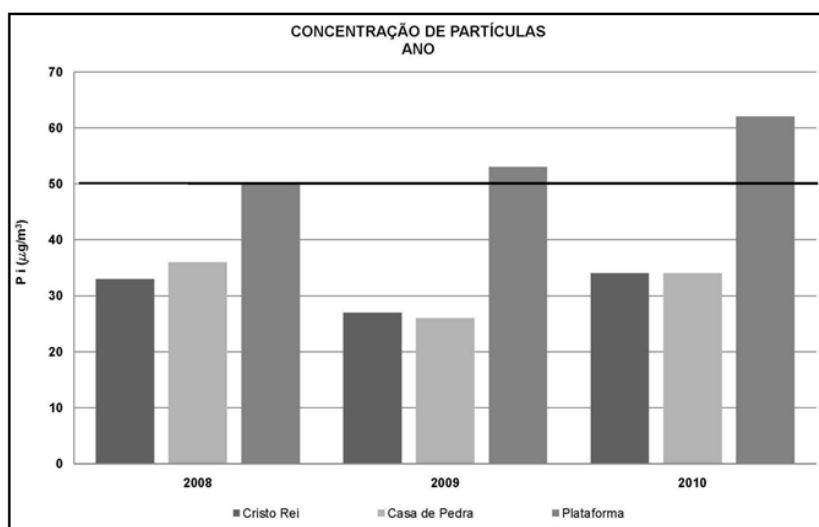
de placas metálicas e eletrodos que, submetidas à alta voltagem, produzem um campo eletrostático no qual as placas metálicas recebem carga elétrica positiva que atraem e retêm as partículas ionizadas (em carga negativa) antes que elas alcancem a chaminé.

- d) Aspersão nos viradores de vagões – sistema utiliza água e ar comprimido (com adição de tenso ativo), asperge uma névoa de micro bolhas durante o descarregamento de minério, evitando a emissão de particulados nos viradores de vagões.
- e) Aspersão sobre correias transportadoras – sistemas de aspersão posicionados sobre as correias para evitar a geração de poeira durante o manuseio das pelotas, além de aspersão nos pátios de estocagem.
- f) Umectação das vias com caminhão-pipa – utiliza-se água reaproveitável dos processos de pelletização e peneiramento para contenção de emissões atmosféricas devido ao arraste do vento e também ao trânsito de veículos.
- g) *Wind Fence* (barreira de vento) – é uma cerca de aproximadamente 20 metros de altura, com tamanho superior ao das pilhas de pelotas dos pátios de estocagem para evitar que o vento arraste a poeira.

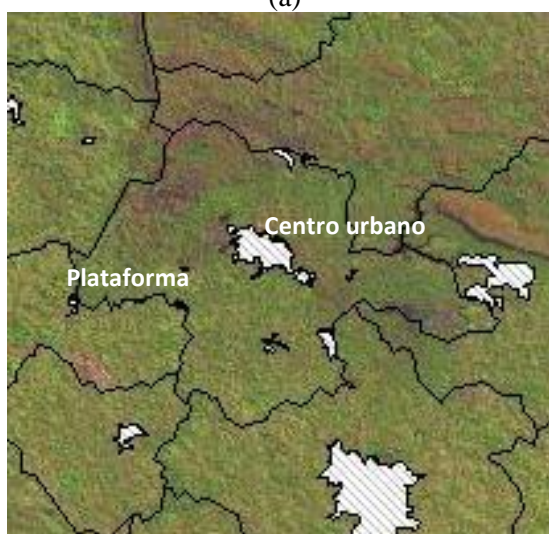
A Samarco Mineração S.A. divulgou dentro do Plano Básico Ambiental – Gestão Ambiental do Empreendimento da atividade que seria implantada, *Instalação e Operação da Linha 03 de Mineroduto*, formas de conter e prevenir as emissões atmosféricas (como poeiras fugitivas e gases gerados nas detonações controladas). O controle das emissões seria através da aspersão de água com caminhão-pipa nas estradas, acessos, pátios e demais áreas onde há a movimentação de veículos. Segundo a Brandt, empresa responsável pelo Plano de Gestão da Samarco, a aspersão de água tem como objetivo aumentar a umidade dos pisos e desta forma minimizar a emissão de material particulado durante o tráfego nos acessos. (BRANDT, 2010).

Segundo Milanez & Alamino (2011), a CSN – Mina Casa de Pedra, afirma fazer aspersão com água e aplicação de polímeros constantemente sobre fontes de poeira, como em pilha de estéreis e estradas não pavimentadas, como forma de tentar mitigar os impactos atmosféricos causados pela poeira. Porém os dados apresentados na Figura 5.1

mostra que a concentração de partículas inaláveis esteve acima do limite definido pela Resolução CONAMA 03 de 1990 no bairro Plataforma nos anos 2008 e 2009 e, extrapolou os limites impostos pela OMS (Organização Mundial de Saúde) nos três anos de análises, também no bairro Plataforma.. (DUARTE, 2010; SANTI & BATTILANI, 2008).



(a)



(b)

Figura 5.1 – (a) Concentração de partículas inaláveis nos bairros Cristo Rei, Casa de Pedra e Plataforma nos anos de 2008, 2009 e 2010. Fonte: Milanez & Alamino (2011). (b) Mapa do município de Congonhas com destaque para localização do centro urbano (que contempla os bairros Cristo Rei e Casa de Pedra) e o bairro Plataforma. Fonte: Ecosoft (2012).

O fato das concentrações de partículas de poeira estar sendo ultrapassadas não traduz uma ineficiência das medidas mitigadoras adotadas e executadas na CSN – Minas Casa de Pedra. Deve-se levar em consideração alguns parâmetros como relevo, vento e, principalmente, o montante de unidades de mineração localizadas próximas uma das outras. Ocorre, neste caso, que as medidas mitigadoras impostas pela empresa CSN pode estar sendo neutralizada pela falta de iniciativa de outra empresa.

A poeira levada por arraste pela ação do vento até os bairros do município de Congonhas pode ser oriunda de outra localidade. Por isso a necessidade da avaliação do impacto integrado.

5.2. Caracterização da área de estudo

5.2.1. Localização

O município de Congonhas está localizado no centro do Estado de Minas Gerais, mais precisamente dentro do chamado Quadrilátero Ferrífero - principal área produtora de minério de ferro no Brasil. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a população total do município, em 2010 estava em 48,6 mil habitantes, sendo 97,3% da população urbana. Mesmo com um processo de urbanização antigo, já por volta de 1960, a maior parte da população do município (52%) vivia na área urbana. Congonhas vem apresentando alta taxa de crescimento. No período de 2000 a 2010 a população cresceu cerca de 18%, muito acima da média estadual de 9% . (Prefeitura Municipal de Congonhas, 2008).

Conforme a Figura 5.2, Congonhas tem como limites os municípios de Ouro Preto ao Norte, Ouro Branco à leste, Belo Vale e Jeceaba à oeste, São Brás do Suaçuí e Conselheiro Lafaiete ao sul, sendo sua altitude máxima 1.628 metros na Serra da Moeda e mínima de 925 metros na Cachoeira do Salto. Possui uma área de 306,45 km².



Figura 5.2 – Localização de Congonhas, MG.

5.2.2. O município de Congonhas e a mineração

Congonhas surgiu como consequência de atividade de mineração do chamado ciclo do ouro, no início do século XVIII, especificamente de exploração dos aluviões do rio Maranhão (etimologicamente congonha é espécie arbustiva de chá). A data de estabelecimento formal do núcleo urbano é 1746. Congonhas é célebre pelo conjunto escultural barroco dos *12 Profetas* de Antônio Francisco Lisboa (o Aleijadinho) esculpido em esteatito entre 1795 e 1805. Tal conjunto situa-se ao tempo, no adro do santuário de Bom Jesus de Matosinhos (Figura 5.3).



Figura 5.3 – Adro de Bom Jesus de Matosinhos, no centro histórico de Congonhas, vendo-se 10 dos 12 profetas de Aleijadinho (século XVII).

Com grande potencial de exploração mineral, o município de Congonhas agrega quatro grandes empresas minerometalúrgicas, que lavra e beneficia o minério de ferro:

Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) – Mina de Casa de Pedra, Vale – Mina de Fábrica, Nacional Minérios S.A. (Namisa) – Mina do Pires e Ferrous – Minas Viga (Figura 5.4). Essas empresas compõem o quadro de produção do maior Estado produtor de minério de ferro do país; Minas Gerais é responsável por 71% da produção total. (DNPM, 2006).



Figura 5.4 – Vista (para NW) dos contrafortes minerados, com a barragem de rejeitos limítrofe à periferia urbana de Congonhas.

A CSN, fundada em 9 de abril de 1941, iniciou suas operações em 1º de outubro de 1946. Como primeira produtora integrada de aço plano no Brasil, a CSN é um marco no processo brasileiro de industrialização privatizada em 1993, e após sete décadas de atividade, continua a fazer história. A CSN é um dos maiores e mais competitivos complexos siderúrgicos integrados do mundo. Com capacidade de produção anual de 5,6 milhões de toneladas de aço bruto e mais de dezenove mil colaboradores empregados diretamente, a CSN concentra suas atividades em siderurgia, mineração, cimento, logística e energia. Oferece uma das mais completas linhas de aços planos do continente, de alto valor agregado.

Em suas operações, a CSN extrai minério de ferro, dolomita e calcário de suas minas. Essas matérias-primas são utilizadas como insumos no seu parque siderúrgico, além de produzir estanho, usado no revestimento das folhas de flandres.

A CSN, segunda maior exportadora de minério de ferro do Brasil, vem implementando os projetos de expansão na mina de Casa de Pedra e na Namisa de modo a atingir uma capacidade de produção total anual de 89 milhões de toneladas de minério de ferro. A capacidade da mina de Casa de Pedra atingirá 50 milhões de toneladas anuais em 2015, enquanto na Namisa os projetos de concentração e pelotização completarão a capacidade total.

A Mina Casa de Pedra situa-se no município de Congonhas, no estado de Minas Gerais e destaca-se por possuir um sistema integrado de distribuição de sua produção formado por mina-ferrovia-porto que suporta o atendimento de todas as operações correntes. Possui também flexibilidade de adaptação aos projetos de expansão. A mina produz minério de ferro de elevado teor e com ótimas propriedades físicas, sendo os produtos classificados em granulado, *sinter feed* e *pellet feed*. Casa de Pedra é responsável pelo suprimento integral de minério de ferro para a Usina Presidente Vargas/CSN, em Volta Redonda (RJ) e ainda comercializa seus produtos nos mercados interno e externo. As reservas minerais de Casa de Pedra são expressivas, com alto teor de pureza (de até 68%) e classificação do tipo *world class mine*.

A mina de Casa de Pedra foi uma das primeiras mineradoras a conseguir a certificação ISO 14001 no Brasil, no final de 2001.

A Nacional Minérios S.A foi criada em 2007 e a CSN detém 60% do seu capital. As operações de mineração são feitas no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, onde a Namisa explora diversas minas de minério e possui instalações de processamento de minério estrategicamente localizadas. A empresa também conta com uma rede logística estruturada composta de ferrovia e porto para escoamento de sua produção para o mercado internacional de minério de ferro. A empresa está investindo na expansão de sua capacidade de produção atingindo 14,5 milhões de toneladas em vendas em 2009 e chegando a 39 milhões de toneladas em 2014.

Criada em 1942, no governo Getúlio Vargas, a Vale é a segunda maior mineradora do mundo e a maior empresa privada da América Latina. Com sede no Brasil e atuação em 38 países, a empresa emprega atualmente mais de 138 mil pessoas, entre profissionais

próprios e terceirizados. É a maior produtora de minério de ferro do mundo e a segunda maior de níquel.

Opera em 13 estados brasileiros e nos cinco continentes e possui mais de dez mil quilômetros de malha ferroviária e 9 terminais portuários próprios. É a maior empresa no mercado de minério de ferro e pelotas (posição que atingiu em 1974 e ainda mantém) e a segunda maior produtora integrada de manganês e ferroligas, além de operar serviços de logística, atividade em que é a maior do Brasil.

No Brasil, os minérios são explorados por quatro sistemas totalmente integrados, que são compostos por mina, ferrovia, usina de pelotização e terminal marítimo (Sistemas Norte, Sul e Sudeste).

A Ferrous Resources do Brasil foi fundada em Belo Horizonte em 14 de maio de 2007. No mesmo ano, adquiriu os direitos minerários das minas de Esperança e Serrinha, em Brumadinho; Viga, em Congonhas; e Santanense, em Itatiaiuçu – todas localizadas no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais. Adquirida em 2007, a mina Viga, em Congonhas (MG), é exemplo do trabalho vanguardista da Ferrous na preservação ambiental.

No começo de 2010, a Ferrous obteve a Licença Prévia para a mina Viga e foi reconhecida nacionalmente pela revista Minérios e Minerale, que premiou os trabalhos de recuperação ambiental realizados nas minas de Esperança e Serrinha. No início de 2011, após cumprir todas as condicionantes, a empresa conquistou, em fevereiro, a Licença Prévia do Porto de Presidente Kennedy e a Licença de Instalação da mina Viga – que permitiu à empresa dar início às obras na unidade. Os primeiros meses também foram marcados pelo início da produção de minério de ferro, que permitiram o embarque de 1,5 milhões de toneladas até o fim do ano.

A VSB (Vallourec & Sumitomo Tubos Brasil) é uma joint venture formada pelo grupo francês Vallourec e pelo japonês Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation (NSSMC), parceiros há mais de trinta anos na área de conexões premium para o setor de óleo e gás.

O complexo siderúrgico da VSB está instalado no município de Jeceaba, a 100 km de Belo Horizonte, em Minas Gerais (a 20 km de Congonhas) e possui uma área industrial de 2,5 milhões de m².

Utilizando o que há de mais avançado em tecnologia, o complexo possui uma Aciaria com capacidade anual de 1 milhão de toneladas de aço bruto e uma Laminação capaz de produzir 600 mil toneladas de tubos de aço sem costura. Os tubos produzidos pela VSB possuem alto valor agregado, atendendo à demanda do setor petrolífero mundial.

A usina integrada se dedica à fabricação de produtos tubulares petrolíferos OCTG (Oil Country Tubular Goods) sem costura, empregados na perfuração, no revestimento de poços (casing) e tubos para condução de petróleo e gás. Os tubos da VSB, em aços carbono e em aços baixa liga, são altamente resistentes às diversas condições de temperatura e pressão.

No município de Congonhas encontram-se mais empresas de mineração além das citadas acima. Não foram citadas, porém fazem parte do acervo do conjunto de empreendimentos minerometalúrgicos que contribuem para emissão de particulados.

5.2.3. Hidrografia

Segundo o IBGE O município de Congonhas está inserido na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Pertencentes a esta bacia estão às bacias do rio Paraopeba, que tem em sua área de abrangência a sub-bacia do rio Maranhão.

A maior parte do Município é banhada pelo rio Maranhão, que segue a direção sul-norte, passando pela sede municipal, onde toma a direção oeste, indo desaguar no rio Paraopeba. O município de Congonhas possui uma rede de rios, córregos e ribeirões que compõem ao todo 04 bacias hidrográficas. As bacias localizadas na área urbana do Município apresentam características bastante diferenciadas daquelas inseridas na área de mananciais, pois são permanentemente afetadas por problemas de poluição e assoreamento provocados pelos esgotos domésticos e industriais (extração de minérios).

5.2.4. Cobertura Vegetal e Uso da Terra

A vegetação é constituída de campos, nos trechos mais altos, cerrados, matas de encosta e matas-galeria, em grande parte devastada pelas atividades mineradoras. Como

consequência da diminuição da vegetação de cobertura, os solos estão ficando expostos à erosão. Este fato tende a ser mais significativo em função da presença de solo arenoso, em predominância na região. Na porção oeste, imediações da Serra da Moeda, a vegetação das matas acha-se ainda preservada. Registram-se áreas reflorestadas com eucaliptos. No domínio dos solos mais desenvolvidos, do tipo cambissolo, há registros de capoeira, que representam uma formação secundária, produto da mata que foi cortada ou queimada. A área antes ocupada pela floresta encontra-se modificada por completo, sendo seu espaço hoje destinado à formação de pastos, que se prestam a uma pecuária pouco desenvolvida.

