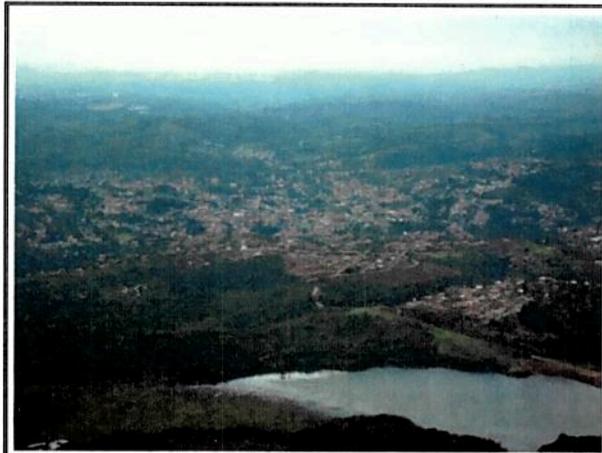




EcoSOFT



**PROJETO DE REDE OTIMIZADA DE
MONITORAMENTO DA QUALIDADE
DO AR E METEOROLOGIA DA
REGIÃO DE CONGONHAS**



FERROUS RESOURCES DO BRASIL

**PROJETO DE REDE OTIMIZADA DE
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E
METEOROLOGIA DA REGIÃO DE CONGONHAS**

RTC11045

Congonhas - MG
Março de 2012

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	4
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
1.2	METODOLOGIA EMPREGADA	6
1.3	ÁREA DE ESTUDO.....	10
1.3.1	Características Climáticas da Área de Estudo Relacionadas às Emissões de Material Particulado.....	15
1.4	ASPECTOS LEGAIS RELACIONADOS AO RECURSO AR	21
1.4.1	Limites de Emissões Atmosféricas	21
1.4.2	Padrões de Qualidade do Ar	22
2.	INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO DE CONGONHAS.....	25
2.1	EMISSÕES INDUSTRIAIS	27
2.1.1	Tipos de Fontes Emissoras	30
2.2	EMISSÕES URBANAS	33
2.2.1	Emissões Veiculares	34
2.2.2	Emissões Residenciais e Comerciais	37
2.2.3	Postos de Combustíveis	39
2.3	EMISSÕES BIOGÊNICAS	41
2.4	EMISSÕES DE QUEIMADAS	45
3.	MODELO METEOROLÓGICO E QUALIDADE DO AR	47
3.1	MODELO METEOROLÓGICO WRF	47
3.2	MODELO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA CMAQ	55
3.2.1	Meteorologia.....	55
3.2.2	Condições Iniciais e de Contorno	55
3.2.3	Alocação Regional das Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos.....	56
3.2.4	Mecanismo Fotoquímico	58
3.2.5	Processos Químicos e de Transporte do Modelo CMAQ.....	59
4.	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA QUALIDADE DO AR DA REGIÃO DE CONGONHAS.....	62
4.1	PONTOS RECEPTORES DISCRETOS	65
4.2	PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS).....	69
4.3	PARTÍCULAS INALÁVEIS (PI).....	73
4.4	DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO ₂)	77
4.5	MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	80
4.6	DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO ₂).....	84