Segundo o IBGE (2010), o município de Congonhas possui uma área total de 305,5 km², dos quais 25,0 km² são ocupados pela área urbana da sede representando 8,2% do total, 4,7 km² pelas áreas urbanas dos distritos – representando 1,5% do total, totalizando uma área urbanizada de 29,7 km², ou 9,7% da área total. Dos restantes 275,8 km², representando 90,3% da área total, as atividades agropastoris, ainda que não praticadas de forma intensiva, segundo dados do censo agropecuário de 1996, ocupavam 49 km², ou seja, 16,0% da área total, restando 226,8 km² ou 74,3% do total, ocupadas pelas atividades mineradoras e por área de preservação e mananciais.

5.2.5. Aspectos Gerais do Relevo, Solo, Geologia e Minerais

O município apresenta um conjunto de rochas altamente transformadas (tectônica e metamorficamente), de idade pré-cambriana. No norte aflora um conjunto de rochas cujo tipo litológico mais antigo pertence ao Super grupo Rio das Velhas, constituindo pelo Grupo Nova Lima, composto por micaxisto e metavulcânicas. Ocorrem ainda rochas pertencentes ao Complexo Barbacena, gnaisses, granitóides e migmatitos, rochas intrusivas (granodioritos, granitos, piroxênito e serpentinito) e do Super grupo Minas, composto pelos Grupos Piracicaba (filitos e quartzito), Itabira (itabirito, dolomito e filito) e Caraça (quartzito, filito e conglomerado).

A região apresenta grande complexidade no relevo, com altitudes do terreno variando de 800 a 1.800 m (Figura 5.5). A leste de Congonhas localiza-se a Serra do Ouro Branco. Do quadrante noroeste ao norte noroeste observa-se a Serra da Moeda e a Serra do Itabirito. Este complexo de serras, bem como as áreas de 30 municípios, do qual

Congonhas faz parte, estão inseridas no Quadrilátero Ferrífero, uma das mais importantes províncias minerais do Brasil, devido às suas jazidas de ferro, ouro, manganês, topázio imperial e bauxita (Figura 5.6).

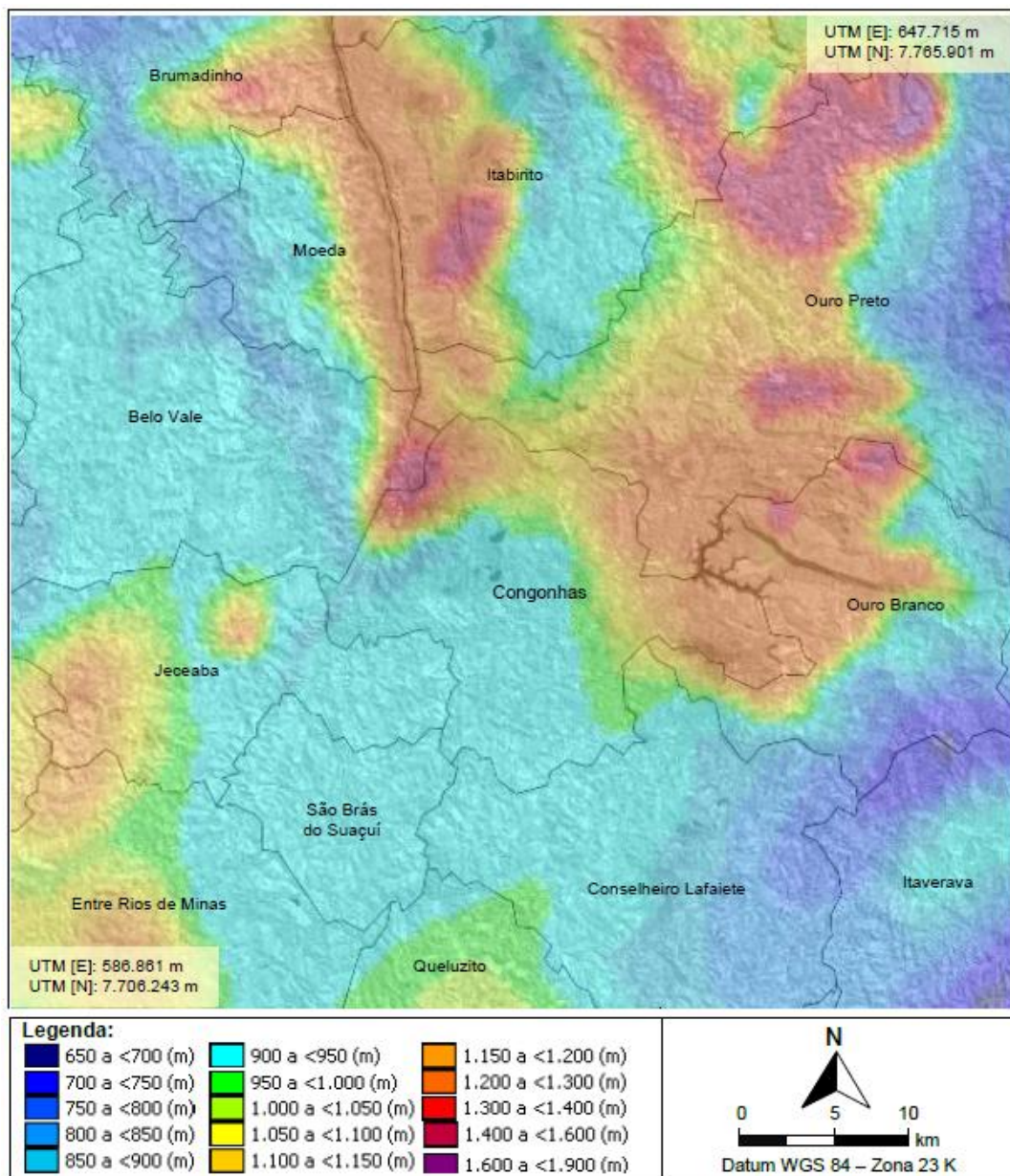


Figura 5.5 – Estratificação do relevo da área de estudo. Fonte: USGS (2012) *apud* Ecosoft (2012).

A Serra da Moeda merece destaque neste item. Sua localização – a oeste do município de Congonhas, sua elevada altitude e sua forma de arco, cria uma espécie de barreira física para os ventos típicos da região (ventos Nordeste), modificando sua trajetória. A

Figura 5.7 ilustra os perfis de elevação da região, evidenciando o desnível de altitude e a possível causa na interferência no regime dos ventos.

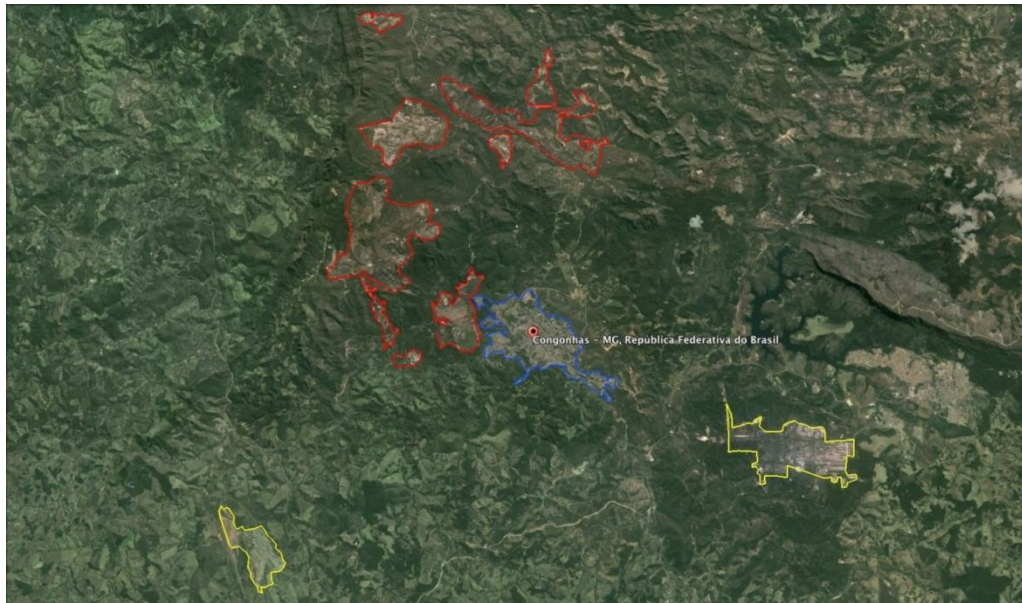


Figura 5.6 – Mapa da região do município de Congonhas com delimitação aproximada do núcleo urbano e das fontes emissoras de particulados em seu entorno. Fonte: Google Earth, 2013.

O Quadrilátero Ferrífero da porção central de Minas Gerais é uma das maiores províncias de minério de ferro do mundo, cobrindo uma área de 7.000 km². Existem aproximadamente 540 km de afloramentos de formação ferrífera da era proterozoica.

Em Congonhas o gnaiss é utilizado como brita, pedra-de-mão e pavimentação na construção civil.

O minério de ferro em Congonhas é derivado, por meio de diferentes processos, supergênicos e hipogênicos. Com base em um teor de corte de 35% de ferro, o minério é classificado nos tipos hematita, itabirito e limonita, de acordo com seus constituintes químicos e suas características físicas e mineralógicas.

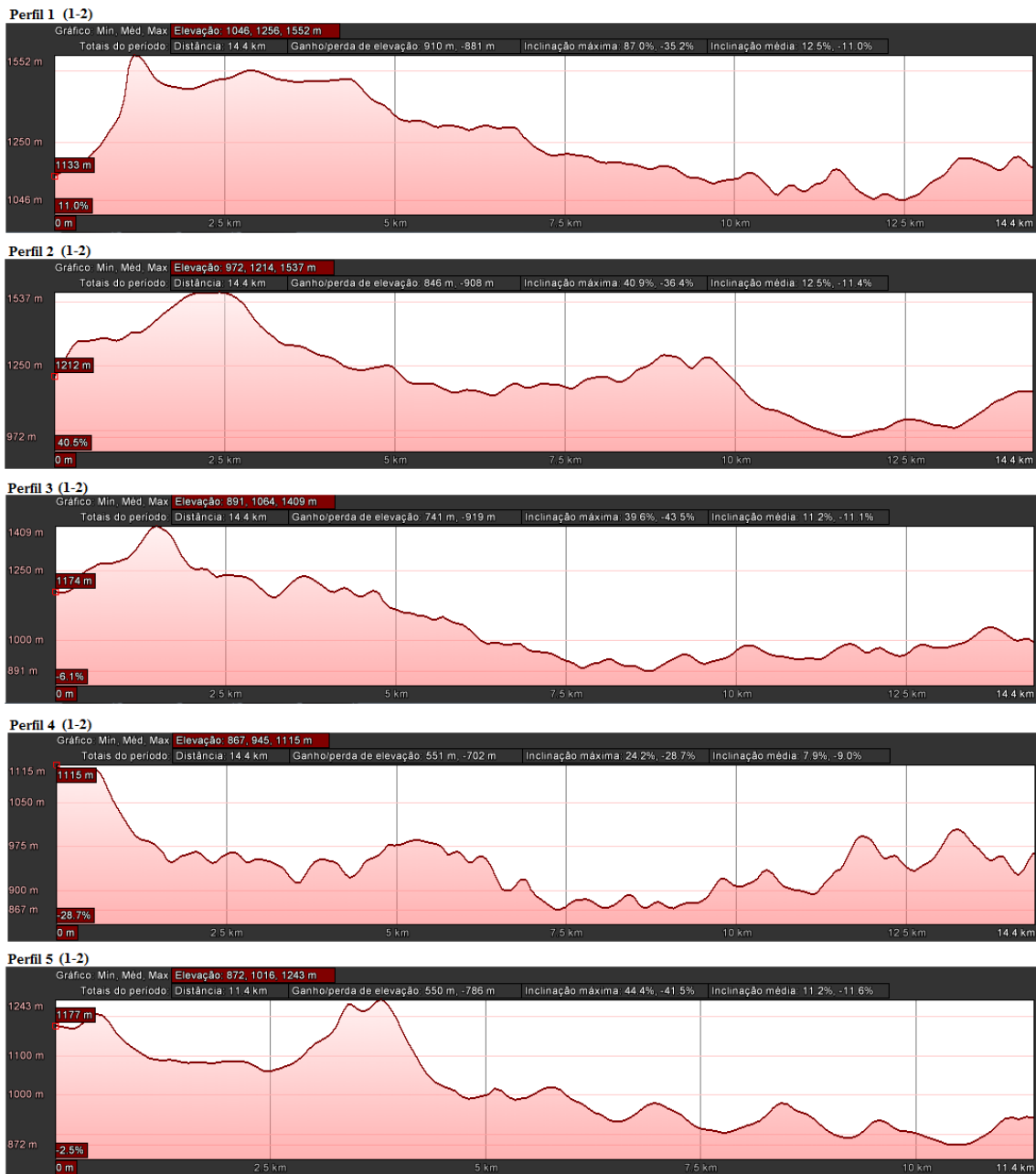
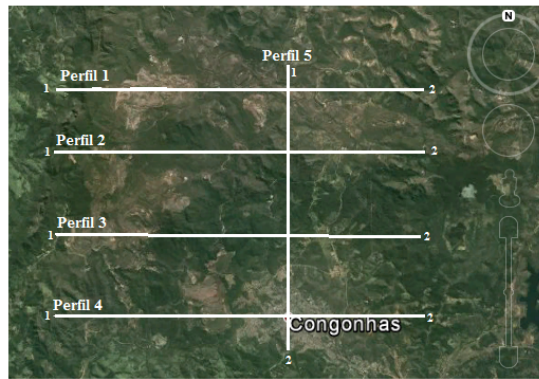


Figura 5.7 – Perfis de elevação do município de Congonhas. Fonte: Google Earth (2013).

5.2.6. Clima

Congonhas encontra-se a 870 m acima do nível do mar. Seu clima, de acordo com a classificação de Köppen, é o tropical de altitude, com estiagem no inverno e verões suaves.

A área de estudo apresenta variações sazonais bem definidas do regime de chuvas. A Figura 5.8 apresenta as médias mensais de chuva historicamente registradas na região.

O período chuvoso coincide com verão, mais precisamente nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, enquanto o período seco, de 4 a 5 meses, corresponde ao inverno, durante o qual os meses de maio, junho, julho e agosto apresentam os menores índices pluviométricos do ano. A pluviosidade média anual situa-se entre 1200 e 1500 mm. Além disso, é importante verificar o parâmetro velocidade do vento, suas médias e máximas e os períodos de ocorrência do mesmo (Figura 5.9).