4.7	OZÔNIO (O ₃).....	88
4.8	COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)	93
4.9	ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS ATIVIDADES INVENTARIADAS PARA A ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA ÁREA DE ESTUDO.....	96
5.	DIMENSIONAMENTO DA REDE OTIMIZADA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA.....	110
5.1	METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO EMPREGADA NO PROJETO DA REDE OTIMIZADA	110
5.1.1	Figuras de Mérito	111
5.1.2	Esferas de Influência	112
5.2	REDES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA PROJETADAS NA REGIÃO DE CONGONHAS.....	114
5.3	LOCAIS CANDIDATOS A ESTAÇÕES DA ROMQAM/CONGONHAS	115
5.4	PROPOSTA DE CONFIGURAÇÃO DA ROMQAM/CONGONHAS	125
5.5	ESPECIFICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS DOS EQUIPAMENTOS DA REDE DE MONITORAMENTO.....	138
5.5.1	Analisadores de Qualidade do Ar e Acessórios.....	138
5.5.2	Equipamentos para a Medição de Variáveis Meteorológicas.....	143
5.5.3	Equipamentos para a Aquisição e Telemetria de Dados de Qualidade do Ar e Meteorologia	144
5.6	SUGESTÃO DE CRITÉRIOS DE DIVISÃO DOS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DA ROMQAM/CONGONHAS	147
6.	CONTROLES DE EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO	150
6.1	VIAS DE TRÁFEGO NÃO PAVIMENTADAS.....	151
6.2	SUPERFÍCIES EXPOSTAS	154
6.3	VIAS DE TRÁFEGO PAVIMENTADAS	155
7.	CONCLUSÃO	158
8.	EQUIPE TÉCNICA	163
9.	AGRADECIMENTOS	164
10.	BIBLIOGRAFIA.....	165
	ANEXO A – AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO E CONTAGEM EXPEDITA DO FLUXO DE VEÍCULOS NAS VIAS DE TRÁFEGO DE CONGONHAS	169

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os efeitos adversos da poluição atmosférica podem se manifestar no ser humano, animais e vegetais de forma crônica, ou seja, mediante exposição a uma dosagem mediana de poluentes no longo prazo, ou de forma aguda, quando o receptor fica exposto a altas doses de poluentes atmosféricos num curto espaço de tempo.

O monitoramento sistemático das concentrações de poluentes presentes na atmosfera de áreas urbanas é uma ação fundamental para garantir a qualidade de vida de seus habitantes, principalmente em regiões onde existem fontes significativas de emissões atmosféricas.

A região de Congonhas possui um expressivo parque minero-siderúrgico, que potencialmente dispõe de significativas fontes emissoras de poluentes atmosféricos, entremeadas por núcleos urbanos, como Conselheiro Lafaiete, Ouro Branco e a própria cidade de Congonhas, que também geram poluentes atmosféricos. Além disso, a região passa pela perspectiva de implantação de novos empreendimentos, bem como pela ampliação dos empreendimentos existentes.

Tais características e perspectivas tornam as áreas urbanas dessa região mais suscetíveis a alterações significativas da qualidade do ar. Nos últimos anos têm sido frequentes as manifestações de comunidades no que diz respeito à ocorrência de eventos de poluição do ar, principalmente na cidade de Congonhas, bem como são eventualmente registrados episódios agudos de poluição do ar por material particulado (poeira) visíveis a olho nu.

Apesar dos indícios da ocorrência de poluição atmosférica eventualmente observada, a região de Congonhas ainda não dispõe de monitoramento sistemático da qualidade do ar, com cobertura adequada e capaz de informar com segurança os níveis de poluentes aos quais as comunidades ali residentes estão expostas. As iniciativas de monitoramento de qualidade do ar existentes ocorrem por parte de alguns dos empreendimentos instalados na região. No entanto, estes são executados de maneira individualizada e de forma assíncrona entre si, não considerando os efeitos sinérgicos da poluição emitida pelas diversas fontes, o que produz resultados de baixa utilidade para as atividades de gestão da qualidade do ar da região.

Preocupado com a qualidade do ar no município de Congonhas-MG, o Ministério Público do Estado de Minas Gerais, através da Coordenação Regional das Promotorias de Justiça e Meio Ambiente das Bacias dos Rios das Velhas e Paraopeba, em parceria com a Ferrrous Resources do Brasil, encomendou o presente estudo, objetivando diagnosticar a qualidade do ar da região de Congonhas, 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.

Para a elaboração deste trabalho, que contou com a colaboração do Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), Diretoria de Meio Ambiente e Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável de Congonhas, Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e das empresas instaladas na região, foi realizado um minucioso inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos existentes no município e seu entorno,

compreendendo empreendimentos minerários, siderúrgicas, emissões urbanas, emissões biogênicas e outras fontes significativas identificadas. Foram inventariadas as emissões de material particulado total (MP), material particulado menor que 10 micrômetros (MP_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV). Tais poluentes foram escolhidos por serem aqueles emitidos em maior escala pelas fontes estudadas, além de serem regulados por legislação pertinente (exceto o COV).

As características físicas e geográficas (relevo, uso e ocupação do solo, etc.) de uma região, bem como suas condições climáticas e meteorológicas, influenciam diretamente na geração e emissão de poluentes atmosféricos, bem como na sua dispersão no ar ambiente. Tais condições também atuam na formação de poluentes secundários na atmosfera e nos mecanismos naturais de remoção destes do ar.

As condições físicas, climáticas e meteorológicas que ocorrem na região de Congonhas foram detalhadamente estudadas no presente trabalho, visando dar o suporte adequado ao cômputo do inventário de emissões, bem como à análise da dispersão de poluentes emitidos pelas fontes inventariadas. Além da análise dos dados históricos de medições meteorológicas disponíveis, foi empregada uma metodologia de última geração para reproduzir com alta resolução o comportamento das variáveis meteorológicas mais relevantes para toda a área estudada. Para tanto, foi utilizado o modelo meteorológico tetradimensional WRF (*Weather Research and Forecasting*), escolhido por representar o estado da arte a nível mundial para a tarefa em questão. Este modelo numérico é capaz de reproduzir as condições meteorológicas que ocorrem na atmosfera de Congonhas, a partir de informações locais e condições sinóticas assimiladas à luz das características da geografia local.

A partir dos cenários meteorológicos horários reproduzidos pelo modelo WRF e do inventário de emissões atmosféricas, procedeu-se então ao estudo de dispersão de poluentes na atmosfera, visando determinar os impactos na qualidade do ar produzidos pelas emissões de poluentes consideradas. Nesta etapa foi empregado o modelo atmosférico denominado CMAQ (*Community Multiscale Air Quality Modeling System*), recomendado pela EPA (*Environmental Protection Agency*) e reconhecido mundialmente como o estado da arte em modelagem atmosférica na atualidade. Além de calcular a dispersão de poluentes primários (emitidos diretamente pelas fontes), este modelo é capaz de simular a formação e consumo de poluentes secundários (formados na atmosfera a partir de reações entre poluentes primários e outros elementos disponíveis no ambiente), através de deposição seca, deposição úmida, degradação da visibilidade, dentre várias outras funcionalidades.

No presente estudo, foi utilizada ainda outra funcionalidade do CMAQ, que é capacidade de modelagem de poluentes traçadores. Através desta técnica foi calculada a contribuição dos principais grupos de fontes emissoras de poluentes em relação à qualidade do ar, para diferentes setores da região estudada. Desta forma foi possível analisar ao mesmo tempo os impactos sinérgicos das fontes emissoras e a parcela de contribuição por empresa ou grupo de fontes, permitindo a geração de um ranking de responsabilidades pela alteração da qualidade do ar por setores de interesse.

A partir dos resultados gerados pelas modelagens realizadas procedeu-se ao dimensionamento da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da Região de Congonhas-MG (ROMQAM/Congonhas), onde foram definidas as áreas mais frequentemente afetadas e associadas aos locais com maior interesse de monitoramento, gerando assim as Figuras de Mérito (FOM). Para cada local

candidato a sediar uma estação de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia, foram geradas as Esferas de Influência (SOI), sendo que estas representam a eficiência de cobertura pré-definida para a rede de medição que se deseja construir.

O software SIA-Atmos produzido pela EcoSoft foi a principal ferramenta utilizada neste estudo, proporcionando uma plataforma especialista para o trabalho simultâneo e multidisciplinar da equipe técnica envolvida.

1.2 METODOLOGIA EMPREGADA

O dimensionamento de uma Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia requer o adequado conhecimento acerca dos processos e variáveis que interferem na dinâmica da qualidade do ar da área de estudo.