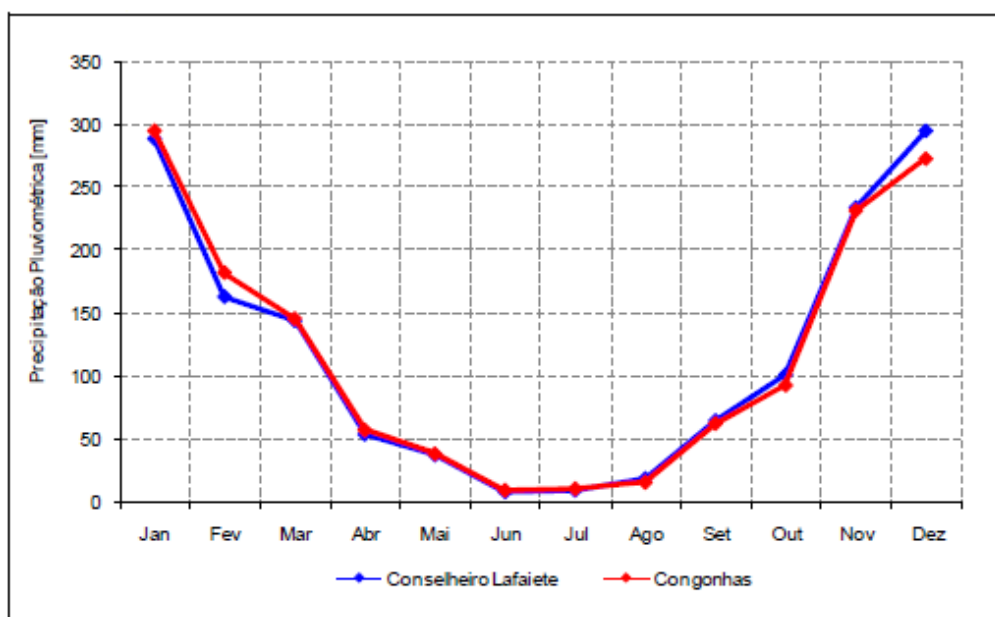


Figura 5.8 – Comportamento sazonal mensal da precipitação pluviométrica para a região de Congonhas (1996 a 2005). Fonte: ANA (2011) *apud* Ecosoft (2012).

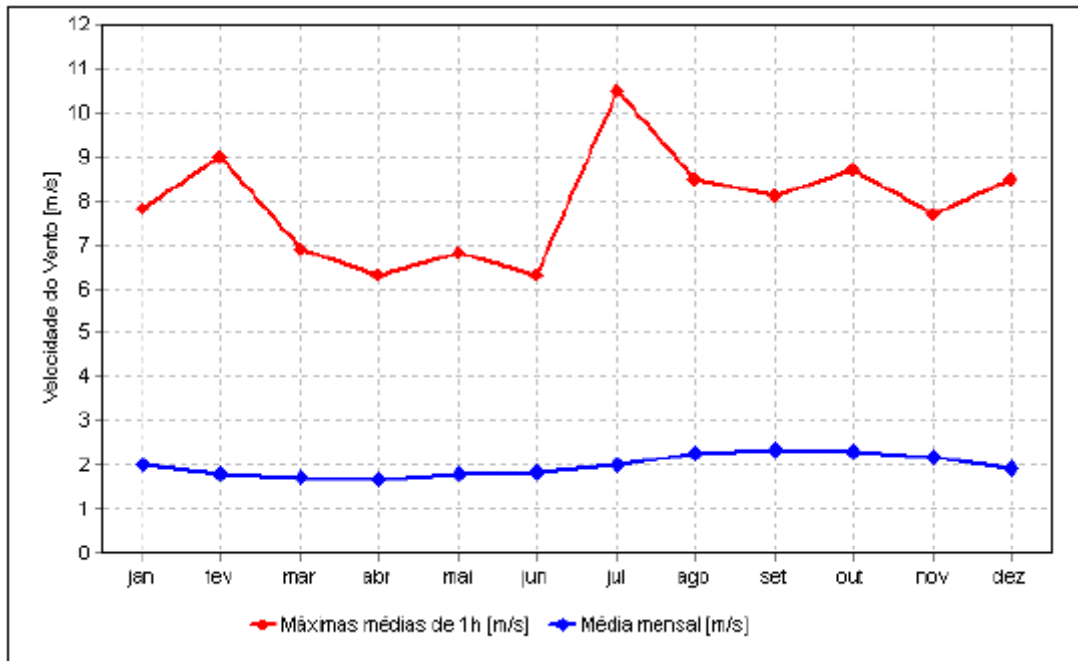


Figura 5.9 – Médias mensais e máximas médias de 1 h da velocidade do vento (a 10 m) registradas na estação Ouro Branco/INMET – 2008 a 2010. Fonte: INMET (2010) *apud* Ecosoft (2012).

A Figura 5.10 apresenta as médias anuais de pluviosidade da região de Congonhas, MG.

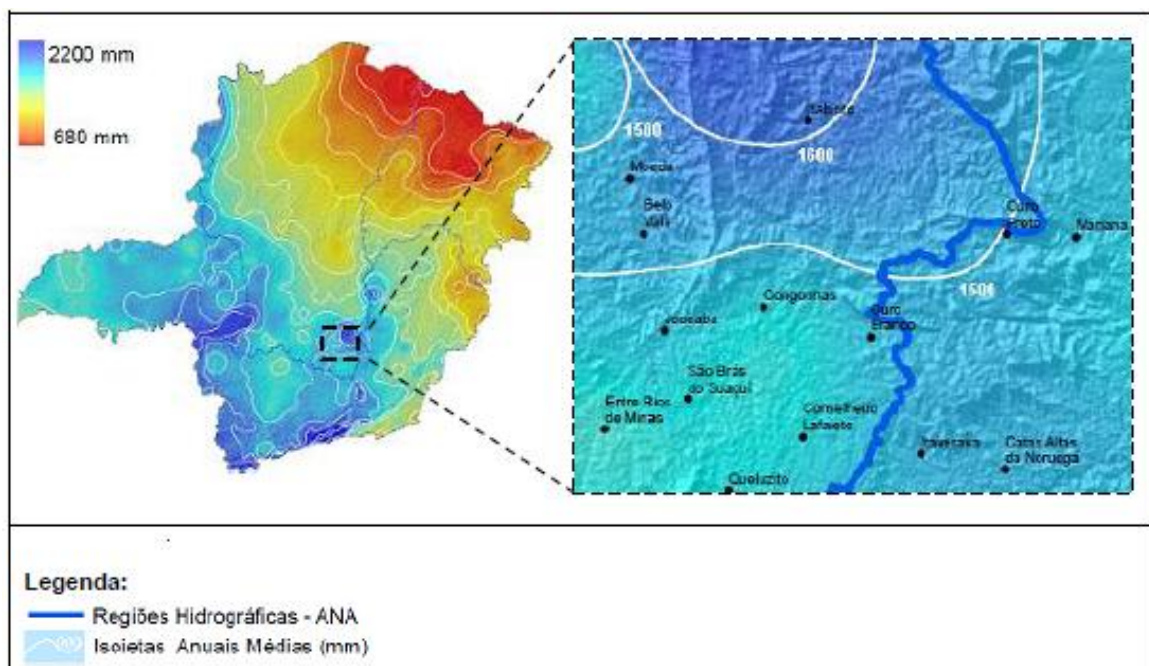


Figura 5.10 – Mapa de isoietas anuais médias para o estado de Minas Gerais com destaque para a região em estudo. Fonte: CPRM (2009) *apud* Ecosoft (2012).

5.3. Impacto Integrado

As mineradoras, por estarem em funcionamento, conseqüentemente possuem suas licenças ambientais de operação legalizadas. Não se pode dizer algo exato a respeito das formalidades dos processos das empresas devido à falta de comunicação das empresas para com o público em geral; as informações são de difícil acesso, por isso, diz-se sobre uma *hipótese* da legalização das mineradoras para com a lei ambiental das licenças prévia, de instalação e operação. Logo, além de várias adequações, é de se esperar que as emissões de material particulado em cada empresa estejam controladas. Dentro da Resolução CONAMA 3 de 1990 é estabelecido o limite padrão nacional de qualidade do ar - limites máximos de emissões de gases poluentes para manter a qualidade do ar regular para a manutenção da vida. Estes níveis são medidos individualmente; cada empresa faz seu monitoramento visando não extrapolar os níveis estabelecidos pela legislação; porém este estudo não teve acesso à estes dados. O licenciamento ambiental é obrigatório para todo empreendimento que utiliza recursos naturais ou que seja considerada efetiva ou potencialmente poluidora, de acordo com a listagem da Resolução CONAMA 74 de 2004 que estabelece os empreendimentos que devem obter a licença ambiental. Este licenciamento é feito sobre o projeto individual, não considerando projetos vizinhos e suas conseqüências.

Dessa forma pode-se concluir que todas as empresas estão atendendo as condicionantes impostas pelos órgãos ambientais a fim de manter a qualidade sustentável esperada.

Porém, nota-se no município de Congonhas uma quantidade extrapolada de poeira nas ruas, nas casas e em todos os locais, como já exposto anteriormente. Algumas empresas afirmam tomarem medidas mitigadoras para amenizar, ou até mesmo, sanar o problema da poeira. Mas o resultado não é satisfatório.

Em Congonhas as empresas mineradoras (e outras indústrias) se instalam bem próximas uma das outras e do centro urbano. Associados ao relevo e a fatores climáticos, esta poluição está se concentrando sobre a população urbana e no entorno da mineração. Relata-se uma integração da poluição gerada pelas mineradoras principalmente, atingindo altos níveis de poluição em variados pontos da cidade de Congonhas.

A concessão de licenças ambientais de forma individual (Estudo Ambiental Simplificado) para as empresas não se mostra capaz de avaliar e captar o efeito ambiental sinérgico e cumulativo de um conjunto de empreendimentos em atividade próximos uns dos outros.

A questão dos impactos ambientais integrado é nova. Os estudos que visam um novo modelo de avaliação dos impactos integrados têm vindo à tona devido ao acelerado desenvolvimento tecnológico e o aumento do número de empreendimentos por determinada área.

6. MATERIAS E MÉTODOS

A metodologia adequada a ser utilizada neste estudo seria utilizar o método de amostragem de acordo com a descrita pela Resolução CONAMA nº 3/1990 – o amostrador de grande volume. Dessa forma os dados mensurados e os limites impostos na resolução estariam nas mesmas unidades e a comparação dos dados seria de forma direta. Este estudo, a princípio, foi uma demanda do Ministério Público a fim de investigar a poeira que se instala em Congonhas, que *a priori* ofereceria suporte financeiro para adquirir equipamentos e o necessário para realização do trabalho. Por fim, não houve acordo entre Ministério Público e universidade e, conseqüentemente não houve nenhuma colaboração financeira. Na falta do equipamento ideal, procuraram-se outras formas e dados para concluir o objetivo traçado e, na época, já em andamento.

A fim de investigar origem e quantidade da poeira que estaciona no município de Congonhas, utilizou-se, a princípio, um método de própria autoria. Porém erros cometidos no dimensionamento de alguns parâmetros acabaram por ocasionar um resultado não satisfatório. O qual segue descrição e respectivas falhas.

O método consistia em quantificar a poeira que se depositava ao longo do tempo em determinados pontos do centro urbano. Fez-se uma pré-seleção dos pontos a serem analisados, tomando por base a variável climatológica *direção do vento*, justificado na hipótese de ser o vento o agente deslocador do material particulado (poeira) das mineradoras até o centro urbano de Congonhas.

Ao determinar a direção do vento utilizando anemômetro, instalou-se, em vários pontos, quadrados de material tecido-não-tecido (TNT) de área 1 m² (1 metro x 1 metro) ao longo de linhas perpendiculares em relação ao sentido do vento (ver Figura 6.1). O objetivo seria quantificar, em função do tempo, a poeira que seria depositada nos vários pontos da cidade, oriundas das emissões das minerações que se situam ao redor do município. Desta forma, esperava-se, ao fim do trabalho, mapear as áreas mais afetadas pela poeira e relacionar as concentrações obtidas com os limites impostos na Resolução CONAMA nº 3/1990. E, em segundo plano, analisar quimicamente a poeira depositada, de forma a quantificar a participação do minério de ferro na poeira. Esta metodologia foi proposta pela autora, mediante estudos do regime dos ventos, arraste eólico e clima

da região. Não foi encontrada nenhuma metodologia semelhante a esta na literatura de referência.

A principal falha encontrada foi no dimensionamento dos retalhos de TNT, a área utilizada mostrou-se pequena. Utilizou em média três retalhos em cada ponto (no total de 10 pontos). Ao final do tempo pré-determinado de exposição, os retalhos (aqueles que chegaram a ser recolhidos) não se encontravam em estado adequado para análises – nos tecidos havia resquícios de materiais que poderiam alterar a quantificação; por estarem expostos a céu aberto, sofreram ações do tempo, que consequentemente também alteraria o resultado final, além de que vários retalhos foram extraviados e/ou removidos do local.

A metodologia falha utilizada para amostragem não corresponde àquela utilizada pelo CONAMA, Resolução 03/1990 (CONAMA). As concentrações utilizadas para estabelecer os limites da resolução são feitas através de amostragem com o equipamento chamado *amostrador de grande volume*. Porém, na falta do equipamento para realizar as coletas, houve a tentativa de quantificar a poeira (em gramas/m²) depositada em variados pontos do centro urbano da cidade de Congonhas.

Os retalhos considerados satisfatórios foram recolhidos na tentativa de extrair a poeira coletada e efetuar as análises químicas. Porém, outra falha: o material escolhido (TNT) não foi adequado; houve grande perda de material na tentativa de retirar a poeira do retalho. Há uma grande aderência das partículas ao TNT, não sendo possível recolher todo o material depositado. Houve tentativa de lavar (com água) o tecido, porém, mesmo assim, não houve sucesso. Dessa forma, a quantidade mínima de material extraído não foi suficiente para realizar as análises.

Com essas considerações e resultados preliminares definiu-se outra metodologia para o estudo. De posse de um estudo técnico sobre qualidade de ar, realizado em Congonhas e região, verificou-se na metodologia deste que muitos dos dados levantados poderiam ser utilizados como prova no presente trabalho. Segue a metodologia utilizada, com ênfase nos dados de importância para esse estudo.



Figura 6.1 – TNT sobre o telhado de uma escola, no centro urbano de Congonhas, MG, instalado para receber a poeira que provavelmente seria depositaria. Fonte: Autor.

6.1. Metodologia utilizada

Como o método próprio foi falho, procuraram-se dados e esclarecimentos em publicações recentes. Foram feitos levantamentos bibliográficos diversos. Um estudo em especial ofereceu uma gama de informações importantes para o presente estudo, o “*Projeto de Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da Região de Congonhas*”, estudo técnico elaborado pela empresa Ecosoft cedido pelo Ministério Público do Estado de Minas Gerais. O objetivo do projeto foi estudar as características de Congonhas e região na busca de diagnosticar a qualidade do ar da área, bem como prognosticar a sua evolução, conhecer as principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos e suas contribuições para as alterações de qualidade do ar na região e, finalmente, desenvolver um projeto de rede otimizada de monitoramento da qualidade do ar a ser implementada, de forma sanar as lacunas de conhecimento existentes atualmente sobre esse tema.

A metodologia utilizada neste trabalho consta das seguintes etapas:

- **Estudo das características da área de estudo:** os aspectos geomorfológicos e de uso e ocupação do terreno interagem diretamente com as condições do escoamento atmosférico e do regime de ventos;

- **Fontes emissoras de poluentes atmosféricos:** levantamento das fontes de emissões atmosféricas (particulados), principalmente das atividades minerárias, incluindo as fontes naturais e antropogênicas (industriais, comerciais e da vida cotidiana da população) e suas localizações. A concentração de atividades num determinado local associado a outros fatores (meteorológicos) podem evidenciar a causa da grande concentração de poeira na cidade de Congonhas.
- **Condições meteorológicas:** estudo do regime de ventos (velocidade, direção e sentido) e da pluviosidade da região. Principais parâmetros que interferem no estudo de transporte de material particulado por arraste.
- **Níveis de particulados na atmosfera:** conhecer os níveis de poluentes (material particulado) presentes na atmosfera da área de estudo e comparar com limites impostos pela Resolução CONAMA 3/1990 e pela Organização Mundial de Saúde (OMS).
- **Medições *in loco*:** análise química da poeira (difração de raios X) e quantificação de material particulado através do índice de impacto integrado.