Dentre os principais elementos sobre a atmosfera da área de estudo, podem ser destacados:

- ❑ Características do terreno da área de estudo: considerando que os aspectos geomorfológicos e de uso e ocupação do terreno interagem diretamente com as condições do escoamento atmosférico, pela diversificação do balanço de energia e do regime de ventos;
- ❑ Fontes emissoras de poluentes atmosféricos: o inventário de emissões atmosféricas inclui as fontes naturais e antropogênicas (industriais, comerciais, e da vida cotidiana da população). As fontes emissoras representam o aporte de poluentes atmosféricos a que uma área de estudo está sujeita. Deste modo, a qualidade do ar, representada pelos níveis de poluentes existentes na atmosfera da área de estudo, é diretamente influenciada pelas fontes emissoras, seja pelas quantidades emitidas ou pelas características físicas das formas disposição dos poluentes na atmosfera;
- ❑ Condições meteorológicas: a atmosfera é o meio propagador dos poluentes emitidos pelas fontes emissoras. Assim, a dispersão dos poluentes, as áreas sujeitas aos maiores impactos e a distribuição espacial das concentrações dos poluentes na atmosfera da região são inteiramente dependentes do comportamento da atmosfera. As condições meteorológicas descrevem o estado da atmosfera da área de estudo e por isso o seu adequado conhecimento é premissa para o desenvolvimento do projeto de uma rede de monitoramento da qualidade do ar;
- ❑ Níveis de poluentes na atmosfera: um dos principais objetivos de uma rede de monitoramento da qualidade do ar é estabelecer o adequado conhecimento sobre os níveis de poluentes presentes na atmosfera da área de estudo. Naturalmente, a definição do arranjo da rede de monitoramento é desenvolvida a partir do conhecimento prévio sobre os níveis de poluentes na atmosfera da área de estudo.

Este conhecimento prévio deve ser estabelecido, não somente, quanto à quantificação dos valores absolutos de concentrações, mas também em relação à distribuição espacial e temporal dos poluentes na atmosfera. Este entendimento se faz com a identificação dos gradientes de concentrações (decaimento das plumas de poluentes), áreas mais frequentemente impactadas pelas emissões

atmosféricas, níveis crônicos e críticos de exposição e entendimento sobre a dose de poluentes a que estão expostas as populações.

Com o objetivo de possibilitar o adequado conhecimento sobre a dinâmica da qualidade do ar da área de estudo e permitir o adequado projeto da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da Região de Congonhas-MG (ROMQAM/Congonhas), este estudo foi desenvolvido de acordo com os passos metodológicos descritos a seguir:

1. **Reconhecimento, demarcação, e caracterização dos atributos geográficos da área de estudo** (relevo, uso e ocupação do terreno, rugosidade, albedo, entre outras informações).

Estes dados foram caracterizados em escala compatível com a execução dos modelos meteorológicos e de qualidade do ar, tendo como fontes de informação as bases do *United States Geological Survey* (USGS).

2. **Caracterização das condições meteorológicas da área de estudo.**

Obtenção de dados históricos de meteorologia local e de escala global e modelagem das condições meteorológicas da área de estudo com a aplicação do modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF).

Os registros de dados históricos de clima e condições meteorológicas da área de estudo foram obtidos a partir das séries temporais disponíveis nas estações de monitoramento existentes na região. Complementarmente, foram utilizados dados meteorológicos de bases especializadas para a aplicação de modelos meteorológicos avançados. Para esta tarefa foram utilizados dados do *Global Forecast System* (GFS) disponibilizados pelo *National Centers for Environmental Prediction / National Oceanic and Atmospheric Administration* (NCEP/NOAA).

A modelagem atmosférica com aplicação do WRF foi necessária devido à necessidade de uma representação abrangente das condições meteorológicas da área de estudo, que devido à elevada complexidade orográfica, não se viabiliza a partir da utilização de dados gerados pontualmente em estações meteorológicas existentes na região. Especificamente, o parâmetro vento é medido apenas em um ponto localizado em Ouro Branco.

Os dados obtidos nesta etapa foram devidamente analisados, validados e compilados para a aplicação nos modelos e resultados apresentados.