6.2. Características da área de estudo

A área do presente estudo apresenta características especiais em relação ao parâmetro relevo. Além disso, junto ao parâmetro uso e ocupação do solo, resultam no transporte de material particulado de um local para outro. A quantidade concentrada de atividade de mineração (e outras) faz com que essa relação “relevo x ocupação concentrada de fontes de particulados” seja relevante na questão das concentrações de particulados na cidade de Congonhas.

As características foram levantadas de fontes bibliográficas e programas computacionais.

6.3. Fontes emissoras de poluentes atmosféricos

O conhecimento do local onde estão concentradas as principais fontes emissoras é essencial para se conhecer de onde estão se originando o particulado que atinge a cidade de Congonhas.

Os dados para a caracterização específica das fontes emissoras da área de estudo foram disponibilizados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e pelo Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), através de estudos e dados dos empreendimentos; pela Prefeitura de Congonhas, através de dados existentes no cadastro municipal das atividades econômicas e suporte às visitas de campo e dados de estudos ambientais; pelas Empresas, com a disponibilização de informações de processo produtivo, inventários de emissões atmosféricas e dados de monitoramento ambiental (ECOSOFT, 2012). E ainda através de visitas de campo *in loco* para coleta de dados primários.

6.4. Condições meteorológicas

O regime dos ventos (consubstanciado na rosa dos ventos) foi determinado através de gráficos e figuras advindas de revisão bibliográfica. O objetivo desta análise foi estabelecer primeiramente os valores médios da velocidade segundo as direções azimutais do vento no local (adotaram-se em especial os dados dispostos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE) e assim verificar de onde origina os ventos mais fortes da região, para onde e como se propagam.

Devido ao fenômeno de arraste de partículas pela ação do vento, a análise está em verificar onde a poeira é captada e pra onde ela é levada.

6.5. Níveis de particulados na atmosfera

Para checar a concentração de particulado na atmosfera de Congonhas, foram utilizados dados do estudo feito pela Ecosoft (2012).

Segundo a Ecosoft (2012), foram instalados pontos receptores discretos em vários locais da área de estudo e dentro da cidade de Congonhas (Figura 5.1 e Figura 5.2). As coletas foram feitas durante 1 ano, com duração de 24 horas por dia.

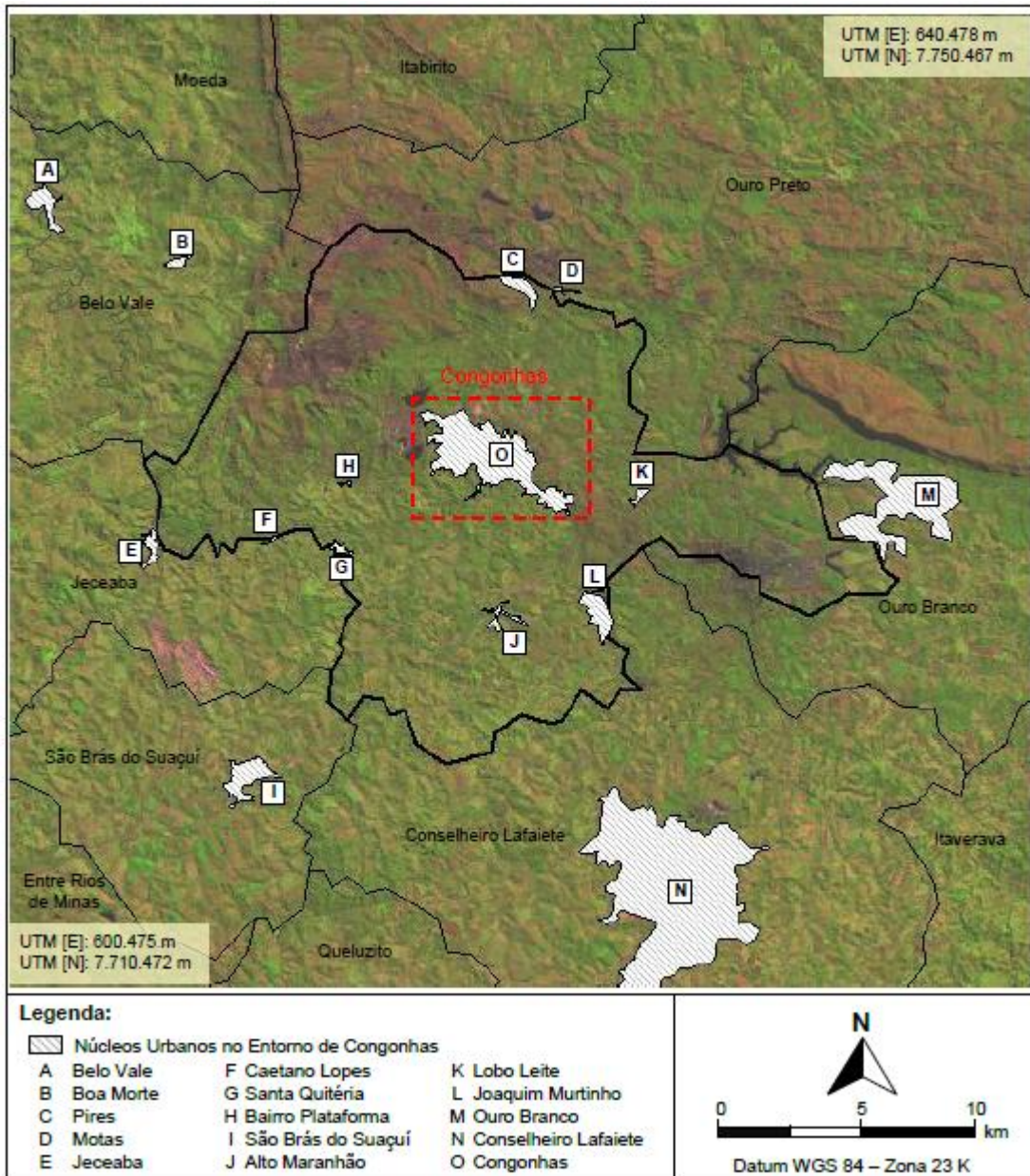


Figura 6.2 – Pontos Receptores Discretos Analisados na Área de Estudo. Fonte: Ecosoft (2012).

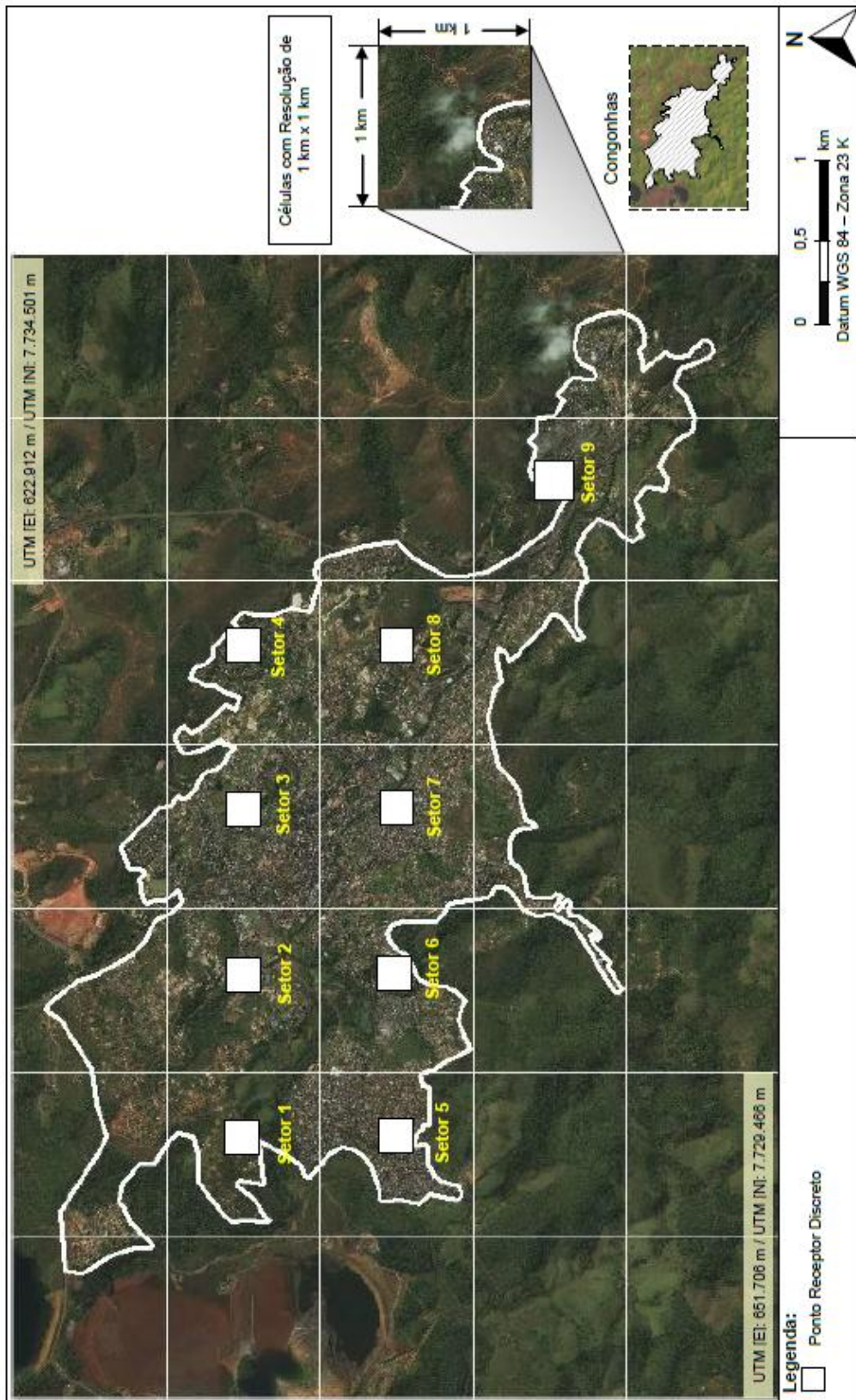


Figura 6.3 – Pontos Receptores Discretos Localizados no Núcleo Central da Cidade de Congonhas. Fonte: Ecosoft (2012).

6.6. Difração de raios X

Por meio da difração de raios X determinam-se as fases cristalinas presentes de dado material (amostra), quantificam-se as fases (curva padrão), determina-se a composição, os parâmetros cristalinos, a medida de tamanho de cristalitos, a medida de textura, a avaliação de cristalinidade e a medida de tensões residuais.

O aparelho utilizado para realizar tal análise foi o difratômetro PANalytical, do Departamento de Geologia – DEGEO, da Universidade Federal de Ouro Preto.

Amostras do material recolhido na cidade de Congonhas, mais precisamente no centro urbano (poeira) foi enviada para a análise no difratômetro. As amostras analisadas foram coletadas em residências particulares de Congonhas, no dia 15 de julho de 2011. Foi utilizado um pincel para recolher o material particulado, que se encontrava depositado sobre a caixa d'água localizada no terraço da residência. Um dos residentes alegou que é frequente o depósito de poeira em todas as partes da residência, e ainda informou que a área mesmo sendo limpa com água toda semana, sempre está *“suja e empoeirada, devido o pó que vem junto com o vento, principalmente na época seca”*. Estima-se, segundo informações do morador, que o tempo de deposição máxima da poeira (material particulado) no local é de 7 (sete) dias. Foi recolhido em torno de 100 gramas de material particulado na região.

Uma alíquota representativa da amostra (de aproximadamente 5 gramas) foi selecionada por meio do método do quarteamento. Depois, a alíquota foi pulverizada e encaminhada ao laboratório para o procedimento de análise no difratômetro.



Figura 6.4 – Difrator de Raios X do modelo PANalytical. Fonte: Sigiliano (2013).

6.7. Concepção de parâmetros de quantificação: métodos das sombras eólicas

Na falta das distribuições granulométricas dos particulados emitidos por cada uma das fontes na área sob estudo, o uso das equações de dispersão eólica de particulados não pode ser feito com proveito. Considerando que a energia de transporte de partículas sólidas (e de sua eventual ressuspensão) é provinda das correntes de vento, tem-se que, em dado instante, a capacidade de transporte (e de soerguimento de pó sedimentado) será proporcional à energia cinética da massa de ar em movimento, dada por:

$$E = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (12)$$

Por outro lado, a carga de particulados em dado ponto a sotavento é dependente das distâncias desse ponto às diversas fontes, sendo amortecida pelo espaçamento entre o ponto impactante (fonte) e o ponto impactado.

Para uma específica direção do vento, os pontos de uma dada área emissora (fonte) que estiverem colineares com o ponto estudado serão os impactantes. Isso extrapolado para a área afetada leva ao conceito de “sombra eólica”, a qual é a projeção da área impactante efetiva segundo a direção e o sentido do vento sobre a área impactada. A Figura 6.5 ilustra graficamente o conceito.

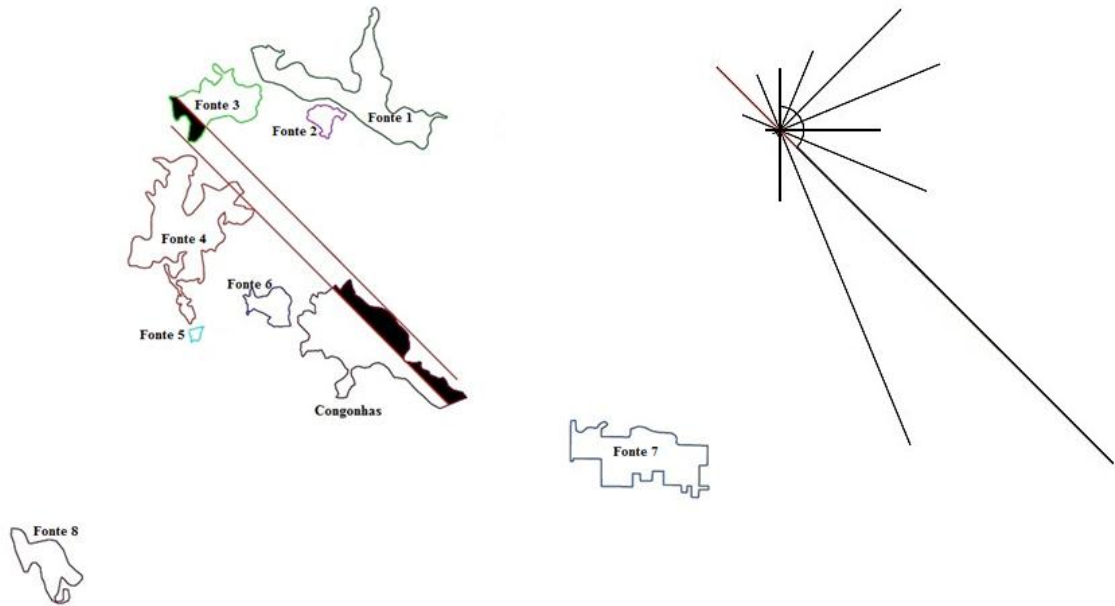


Figura 6.5 – Exemplo da determinação da “sombra eólica” da cava 3 sobre o núcleo urbano, referente a vento com direção azimutal de 135°, mostrando a rosa dos ventos local (Congonhas).

Quanto maior a área de uma dada fonte de particulados que efetivamente projete sua sombra eólica sobre a área impactada (no caso o núcleo urbano), maior será sua contribuição ao impacto integrado (para a condição de mesma distância entre os baricentros das áreas impactantes efetivas e das áreas impactadas efetivas).

Desconsiderando efeitos de dispersão lateral da pluma de contaminação e adotando a rosa dos ventos com 16 direções (espaçadas de 22,5°), pode-se definir um índice de impacto ambiental integrado, dado por:

$$I = k \times \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^n \left[(A_{ij} \times S_{ij}) \times d_j^{-\alpha} \times v_i^2 \times f_i \times s_j \right] \quad (13)$$

Onde: k – parâmetro que dependente das condições do particulado e da atmosfera [$m^{(6-\alpha)} \cdot s^{-1}$]; A_{ij} e S_{ij} áreas impactante e impactada referentes à fonte j e à direção eólica i [m^2]; d_j – distância entre os baricentros das áreas impactante e impactada [m]; α – expoente de amortecimento devido à distância [-]; v_i – velocidade do vento na direção i [m/s]; f_i frequência vento segundo a rosa-dos-ventos [-]; s_i – coeficiente de severidade de emissão de poluente [-].

Por causa da dificuldade de se levantar o valor efetivo do parâmetro k , é mais útil definir o impacto relativo para cada uma das fontes (j), expresso por:

$$I_j = \frac{d_j^{-\alpha} \times s_j \times \sum_{i=1}^{16} [(A_{ij} \times S_{ij}) \times v_i^2 \times f_i]}{\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^n [(A_{ij} \times S_{ij}) \times d_j^{-\alpha} \times v_i^2 \times f_i \times s_j]} \quad (14)$$

Similarmente, pode-se especificar um índice relativo a cada uma das direções do vento, sem levar em consideração a contribuição de cada área impactante (basta colocar o numerador em termos de somatório variando-se as fontes, j).

O coeficiente de severidade é normalizado, sendo igual a 1 (i.e.: 100 %) para a fonte com maior vazão de particulados lançado na atmosfera. O expoente de amortecimento (α) é função complexa da distribuição granulométrica do particulado, de sua massa específica e de sua morfologia. Uma análise preliminar aponta para valores próximos de 2,0. Maiores valores desse coeficiente indicam maior impacto das fontes mais próximas.

A rigor, os índices acima devem ser calculados somente nos períodos sem precipitação pluviométrica. Entretanto, pelo fato de serem relativos esses índices, o efeito da supressão da pluviometria no cálculo fica atenuado. Ademais disso, as lamas e sujidade carregadas por aderência aos veículos que trafegam nas áreas em estudo acabam por contaminar vias dentro do perímetro urbano. Uma vez seco esse contaminante, previamente carregado de modo úmido, causa o impacto via soerguimento das partículas secas pelo movimento de veículos nas vias e pelo próprio vento.

Como consequência final, mesmo o período chuvoso também representa período de contaminação com particulado. Assim, devido à dificuldade matemática de modelar fenômenos assim complexos e a esse efeito não cessante, optou-se por não levar explicitamente em conta os dados pluviométricos no cálculo do impacto relativo (o qual também tem caráter de média estatística devido a consideração das frequências anuais).

A desconsideração da dispersão devido à turbulência e a outros fenômenos da baixa atmosfera leva a erro de quantificação da carga poluente. Entretanto, dado que a área de estudo representa um núcleo urbano rodeado por fontes em potencial (em número de 8), esse erro é, ao menos parcialmente, corrigido pela interpenetração mútua das diversas plumas que adviria de uma formulação mais fenomenológica do processo gaussiano de dissipação de poluentes em fluidos.

7. RESULTADOS

7.1. Caracterização dos atributos geográficos da área de estudo

A discriminação do uso e ocupação do solo é relevante no que diz respeito à identificação de áreas propensas a geração de partículas, particularmente áreas descobertas. Estas, aliadas a variável meteorológica *velocidade do vento*, são em grande escala, responsáveis pela geração de um grande volume de material particulado. O vento ao passar nas áreas desnudas soerguem as partículas do solo e as carregam para outros locais, podendo atingir locais distantes do local gerador.

O relevo de Congonhas pode ser considerado mais plano, com diversificações observadas à noroeste, onde localiza-se a Serra da Moeda. Mantém-se mais plano (com altitude em torno de 900 m) na porção central do município de Congonhas; na porção leste, em direção a Ouro Branco, a altitude começa a variar até em torno de 1400 m de altitude, tendo uma variação de 500 m; na porção norte e noroeste, há também uma variação em torno de 500m (de 900 a 1.400 m aproximadamente).

A malha urbana de Congonhas concentra-se no centro do município, ficando esta na zona de transição (parte mais baixa) da variação da altitude.

A Figura 5.6 evidencia que as atividades minerárias se instalam na porção onde a altitude é mais elevada, chegando a valores em torno de 1.300 m. É nesta mesma altitude que se localiza as principais áreas produtoras de partículas, componente importante na contribuição da geração de poeira nas áreas de minas. As principais atividades emissoras de particulado concentram-se á noroeste do município. Também a noroeste, quase em sentido norte/sul, encontra-se a Serra da Moeda, que funciona como um escudo (barreira física). A Serra da Moeda, disposta a oeste de Congonhas na porção quase norte/sul, forma um escudo que funciona como uma barreira natural que bloqueia a passagem e direciona o vento (proveniente do nordeste) para outra direção. Junto com a corrente de ar é transportado também a poeira levantada nas fontes geradoras por arraste, que acaba por atingir e se depositar na cidade.

O vento incide na Serra da Moeda e é direcionado para leste/sudeste (atingindo a cidade de Congonhas). A Serra da Moeda que forma escudo impede a passagem natural do

vento (que seria norte/noroeste para sul/sudoeste) e modifica o trajeto do vento, causando sua deflexão. Associado ao local onde se instalam as principais fontes geradoras de particulados (altitudes elevadas na Serra da Moeda), o vento, ao passar nessas áreas, carrega junto às partículas por arraste eólico. Como o vento sofre deflexão na sua direção (para leste), a poeira carregada no vento acaba por depositar ao longo do sentido leste (justamente onde situa-se a cidade de Congonhas).

Sabe-se que o mês crítico (ventos mais forte) acontece no mês de Julho (ver Figura 5.9). De qualquer forma, a rosa-dos-ventos mostra que os ventos da região, apesar de serem instáveis, são oriundos principalmente do Nordeste.

Ainda em relação ao clima da região de Congonhas, a tabela 7.1 sumariza os dados climatológicos em função do mês do ano.

Tabela 7.1 – Dados climáticos de Congonhas em função dos meses do ano. Fonte: Pinto e colaboradores (2005).

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precipitação [mm]	258	170	156	57	29	13	14	14	45	123	222	299
Temperatura mínima [°C]	16,9	16,7	16	13,9	11,4	9,8	9,5	11,2	13,6	15,3	16,2	16
Temperatura máxima [°C]	27,8	28,1	27,1	25,6	24,3	23,6	23,6	25,4	26,1	26,5	26,5	26,3
Temperatura média [°C]	22,35	22,4	21,55	19,75	17,85	16,7	16,55	18,3	19,85	20,9	21,35	21,15

7.2. Caracterização das condições meteorológicas da área de estudo

Dentre as variáveis meteorológicas analisadas, as de maior interferência nos processos de emissão de poluentes (notadamente de partículas), destacam-se a precipitação pluviométrica e a velocidade do vento. A chuva está relacionada ao controle natural da emissão de poluentes, visto que a umidade superficial proporcionada pela precipitação reduz o potencial do arraste eólico de superfícies expostas que é proporcional à velocidade do vento incidente nessas superfícies.

As frequências eólicas foram obtidas a partir da mensuração no freeware LiteCad dos vetores eólicos contidos no arquivo *DIRVENTO_SE.KMZ* disponibilizado pelo INPE

(www.inpe.br) para integração com o programa Google Earth. O resultado se vê na Tabela 7.2, que também mostra a velocidade média do vento nas direções consideradas.

A rosa-dos-ventos com os valores normalizados da velocidade, mostrada graficamente em Amarante *et al.* (2010), foi usada no cálculo da velocidade dos ventos. Para isso, a imagem foi inicialmente copiada e tratada para a melhoria de contrastes dos pixels (utilizando os programas *freeware* IrfanView e o Paint.Net). A seguir utilizou-se um sistema computacional para regeneração de coordenadas gráficas, desenvolvido por pelo autor e descrito alhures (Soares Jr. & Luz, 2010). Um programa (*freeware*) similar, o PlotDigitizer Version 2.6.3 (Huwaldt and Steinhorst, 2013) também foi usado, alternativamente, para o restauro de coordenadas.

Como resultado, obtiveram-se os raios vetores normalizados (em termos de fração da velocidade média do vento) – Tabela 7.2. De posse dos valores normalizados calculou-se a média anual da velocidade do vento a partir de dados meteorológicos de estação próxima (Conselheiro Lafaiete, a 19 km de Congonhas), indicando a intensidade do vento conforme as horas do dia - Figura 7.1. A média foi calculada por integração numérica e, alternativamente, via planilha eletrônica. A velocidade média calculada foi de 3,57 m/s.

Tabela 7.2 – Estimativa do regime de ventos na região estudada.

Azimute [°]	Frequência relativa [%]	Módulo da velocidade [m/s]
22,5	4,62	3,42
45	9,21	3,61
67,5	9,32	3,28
90	5,41	3,68
112,5	8,52	4,41
135	25,45	4,41
157,5	18,37	2,8
180	3,78	1,79
202,5	0,32	1,98
225	0,29	2,14
247,5	0,42	2,45
270	0,74	2,65
292,5	2,19	2,94
315	4,85	3,31
337,5	3,25	3,1
360	0,33	3,12

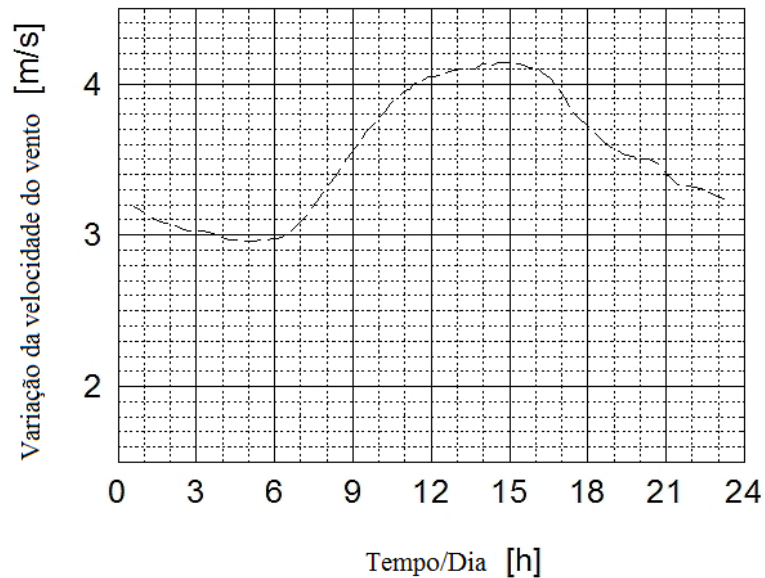


Figura 7.1 – Variação da velocidade do vento estimado para a região de Congonhas. Fonte: Amarante et al., 2010.

O estudo das características da área de estudo – os aspectos geomorfológicos e de uso e ocupação do terreno – interagem diretamente com as condições do escoamento atmosférico e do regime de ventos. Valores altos de sólidos particulados são comumente reportados na área, sendo que a quantidade concentrada de atividade de mineração tem sido apontada como causadora de tais problemas.

Segundo análise do mapa de isoietas anuais médias do CPRM (2009) (apresentado na Figura 5.10), o volume médio anual de chuva da área de estudo é da ordem de 1.500 mm.

Apesar da pluviosidade da região ser relativamente normal, deve-se atenuar para os meses críticos, da época da seca. Principalmente nos meses de junho, julho a agosto, a ocorrência de chuva é bem baixa (Figura 5.8). E ainda, justamente nestes meses, é que há ocorrências de ventos mais velozes.

A velocidade do vento se configura como uma variável meteorológica de grande importância no mecanismo de emissão de poeira por arraste eólico, visto que é o fluxo de ar que remove e transporta as partículas das superfícies expostas. O arraste eólico das partículas depende não somente da velocidade do vento, mas também das características dos materiais expostos à ação do vento, tais como a granulometria do material e a umidade relativa do ar, além das características orográficas da região.

Na Figura 5.9 (já apresentada anteriormente) é apresentado o comportamento da velocidade do vento da região segundo dados obtidos da estação meteorológica de Ouro Branco, localizada às coordenadas 629.663 m E/ 7.726.418 m N (UTM, WGS84), de propriedade do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Em primeira análise, observa-se que a média da velocidade do vento na região é da ordem de 2 m/s, o que denota um baixo potencial de arraste eólico. Além disso, não são identificadas grandes variações sazonais da média mensal da velocidade do vento, prevalecendo à média típica ao longo de todos os meses do ano.

Todavia, deve-se ressaltar que os fenômenos de arraste eólico de partículas são episódios de curto período, principalmente relacionados a rajadas de vento. O fato da identificação de velocidades médias de baixa magnitude não isenta a região da ocorrência de rajadas de vento com velocidades elevadas. Pela Figura 5.9 observa-se

que as máximas médias horárias da velocidade do vento atingem níveis da ordem de 10 m/s, velocidades suficientes para desencadear grandes emissões de material particulado. Se considerarmos que estes são dados médios de 1 hora é possível compreender que rajadas de curta duração (por exemplo, de 5 min) podem atingir níveis de velocidade ainda mais elevados, da ordem de 25 m/s, causando emissões de MP ainda maiores.

Estas condições de ventos críticas, quando ocorrem em concomitância com a ausência de chuvas, são responsáveis por muitos dos episódios críticos de degradação da qualidade do ar experimentados pela área de estudo.

A região de estudo é atualmente carente de dados meteorológicos que permitam a elaboração de uma classificação mais ampla e detalhada do regime de ventos. Os dados disponíveis e qualificados para a análise apresentada, com base na suficiência e consistência (3 anos de dados médios horários válidos), foram obtidos em um único ponto de monitoramento situado em Ouro Branco (estação do INMET). Os dados da estação Ouro Branco, considerados válidos, são representativos do seu respectivo sítio de monitoramento, não sendo aplicáveis de maneira generalizada para toda a extensão da área de estudo, que apresenta complexa diversidade orográfica e de uso e ocupação do terreno.

A elevada complexidade do relevo da região interfere diretamente no regime de ventos. Portanto, por ora as análises apresentadas devem ser vistas como representativas do comportamento típico da velocidade dos ventos na região, mas deve ser entendido que as condições meteorológicas, principalmente o regime de ventos, não se apresentam de maneira homogênea em toda a área de estudo.

Exemplificando a diversidade das condições de vento na região de estudo, os dados a partir da rosa dos ventos da Estação Ouro Branco / INMET (2008 a 2010) indicam as condições de vento médias. Nesta informação média observa-se a ocorrência de ventos predominantemente provenientes do quadrante nordeste (NE) e do quadrante sudeste (SE). É possível notar que o vento de superfície da área de estudo sofre variações significativas de direção e velocidade. A área de estudo apresenta grande diversidade de direções e velocidades do vento e a representação média descrita pela rosa dos ventos apresentada não traduz todas as variantes da direção e velocidade do vento na área de

estudo. Além disso, a data de ocorrência do estudo é do mês de setembro, o que não traduz as variações ocorridas no período crítico de ocorrência dos ventos. Para se ter uma melhor tradução do comportamento da ocorrência do regime dos ventos na região, seria necessário uma Rosa dos Ventos indicando direções e intensidades de vento no mês de julho por exemplo, mês onde os ventos são mais velozes e intensos.

7.3. Fontes emissoras de poluentes atmosféricos

A identificação das emissões atmosféricas tem a intenção de descrever a origem dos poluentes. Partindo do pressuposto principal deste estudo, as partículas em suspensão, ao identificar as fontes e quantificar as partículas e suas respectivas fontes, serão possíveis avaliar qual o setor mais contribui com a emissão de particulados.

As emissões atmosféricas provenientes das indústrias, minerações e dos núcleos urbanos representam as atividades que possuem o maior potencial para alteração da qualidade do ar da área de estudo. De maneira abrangente foram consideradas tanto as emissões de grandes indústrias, como as minerações e siderúrgicas existentes na área de estudo, até atividades antropogênicas com menor potencial poluidor (como empresas de menor porte e utilização de produtos químicos voláteis).

É questionável a afirmativa que diz que a poeira que se estabelece em Congonhas é proveniente das minerações devido às inúmeras fontes de material particulado que o município possui. É por questões óbvias e pelas medidas de concentrações de particulados emitidos por cada empresa mineradora que se pode acusar a mineração por tal fato. Porém, para se ter uma ideia coerente e concisa cientificamente, poderia usar uma metodologia a base de traçadores de poeira. Dessa forma, as principais fontes de material particulado seriam “contaminadas” com traçadores e após um determinado espaço de tempo, gerar-se-ia um mapa contendo a relação origem da poeira e seu local de deposição. Assim, ter-se-ia a ideia dos maiores contribuintes e ainda poderia traçar uma medida mitigadora mais direcionada.

Os empreendimentos industriais de maior porte na área de estudo são relacionados à mineração e à siderurgia. Estes empreendimentos possuem um relevante potencial de alteração da qualidade do ar e significativas áreas de influência. Contudo, empreendimentos de menor porte também possuem capacidade de alteração da

qualidade do ar, principalmente se consideradas as áreas situadas nas suas proximidades (vizinhança imediata).

A maior parte das fontes emissoras identificadas nos empreendimentos industriais citados é de natureza difusa, ocorrendo a céu aberto, sujeitas às variações das condições meteorológicas e às variações das condições operacionais (Tabela 7.3).

Tabela 7.3 – Empreendimentos industriais da região de Congonhas. Fonte: adaptado de Ecosoft (2012).

Empresa	Atividade
CSN - Casa de Pedra	Mineração
Ferro +	
Ferrous^c	
Namisa^b	
Nogueira Duarte	
Polaris	
Precal	
Vale^a	
Gerdau - Açominas	Siderurgia
VSB^c	

Notas:

- a. Inclui também a atividade de Pelotização do Complexo Fábrica;
- b. No cenário projetado foi considerada a Usina de Pelotização da Namisa;
- c. Empreendimento considerado no cenário projetado (futuro).

A seguir, será quantificada a emissão de particulados advindos dos empreendimentos levantados no inventário de fontes poluidoras.

7.4. Nível de material particulado na atmosfera

A concentração de particulado foi medida em diferentes pontos da área de estudo. Primeiro, foi medido as emissões totais de material particulado de cada empresa do setor mineiro e metalúrgico (Tabela 7.4).

Tabela 7.4 – Estimativa das taxas médias de emissão de particulados dos empreendimentos industriais da região de Congonhas. Fonte: adaptado de Ecosoft (2012).

Empresa	Concentração [kg/h]	
	MP *	MP ₁₀ **
CSN - Casa de Pedra	702,5	457,5
Ferro +	29,8	24
Ferrous^c	75,8	53,6
Namisa^b	143,4	92,4
Nogueira Duarte	10	6,8
Polaris	23,1	16,7
Precal	16,4	10,5
Vale^a	874	539,6
Gerdau - Açominas	615,3	438
VSB^c	-	-
Total	2558,0	1676,7

Notas:

- a. Inclui também a atividade de Pelotização do Complexo Fábrica;
 - b. No cenário projetado foi considerada a Usina de Pelotização da Namisa;
 - c. Empreendimento considerado no cenário projetado (futuro).
- *: MP – Material particulado;
 **: MP₁₀: Material particulado com tamanho menor que 10 µm.

A quantidade de material particulado médio emitido pelos empreendimentos industriais de Congonhas apresenta-se alto, uma média de aproximadamente 4,0 toneladas de emissão de material por hora (partículas totais em suspensão e partículas inaláveis – MP₁₀). Segundo Losekann (Jornal Hoje em Dia, 2010), mais de 120 toneladas de poeira são retiradas por mês na varrição das ruas de Congonhas. Uma média de 4 toneladas por dia. Mesmo afirmando que parte das partículas geradas nestas fontes é desviada para outros pontos (fora do centro urbano) devido às variações de direção, sentido e velocidade do vento, conclui-se que os empreendimentos industriais (minerometalúrgicos) de Congonhas são os maiores contribuintes pela emissão de material particulado que estabelece na cidade.

Os dados da Tabela 7.5, evidenciam a concentração de partículas totais em suspensão (PTS) recebidas em cada ponto determinado, de acordo com os setores já representados nas Figuras 6.2 e 6.3.

A quantidade de PTS descrita na tabela a seguir não representa apenas PTS geradas pelas empresas minerometalúrgicas de Congonhas e região. A concentração de PTS

engloba emissões de todos os tipos de fontes listadas no estudo de base para este (ECOSOFT, 2012): emissões urbanas (veiculares, residenciais e comerciais, postos de combustíveis), emissões biogênicas e emissões de queimadas.

Tabela 7.5 – Concentrações de PTS (Partículas Totais em Suspensão) Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos do centro urbano de Congonhas. Fonte: adaptado de EcoSoft (2012).

Local		Concentração de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Máxima de 24 h	Média Anual	
A	Belo Vale	71,8	39,6	
B	Boa Morte	84,5	42,4	
C	Pires	213,3	81,3	
D	Motas	175,5	50,4	
E	Jeceaba	115,1	44,7	
F	Caetano Lopes	143,4	51,2	
G	Santa Quitéria	159,2	52,2	
H	Bairro Plataforma	196,1	68,8	
I	São Brás do Suaçuí	85,1	38,3	
J	Alto Maranhão	88,4	41,9	
K	Lobo Leite	85,5	45,7	
L	Joaquim Mutinho	73,1	44,5	
M	Ouro Branco	69,5	38,1	
N	Conselheiro Lafaiete	70,4	39,3	
O	Congonhas	Setor 1	202,4	68,3
		Setor 2	170,2	65,4
		Setor 3	146,3	61,6
		Setor 4	134,5	56,3
		Setor 5	178,6	61,2
		Setor 6	158,2	58,9
		Setor 7	145,4	58
		Setor 8	129,2	55
		Setor 9	103	50,4
Padrão de qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		240	80*	
Padrã de qualidade do Ar (Organização Muncial de Saúde - OMS)		150	70	

* Média geométrica

Segundo análise da Tabela 7.5 é notório que a concentração de PTS não supera o limite estabelecido pela Resolução Conama 03/1990 para padrão de qualidade do ar, exceto no ponto Pires, onde a concentração de PTS excedeu o limite máximo permitido pela Resolução Conama 03/1990 ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$) em $81,3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pires é um bairro geograficamente próximo a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN (a segunda maior indústria emissora de material particulado, segundo a tabela 6.3). O fator da proximidade geográfica entre os pontos, neste caso, é o principal agente condicionante da situação de Pires.

Entretanto, considerando o limite máximo permitido pela Organização Mundial de Saúde, observa-se várias localidades com limites extrapolados. Porém, esses valores consideram médias, e o fato é que há períodos em que a situação é crítica (meses secos: junho, julho e agosto). É esta época do ano que merecia maior atenção e mais análises, pois é justamente nela que os impactos e problemas são atenuados.

7.5. Partículas Inaláveis (PI)

A Tabela 7.6 apresenta as concentrações de PI máxima média de 24 horas e média anual avaliada em cada um dos pontos receptores selecionados na área de estudo.

Tabela 7.6 – Concentrações de PI (Partículas Inaláveis) Avaliadas nos Pontos Receptores da Região de Congonhas. Fonte: Adaptado de Ecosoft (2012).

Local		Concentração de PI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Máxima de 24 h	Média Anual	
A	Belo Vale	33,9	14,3	
B	Boa Morte	42,5	16,5	
C	Pires	108,5	40,0	
D	Motas	91,6	21,1	
E	Jeceaba	57,9	17,5	
F	Caetano Lopes	71,1	20,9	
G	Santa Quitéria	81,5	21,8	
H	Bairro Plataforma	101,7	31,8	
I	São Brás do Suaçuí	41,4	13,8	
J	Alto Maranhão	41,4	16,3	
K	Lobo Leite	43,6	18,2	
L	Joaquim Mutinho	35,3	18,0	
M	Ouro Branco	38,8	14,6	
N	Conselheiro Lafaiete	33,9	15,1	
O	Congonhas	Setor 1	107	32,3
		Setor 2	89,3	31,3
		Setor 3	75,9	29,3
		Setor 4	68,4	25,9
		Setor 5	93,8	27,6
		Setor 6	80,9	26,9
		Setor 7	75,1	26,9
		Setor 8	66,0	25,2
		Setor 9	52,2	22,1
Padrão de qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		150	50	

* Média geométrica

Em geral, as concentrações de PI seguem a mesma tendência de comportamento das concentrações de PTS, seguindo a mesma tendência de localização das áreas mais impactadas pelas emissões consideradas.

Com base nos limites estipulados pela Resolução Conama 03/1990, as concentrações de PI em todos os pontos da área de estudo estão dentro do limite estabelecido.

Porém, a última diretriz publicada pela Organização Mundial de Saúde – OMS revê os limites de emissão de poluentes no ar. De acordo com o Padrão Nacional de Qualidade do Ar, tem-se como limite uma emissão anual de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A OMS recomenda que o ideal seja no máximo 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de emissão anual. O padrão nacional foi regulamentado pelo Conama em 1990, tendo como referências o padrão dos EUA na década de 70. De lá para cá, o conhecimento científico avançou e mostrou que uma pequena concentração de poluentes pode ser nociva. Portanto, em comparação com os limites estabelecidos pela OMS, as concentrações apresentadas estão extrapoladas em mais de 60% dos pontos analisados.

7.6. Difração de Raios X

A análise de difração de Raios X teve por objetivo verificar quais os minerais e substâncias presentes na amostra.

O resultado (Figura 7.2) mostra a presença de muscovita ($\text{H}_2\text{Al}_3\text{KO}_{12}\text{Si}_3$), hematita (Fe_2O_3), caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e quartzo (SiO_2).

A análise mostra forte evidência de ser o pó recolhido em Congonhas originário do minério de ferro, uma vez que o principal componente deste em sua fase cristalina é a hematita. E ainda, há forte presença da muscovita, que é o principal componente do quartzito.

Uma observação a ser feita diante da análise é a alta porcentagem de muscovita presente na amostra. O fato pode ser explicado devido ao *habitus* da muscovita. Ela apresenta clivagem basal perfeita o que afere a ela maior facilidade de ser carreada pela ação do vento, comparada aos outros minerais presentes na amostra.

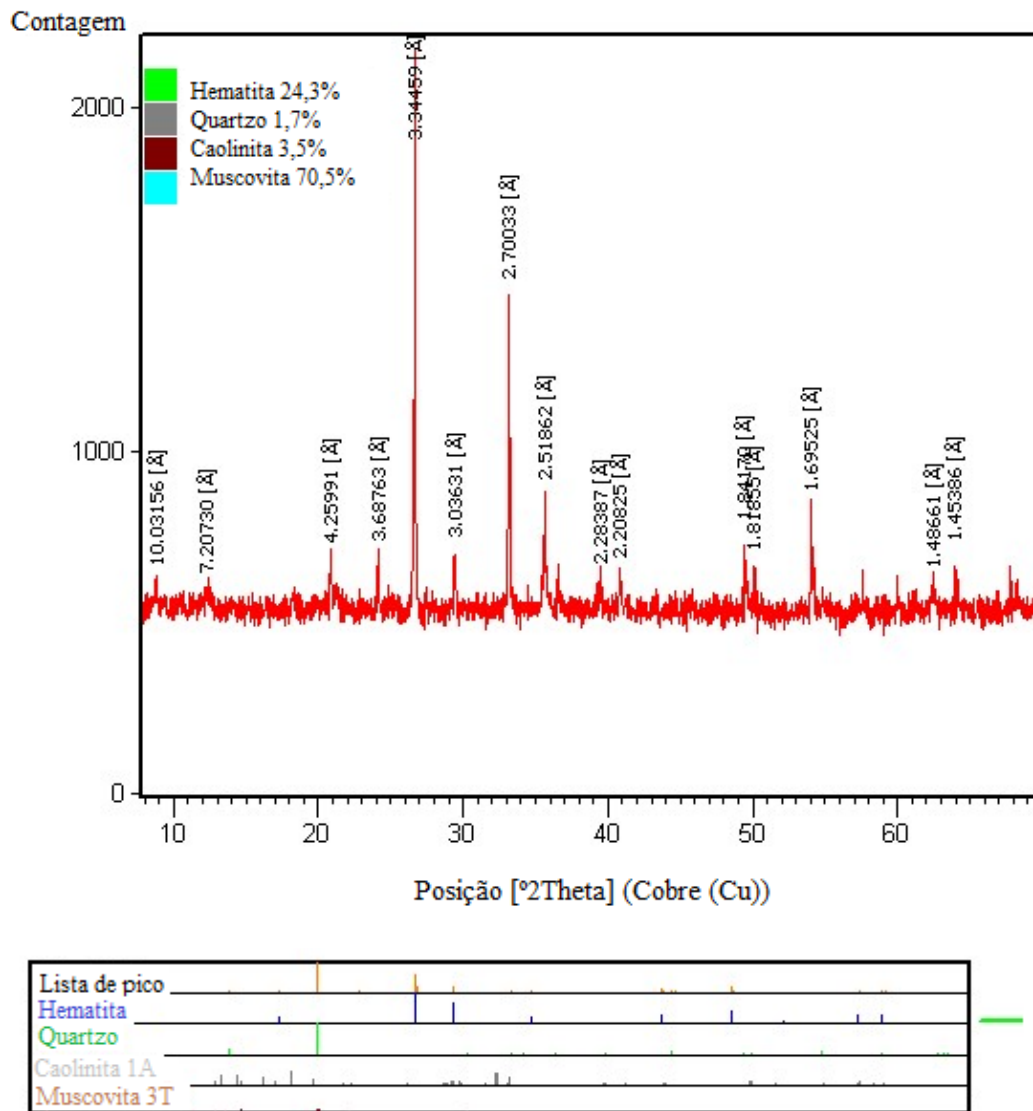


Figura 7.2 – Resultado da análise de difração de raios X feita no Laboratório do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto.

7.7. Quantificação - Impacto integrado

A estimativa de velocidade limiar de saltação eólica, em função do tamanho de partícula, resultou boa aderência aos dados e pode ser expressa por:

$$v_{sal} = k_1 \times d_p^{k_2} - k_3 \times [\ln(d_p)]^{k_4} \quad (15)$$

Tal expressão foi sugerida por análise matemática (sendo uma generalização de uma *pursuit curve*, ou curva de perseguição: $y = c + a \cdot x^2 - \ln(x)/(8 \cdot a)$). O software *EasyPlot* (www.spiralsoftware.com) foi utilizado para a regressão estatística. Paralelamente a isso, a adoção de diversas equações com mais parâmetros regressionais não se mostrou vantajosa em termos de ganho de aderência estatística, mesmo após mais de um milhão de gerações do algoritmo genético cerne do programa *Eureka-Formulize*. Os valores regressionais das constantes são: $k_1 = 9.834332$; $k_2 = 0.05149508$; $k_3 = 8.828183$; $k_4 = 0.2168818$. Essa equação foi plotada como linha tracejada na figura correspondente aos dados de velocidade limiar de saltação (Figura 4.9). A Figura 7.3 mostra a comparação entre os valores previstos e os dados empíricos (levantados de vários pesquisadores por Kok *et al.*, 2012). Deve-se ressaltar que o grande espalhamento da nuvem de dados deve-se à diversidade metodológica associada a sua obtenção.

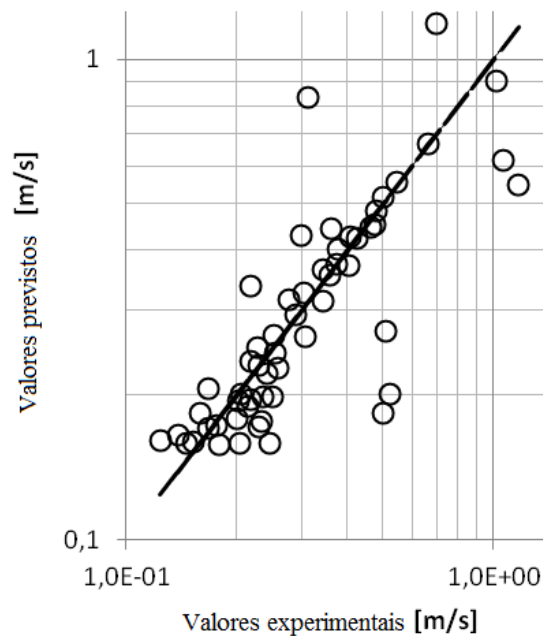


Figura 7.3 – Valores previstos versus experimentais da velocidade limiar de saltação.

As principais fontes antropogênicas de particulados consideradas foram as delimitadas no mapa da Figura 5.6. A Tabela 7.7 indica as distâncias entre o ponto central do núcleo urbano e as fontes de particulados consideradas, registrando também as áreas totais de

cada uma dessas fontes. As principais fontes produtoras de poeira estão atreladas a três tipos de ocorrências, todas elas associadas à atividade minerária: levantamento de poeira pela movimentação de caminhões em estradas sem pavimentação.

Tabela 7.7 – Estimativas de distâncias e áreas das fontes e do núcleo urbano.

Sítio	Distância entre baricentros [km]	Área total [(km)²]
Centro Urbano	0	11,66
Fonte 1	10,153	9,813
Fonte 2	8,688	0,9193
Fonte 3	11,127	4,801
Fonte 4	8,28	10,997
Fonte 5	7,081	0,191
Barragem de rejeitos	4,589	1,667
Complexo siderúrgico 1	10,708	8,513
Complexo siderúrgico 2	15,285	3,209

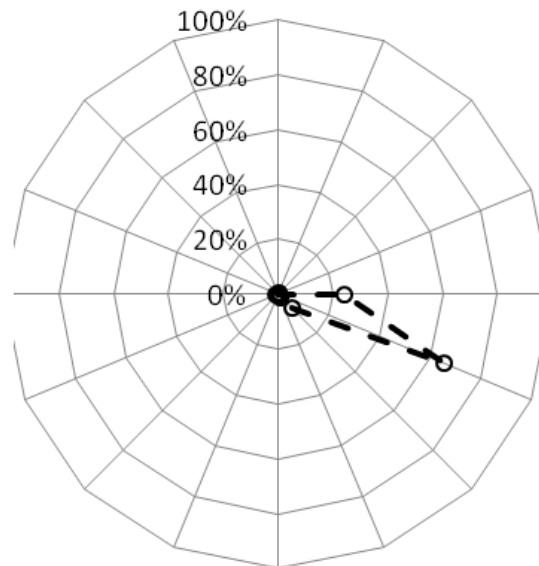
A poeira é trazida das minas à zona urbana pela ação do vento enquanto a poeira das estradas pavimentadas sujas de pó, em parte, pelo tráfego de caminhões que saem das minas.

A tabela 7.8 sumariza o impacto relativo de poluição por particulados totais das fontes constantes no entorno de Congonhas. Nessa tabela tem-se a seguinte codificação: fonte 1 é a cava 1; fonte 2 é a cava 2; fonte 3 é a cava 3; fonte 4 é a cava 4; fonte 5 é a cava 5; fonte 6 é a barragem de rejeitos; fonte 7 é o complexo siderúrgico 1; e a fonte 8 é o complexo siderúrgico 2.

Tabela 7.8 – Distribuição do impacto ambiental devido a material particulado.

Expoente <i>alfa</i> [-]	Índice de impacto de particulados por fonte em função de alfa [%]							
	Fonte 1	Fonte 2	Fonte 3	Fonte 4	Fonte 5	Fonte 6	Fonte 7	Fonte 8
1	5,02	0,5	5,67	80,92	0,01	4,02	2,39	1,47
1,1	4,91	0,49	5,54	80,92	0,02	4,4	2,34	1,39
1,2	4,8	0,49	5,41	80,87	0,02	4,82	2,28	1,32
1,3	4,69	0,48	5,28	80,78	0,02	5,27	2,23	1,24
1,4	4,58	0,47	5,16	80,64	0,02	5,77	2,18	1,18
1,5	4,47	0,47	5,03	80,46	0,02	6,32	2,12	1,11
1,6	4,36	0,46	4,9	80,21	0,02	6,93	2,07	1,05
1,7	4,25	0,45	4,78	79,91	0,02	7,59	2,02	0,99
1,8	4,14	0,45	4,65	79,54	0,02	8,31	1,96	0,93
1,9	4,02	0,44	4,52	79,11	0,02	9,1	1,91	0,88
2	3,91	0,43	4,39	78,6	0,02	9,96	1,85	0,83
Coefficiente de severidade	100	100	100	100	100	25	100	100

No que concerne à direção eólica, a figura 7.4 ilustra em gráfico polar a contribuição média anual de cada vento ocorrente na região. Nota-se pelo gráfico, que a direção do vento mais relevante é a azimute 112,5°.



Impacto relativo - vento direto

Figura 7.4 – Impacto relativo do vento, segundo a direção.

Como nota final registre-se que a generalização do método para levar em conta outros contaminantes atmosféricos (*airborne contaminants*) pode ser feita de maneira relativamente simples. Para particulados manométricos as mobilidades browniana, molecular e/ou iônica devem ser adicionadas nas equações de dispersão atmosférica.

8. CONCLUSÃO

Ao compilar os dados (relevo, pluviosidade, velocidade, direção e sentido do vento, densidade de atividades geradoras de particulados numa determinada região) pode-se notar que é evidente a falta de uma gestão que controle a geração e a dispersão da poeira na cidade de Congonhas.

As atividades de mineração próximas uma das outras, associadas ao local onde estão instaladas (no alto da Serra da Moeda) sofrem grande influência do vento. O vento ao passar nas áreas de mineração arrasta o material particulado, que é transportado juntamente com o sentido do vento. Os ventos da região são oriundos do nordeste, e seria natural percorrem sentido sudoeste. Porém, a certa altura, se deparam com uma barreira natural, a Serra da Moeda, que modifica sua direção, e acaba por refletir os ventos para a direção da cidade de Congonhas (sudeste). É neste momento que as partículas se depositam na cidade e geram o impacto socioambiental.

As principais fontes produtoras de poeira (associando PTS e PI) estão atreladas a três tipos de ocorrências, todas elas associadas à atividade minerária: levantamento de poeira pelos caminhões que transportam minério de ferro em estradas sem pavimentação, a poeira trazida das minas à zona urbana pela ação do vento e a poeira das estradas pavimentadas sujas de pó, em parte, pelo tráfego de caminhões que saem das minas. O setor metalúrgico também possui parcela de contribuição no que se refere à poeira que se instala em Congonhas, porém em pequenas proporções, quando comparado às emissões dadas pela mineração.

A questão está atrelada a muitas condicionantes, porém, é questionável a intensa atividade de mineração que se situa em Congonhas. Quando projetos se encontram em atividade muito próximos uns aos outros é necessário uma visão geral, englobando todos os projetos em apenas um, em se tratando de consequências e geração de resíduos.

Ao longo do estudo, a empresa CSN afirmou tomar medidas mitigadoras que visam controlar a emissão de material particulado. Logo, essa e outras ações similares se tornam inválidas devido à falta de um direcionamento geral das empresas. Talvez se todas as empresas locais seguissem um plano de gestão a fim de controlar, neste caso, a emissão de particulados, o problema poderia ser controlado.

Medidas de mitigação de impacto ambiental causado pela grande concentração de material particulado na atmosfera já são utilizadas, e com sucesso, por muitas mineradoras. Porém, é necessário estabelecer uma nova forma, generalizada, para avaliar os impactos ambientais que se integram por consequência da proximidade geográfica entre empresas.

Uma forma de mitigar o problema gerado neste tipo de situação seria a princípio gerar uma listagem padrão de condicionantes a serem aplicados em empreendimentos de mesmo setor, neste caso, empreendimentos minero-metalúrgicos. Propostas:

- Umidificar vias de trânsito sem pavimentação com mais constância (exigir uma quantidade mínima de caminhão pipa/dia, de acordo com o fluxo de veículos e condições climáticas de cada área),
- Exigir instalação de equipamentos ou projetos que visem à barreira do vento e impeçam o transporte de material particulado dos pátios das empresas para outras localidades (tipos de barreira de vento: *Wind Fence*, barreira natural composta de árvores de grande porte),
- Exigir a limpeza dos veículos aos sair da empresa para outros locais, instalando no local de saída dos veículos um sistema para lavagem da poeira – sistema lava rodas.

Uma proposta de mitigação específica para este caso (e que também pode ser tida como genérica para casos similares) seria criar uma barreira natural (para diminuir a velocidade do vento) a montante e ortogonal a direção mais influente do vento, a azimute 112,5°.

A equação que calculou o índice integrado de impacto ambiental na área estudada determinou as áreas fontes de maior contribuição de particulados que invade o centro urbano de Congonhas. A fonte 4 (cava 4 – atividade de mineração) é a fonte com maior contribuição, em vista principalmente da proximidade com o centro urbano e maior área exposta. E ainda associado ao parâmetro direção do vento, também determinada pela equação empírica (equação 14), que aponta a azimute 112,5 °C como o vento de maior contribuição, pode-se notar a relação (proporção) entre os parâmetros proximidade da área fonte e área receptora, tamanho da área exposta e direção do vento.

Mas, a origem da poeira ainda não pode ser afirmada. Mesmo com evidências que levam a concluir que a poeira que se instala em Congonhas é proveniente do minério de ferro, não se pode afirmar com veracidade tal fato. São muitas variáveis que questionam tal fato: grande quantidade de fontes emissoras, proximidade entre as fontes emissoras, instabilidade de velocidade e direção do vento, relevo. Portanto, para determinação concisa do fato, a proposta seria identificar a poeira no local de emissão e acompanhar sua trajetória até sua deposição. Pra isso poderia usar traçadores para auxiliar na descrição.

Importante ressaltar que as empresas devem estar em acordo com as leis ambientais vigentes, mas em paralelo, observar se aquele mesmo ambiente também oferece condição mínima de sobrevivência para a população e para o meio ambiente. Muitas vezes estar em dia com as leis não significa que está tudo bem.

Portanto, diante dos fatos, conclui-se que o licenciamento ambiental individual de empresas que se instalam e atuam relativamente próximas uma das outras merecem adição ou mesmo uma modificação na forma de avaliação de seus impactos. Torna-se necessária uma visão ampla da situação e propostas conjuntas, em vista de amenizar situações paralelas como a exposta no presente trabalho.

9. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. T. (1999). A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Tese (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 186p. São Paulo.
- AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; ANDRADE, P. E. P. 2010). Atlas Eólico: Minas Gerais. Belo Horizonte: Cemig. 84 p.
- ASSUNÇÃO, J. V. (1998). Poluição atmosférica. Academia de Ciências do Estado de São Paulo. 271-308 p. São Paulo.
- BAIRD, C. (2002). Química Ambiental. 2ª Ed. Trad. M.A.L. Recio e L.C.M Carrera. Bookman. Porto Alegre.
- BALDOCCHI, D. Lecture 17, Wind and turbulence, Part 2 – surface Boundary Layer: Teory and Principles. Disponível em: <<http://nature.berkeley.edu/biometlab/espm129/notes/Lecture%2017%20Wind%20and%20Turbulence%20Part%202%20Surface%20Boundary%20Layer%20Theory%20and%20Principles%20notes.pdf>>
- BAUER, B. O.; HOUSER, C. A.; NICKLING, W. G. Analysis of velocity profiles from wind tunnel experiments with saltation. In : Lee, Jeffrey A. and Zobeck, Ted M., 2002, Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference, International Center for Arid and Semiarid Lands Studies, Texas Tech University, Lubbock: USA Publication 02-2 p.10.
- BAUMBACH, G. (1996). Air Control Quality. Spriger.
- BOÇON, F. T. (1998). Modelagem Matemática do escoamento e da dispersão de poluentes na microescala atmosférica. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. 308p. São Paulo.
- BOLANDER, P. (1999). Dust Palliative Selection and Application Guide. Technology & Development Program. 23p. Califórnia.
- BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. (1995). Environmental science: earth as a living planet. New York, John Wiley.

- BUSKE, D.; VILHENA, M. T.; TIRABASSI, T.; BODMANN, B. (2012) Air Pollution Steady-State Advection-Diffusion Equation: The General Three-Dimensional Solution. *Journal of Environmental Protection*, 3, p.: 1124 – 1134.
- CAVALCANTI, P. M. P. S.; LA ROVERE, E. L. (2011). Strategic environmental assessment of mining activities: a methodology for quantification of cumulative impacts on the air quality. Technical paper. In: *Journal of the Air & Management Association*, v 61. Federal University of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. p. 377-389.
- CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R. (1999). Diluição de contaminantes na atmosfera. *Ventilação Industrial*. Editora da UFSC. 287-298p. Florianópolis.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (2000). Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo. 56p. São Paulo.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (2005). Relatório de qualidade do ar em São Paulo. 153p. São Paulo.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. (1996). Critérios para instalação de quebra-ventos. EMBRAPA Uva e Vinho. Comunicado técnico, nº 18. 1-2p. Bento Gonçalves, RS.
- CREYSSELS, M.; DUPONT, P.; OULD EL MOCTAR, A.; VALANCE, A.; CANTAT, I.; JENKINS, J. T.; PASINI, J. M.; RASMUSSEN, K. R. (2009). Saltating particles in a turbulent boundary layer: experiment and theory. *J. Fluid Mech.* (2009), vol. 625, pp. 47–74.
- CRAM, K. (2004). The standing committee on dust research & control. Project Manager Workplace Environment, Coal Services Health. NSW Mining Industry Occupational Health & Safety Conference. July, 2004.
- CURI, A. (2002). Análise qualitativa da sustentabilidade ambiental da mineração: mito e realidade. In: VILLAS BÔAS, Roberto & BEINHOFF, Christian (Editores). *Indicadores de sustentabilidade para la industria extractiva mineral*. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, p. 47 – 62.
- DAVIS, E. G.; PINTO, E. J. A.; PINTO, M. C. F. (2005). *Apa Sul Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte – Volume 9; Parte A: Hidrologia/ Estudos Do Meio Físico*. Belo Horizonte: Comig.

- DNPM (2006). Departamento Nacional de Produção Mineral.
- ECOSOFT (2012). Projeto de rede otimizada de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia da região de Congonhas. Estudo técnico. 173p. Congonhas, MG.
- EPA – Environmental Protection Agency. (2004). Potential Environmental Impacts of Dust Suppressants: “Avoiding Another Times Beach”. Piechota. Las Vegas, Nevada.
- FARIAS, C. E. G. (2002). Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Relatório para o CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 40p. Brasília, DF.
- FERNANDES, F. R. C.; LIMA, M. H. R.; TEIXEIRA, N. S. (2007). Grandes Minas e Comunidade: algumas questões conceituais. Série de Estudos e Documentos. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. 58p. Rio de Janeiro.
- FERREIRA, A. A. M. (2012). A expansão da mineração no município de Congonhas (MG) e implicações socioambientais. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. 131p. Ouro Preto, MG.
- FIGUEIREDO, D.V. (1985). Poluição na indústria siderúrgica: processo, poluentes e controle das emissões. CETEC ed.. Belo Horizonte, MG.
- FONSECA, F. (2003). Os Efeitos da Mineração sobre o Meio Ambiente. Geologia Ambiental. Editora Universidade Federal do Ceará. Ceará.
- FURBINO, Z. (2010). As serras peladas de Minas. Estado de Minas.
- GABAS, G. C. C. (2008). Análise crítica dos critérios de seleção de respiradores para particulados em ambientes de mineração. Tese (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 124p. São Paulo.
- GOMES, M. J. M. (2001). Ambiente e pulmão. In: V Jornada de Pneumologia Pediátrica e I Jornada Luso-Brasileira do Rio de Janeiro. Anais Conferência do VIII Congresso de Pneumologia e Tisiologia do Estado do Rio de Janeiro. 9p. Rio de Janeiro.
- GRIMM, A. M.. (1999). Grupo de Pesquisas em Meteorologia. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Física, Disponível em: <http://www.fisica.ufpr.br/grimm/>

- GODISH, T. (1991). Air quality. 2 Ed. Chelsea, Lewis.
- HIGGINBOTHAM, N.; FREEMAN, S.; CONNOR, L.; ALBRECHT, G. (2009). Environmental injustice and air pollution in coal affected communities, Hunter Valley, Australia. Article in Journal Health and Place, v 16 (2010), p.259-266.
- HOJE EM DIA. (2010). Editorial: Mineração sufoca e depreda patrimônio natural e histórico de MG. Congonhas, MG. Disponível em: <<http://defender.org.br/2010/04/25/mineracao-sufoca-e-depreda-patrimonio-natural-e-historico-de-mg/>>. Acesso em: 19/10/2011.
- HOJE EM DIA. (2010). Editorial: População de Congonhas (MG) sofre com poeira de minério de ferro. Congonhas, MG. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/cidades/noticias/populacao-de-congonhas-mg-sofre-com-poeira-de-minerio-de-ferro-20100910.html>>. Acesso em: 19/10/2011.
- HOJE EM DIA. (2011). Editorial: Congonhas/MG – Levantou poeira. Congonhas, MG. Disponível em: <<http://defender.org.br/2011/06/25/congonhasmg-levantou-poeira/>>. Acesso em: 19/10/2011.
- HOJE EM DIA. (2011). Editorial: MG – Congonhas multará carro sujo que passar por cidade. Congonhas, MG. Disponível em: <<http://defender.org.br/2011/07/27/mg-congonhas-multara-carro-sujo-que-passar-por-cidade/>>. Acesso em: 19/10/2011.
- HOJE EM DIA. (2011). Editorial: Congonhas respira poeira. Congonhas, MG. Disponível em: <<http://defender.org.br/2011/09/17/mg-congonhas-respira-poeira/>>. Acesso em: 19/10/2011.
- HUWALDT, J. A. & STEINHORST, S. PlotDigitizer. (2013). Source code is available at: <<http://plotdigitizer.sourceforge.net/>>
- IRAMINA, W. S. (2007). Considerações sobre a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica na elaboração do EIA de uma mina de nefelina-sienito. Tese (Livre-docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- KISSEL, F. N. (2003). Handbook for Dust Control in Mining. Pittsburgh: U.S. Department of health and human services. National Institute for Occupational Safety and Health. Research Laboratory.

- KULCSAR, F. et al.(1995). *Sílica: Manual do Trabalhador*. Fundacentro. São Paulo.
- KOK, J. F.. (2010). Analytical calculation of the minimum wind speed required to sustain wind-blown sand on Earth and Mars. Available at: <arxiv.org/ftp/ arxiv /papers/1001/1001.4840.pdf>
- KOK, J. F.; PARTELI, E. J. R.; MICAHELS, T. I.; BOU KARAM, D. (2012). The physics of wind-blown sand and dust. *Rep. Prog. Phys.* 75, 106901.
- LANDSBERGER, S.; BIEGALSKI, S. (1995). Analysis of inorganic particulate pollutants by nuclear methods. *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer-Verlag. Berlin.
- LIMA, R. J. C.; SANTOS, R. S. P. (2012). Formas de Ação Econômica e Economicamente Relevante na Mineração de Ferro: o caso dos conflitos socioambientais em Congonhas (MG). In: 37º Encontro Anual da ANPOCS. Águas de Lindoia, SP. 2013.
- LUZ, J. A. M. (2008). Tópicos em Abatimento de Particulados em Efluentes Gasosos. *Revista FIS - Fornecedores Industriais*, v. 1: n.6. Ipatinga, MG.
- MILAN, M. T.; MALUF, O.; SPINELLI, D.; BOSE FILHO. (2004). *Metais – Uma Visão Objetiva*. Suprema Gráfica e Editora Ltda, v.1, 1ª Edição, 264p. São Carlos, SP.
- MOREIRA, I. V. D. (1985). *Avaliação de Impacto Ambiental Assessoria Técnica da Presidência*. FEEMA. Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, C. R.; RUBIO, j. (2007). Abatimento de material particulado disperso: situação atual na mineração. In: *Brasil Mineral*. Edição especial, nº 262. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT. (1999). *A Compendium of Current Knowledge on Fine Particulate Matter in Ontario*. Appendix A: Methodologies in Estimating Particulate Matter Emissions. Ontario.
- PACYNA, J. M. (1995). Sources, particle size distribution and transport os aerosols. In: KOUIMTZIS, T.; SAMARA, C. eds. *Airborne particulate matter*. Berlin, Springer-Verlag. (The Handbook of Environmental Chemistry, 4, Pt D.)

- PHILLIPI, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. (editores). (2004). Curso de gestão ambiental. Manole. 1041p. Barueri, SP.
- RAVEN, P. H.; BERG, L. R.; JOHNSON, G. B. (1995). Environment. Fort Worth, Saunders College Publishing.
- _____. Resolução CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990. Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- RESENDE, F. (2007). Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios. Tese (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 232p. São Paulo, SP.
- REVISTA PROTEÇÃO (2008). Prêmio Proteção Brasil – Higiene Ocupacional. Novo Hamburgo, RS.
- RIPLEY, E. A.; REDMANN, R. E.; CROWDER, A. A. (1996). Environmental Effects of Mining. ISBN 188401576X.
- RUEDA, T. C.; SANTOS, L. M.; RABELO, G. F. (2005). Controle automático do nível de poeira baseado em microcontrolador.
- SANTOS, M. K.; NEETZOW, R. (2005). Qualidade Ambiental e Tecnologias Limpas. In: Apostila do Curso de Especialização em Produção Limpa e Ecobusiness. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. (2002). Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. In: Sustentabilidade na Geração e uso de Energia. UNICAMP. 20p. Campinas, SP.
- SEMAD, 2008. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais.
- SIGILIANO, D. M. (2013). Briquetadas Dessulfurantes para Produção de Aço de Alta Pureza. Tese (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto. 105p. Ouro Preto, MG.
- SILVA, J. M.; LUZ, J. A. M. (2013) Impactos Ambientais decorrentes das operações mineiras subterrâneas de manuseio de materiais. In: 7ª Jornada técnico-científica de

“Medio Ambiente Subterráneo y Sostenibilidad” – Ambiente, seguridad y salud
Guadalajara, México - 3, 4, 5 de Julio de 2013.

SILVA, J. P. S. (2007). Impactos ambientais causados por mineração. Revista Espaço da Sophia. Ano I, Nº 8. 13p. Brasília.

SOARES JR., LUZ, J. A. M. (2010). Sistema computacional para regeneração de coordenadas gráficas In: 65o. Congresso da ABM, 2010. São Paulo: ABM, 2010. v.1, p.1 - 8.

STULL, R. B. (2003). An Introduction to Boundary Layer Meteorology (Atmospheric Sciences Library). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 673 p.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. (2005). Determinação dos fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora – MG. Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Avançado de Jataí, GO. 23p. Jataí, GO.

TRAVNIK, W. A. (1991). State of Art Dust Suppressants/Solt Stabilizers. In: Proceedings of the 42nd. Coeur D’Alene, Idaho. Annual Road Builders’ Clinic. 5-6p.

VASCONCELLOS, P. C. (1996). Um estudo sobre a caracterização de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e seus derivados, e hidrocarbonetos alifáticos saturados em material particulado atmosférico proveniente de sítios urbanos, suburbanos e florestais. Tese (Doutorado). Instituto de Química, Universidade de São Paulo. 103p São Paulo.

VOLPE, C. A. (1997). Princípios básicos para a instalação e uso de quebra-ventos e arborização em propriedades agropecuárias. In: Simpósio sobre ecossistemas de pastagens. FCAV/UNESP. 112-136p. Jaboticabal, SP.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP / WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. (1994). Measurement of suspended particulate matter in ambient air. In: GEMS/AIR methodology review handbook series. V.3. Nairobi, Geneva.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2004). Air Quality Criteria for Particulate Matter. – Vol II.

- YOUNG, C.E.F.; LUSTOSA, M.C.J. (2001). Meio Ambiente e Competitividade na Indústria Brasileira. Revista de Economia Contemporânea. Edição Especial, v.5. 231-259p. Rio de Janeiro.
- WALKER, L. J.; JOHNSTON, J. (1999). Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions. European Commission. Luxembourg.
- WALKER, S. (1997). Beating the dust devils. Mining Environmental Management. 23p.
- WILLEKE, K.; BARON, P. A., Eds. (1993). Aerosol measurement: principles techniques and applications. Van Nostrand Reinhold. New York.

10. ADENDOS

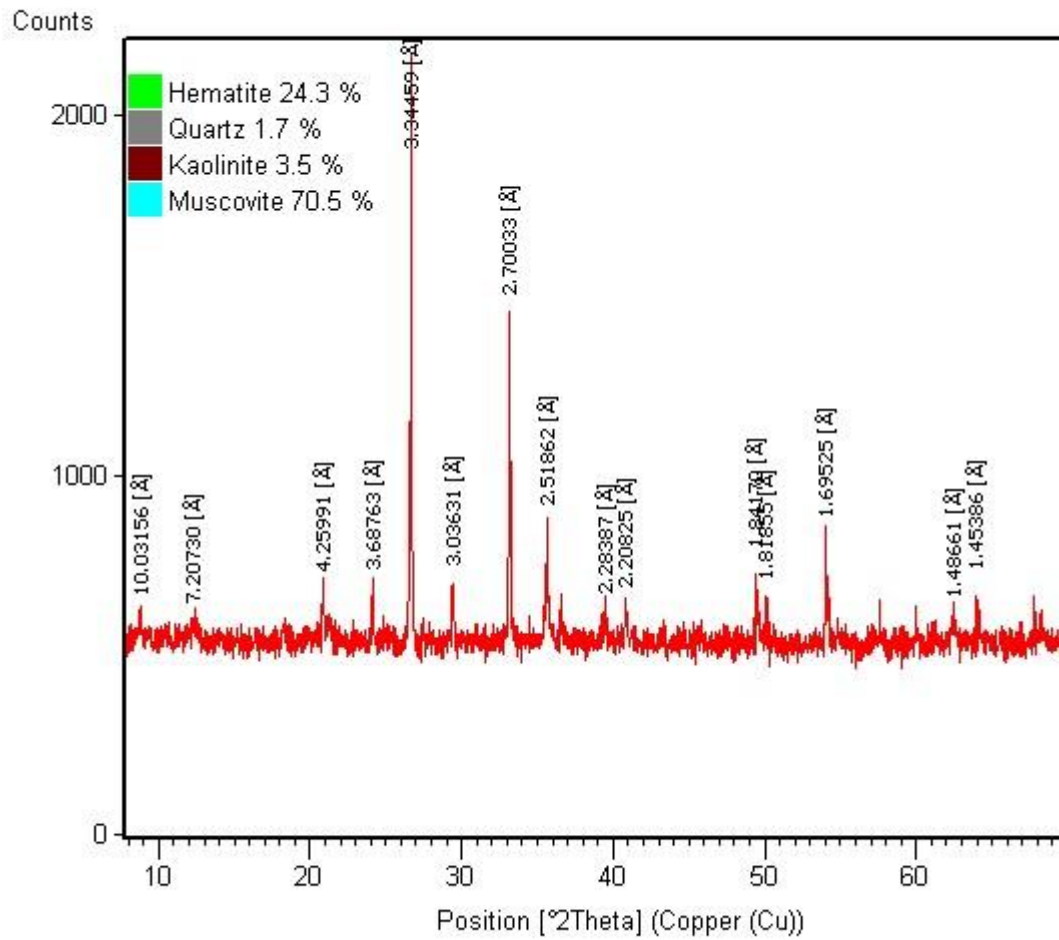
Anexo I

Resultado completo da análise de Difração de Raios X realizada no laboratório da
Universidade Federal de Ouro Preto para a poeira coletada na zona urbana de
Congonhas, MG

Measurement Conditions:

Dataset Name	Program spinner stage 2-70_P4_7
File name	C:\users\2011\magazine\Program spinner stage 2-70_P4_7.xrdml
Sample Identification	P4
Comment	Configuration=Spinner Reflexion transmission, Owner=User-1, Creation date=9/15/2010 11:23:07 AM Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size 2Theta:0.0001; Minimum step size Omega:0.0001 Sample stage=Reflection-transmission spinner; Minimum step size Phi:0.1
	Diffraction system=EMPYREAN Measurement program=Program spinner stage 2-70, Owner=User-1, Creation date=4/7/2011 10:54:29 AM
Measurement Date / Time	26/10/2011 13:57:17
Operator	Usuario
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	2,0084
End Position [°2Th.]	69,9064
Step Size [°2Th.]	0,0170
Scan Step Time [s]	19,6850
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	2,12
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0,0573
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [°C]	25,00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1,54060
K-Alpha2 [Å]	1,54443
K-Beta [Å]	1,39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0,50000
Generator Settings	40 mA, 45 kV
Diffraction Type	000000011076186
Diffraction Number	0
Goniometer Radius [mm]	240,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	100,00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

Main Graphics, Analyze View:



Peak List
Hematite
Quartz
Kaolinite 1A
Muscovite 3I

Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,81(1)	59(10)	0,15(5)	10,03156	3,74
8,83(1)	30(10)	0,15(5)	10,03156	1,87
12,27(4)	37(5)	0,7(2)	7,20730	2,32
12,30(4)	18(5)	0,7(2)	7,20730	1,16
20,836(6)	126(18)	0,12(4)	4,25991	7,91
20,888(6)	63(18)	0,12(4)	4,25991	3,95
24,114(5)	129(18)	0,10(2)	3,68763	8,11
24,175(5)	64(18)	0,10(2)	3,68763	4,05
26,6309(6)	1589(43)	0,046(2)	3,34459	100,00
26,6983(6)	794(43)	0,046(2)	3,34459	50,00
29,393(6)	136(20)	0,10(2)	3,03631	8,57
29,467(6)	68(20)	0,10(2)	3,03631	4,29
33,149(1)	906(31)	0,062(3)	2,70033	57,01
33,234(1)	453(31)	0,062(3)	2,70033	28,51
35,618(3)	305(23)	0,073(9)	2,51862	19,21
35,709(3)	153(23)	0,073(9)	2,51862	9,60
39,42(1)	58(15)	0,16(6)	2,28387	3,65
39,52(1)	29(15)	0,16(6)	2,28387	1,82
40,83(1)	76(17)	0,14(5)	2,20825	4,80
40,94(1)	38(17)	0,14(5)	2,20825	2,40
49,449(3)	195(18)	0,07(1)	1,84170	12,24
49,580(3)	97(18)	0,07(1)	1,84171	6,12
50,122(6)	104(15)	0,08(1)	1,81855	6,53
50,255(6)	52(15)	0,08(1)	1,81855	3,26
54,051(3)	280(19)	0,09(1)	1,69525	17,65
54,196(3)	140(19)	0,09(1)	1,69525	8,83
62,42(2)	55(13)	0,2(1)	1,48661	3,45
62,59(2)	27(13)	0,2(1)	1,48661	1,73
63,988(5)	133(15)	0,08(1)	1,45386	8,34
64,166(5)	66(15)	0,08(1)	1,45386	4,17

Pattern List:

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	98-004-1056	59	Hematite	0,000	0,297	Fe2 O3
*	98-010-8666	42	Quartz	0,000	0,469	O2 Si1
*	98-001-7115	1	Kaolinite 1A	0,000	0,247	H4 Al2 O9 Si2
*	98-001-1963	4	Muscovite 3T	0,000	0,176	H2 Al2.91 Fe0.09 K1 O12 Si3