A partir dos dados de terreno e meteorológicos de escala global, o modelo WRF possibilitou a geração de informações meteorológicas de superfície e altitude da área de estudo.

As informações meteorológicas geradas pelo WRF associadas aos dados medidos nas estações da área de estudo, possibilitaram a adequada descrição das condições meteorológicas da área de estudo.

3. Inventário das fontes emissoras de poluentes atmosféricos da área de estudo

Realizado com a adequada caracterização das fontes, estimativas das taxas de emissões de poluentes, regime de emissão e forma de lançamento dos poluentes na atmosfera. No inventário foram caracterizadas as taxas de emissões de material particulado, total (MP) e fração menor que 10 µm (MP₁₀), além dos gases CO, COV, NO_x e SO₂.

No inventário de emissões atmosféricas foram incluídos os processos industriais, com destaque para as atividades minero-siderúrgicas, emissões veiculares, emissões urbanas relacionadas às atividades das populações. Além disso, o inventário considerou ainda o efeito das queimadas e emissões naturais (biogênicas) que ocorrem na região.

As estimativas de emissões dos poluentes foram realizadas com base em metodologias específicas para esta finalidade, tendo como referência principal o protocolo para inventário de emissões atmosféricas publicado pelo *Emission Inventory Improvement Program* (EIIP) da U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA), considerando para tal as informações de monitoramento de fontes emissoras da área de estudo, modelos de emissão, fatores de emissão, balanços de massa, dentre outras alternativas para tal estimativa.

Os dados para a caracterização específica das fontes emissoras da área de estudo foram disponibilizados pela FEAM e MPMG, através de estudos e dados dos empreendimentos; Prefeitura de Congonhas, através de dados existentes no cadastro municipal das atividades econômicas, suporte às visitas de campo e dados de estudos ambientais; Empresas, com a disponibilização de informações de processo produtivo, inventários de emissões atmosféricas e dados de monitoramento ambiental; e através de visitas de campo para coleta de dados primários, realizados pela equipe técnica.

Foram então desenvolvidos 2 inventários de emissões atmosféricas para a região de estudo, sendo o primeiro em caráter de diagnóstico (cenário de referência), que representa as emissões atuais da área de estudo, e o segundo em caráter de prognóstico (cenário projetado), com a projeção das emissões futuras da área de estudo, devido ao aumento da atividade de produção industrial e atividades urbanas. O cenário projetado foi construído sob a hipótese de crescimento tendencial, ou seja, prevendo apenas o incremento das taxas de atividade das fontes emissoras e mantendo as técnicas de controle atualmente utilizada pelas empresas.

4. Modelagem de qualidade do ar

Realizada para a avaliação dos níveis de poluentes atuais e futuros da área de estudo. Esta etapa, realizada com aplicação do modelo CMAQ, foi de fundamental importância para o entendimento sobre a distribuição dos níveis de poluentes na área de estudo. Em particular, a modelagem CMAQ possibilitou ainda a identificação do potencial de alteração da qualidade do ar da região estudada, separadamente para cada um dos principais grupos de fontes emissoras de poluentes presentes no contexto estudado.

A modelagem CMAQ possibilitou o reconhecimento das condições da atmosfera, em termos das concentrações de poluentes, suprindo satisfatoriamente a lacuna de conhecimento identificada devido à ausência atual de um monitoramento sistemático e intensivo na região de Congonhas. Foram gerados cenários para a qualidade do ar atual (cenário de referência) e futura (cenário projetado), considerando as ampliações de empreendimentos e incremento das atividades dos núcleos urbanos, já previstas e algumas em andamento.

5. Dimensionamento da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da Região de Congonhas-MG (ROMQAM/Congonhas)

Esta etapa consiste da finalização deste estudo e alcance do seu principal objetivo, com a definição do arranjo da rede de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia.

O monitoramento da qualidade do ar de uma região deve ser realizado por uma rede de monitoramento especificamente projetada para tal finalidade, de modo que as estações de integram esta rede possam garantir que o monitoramento seja representativo, suficiente, eficiente e abrangente.

Neste estudo para garantir um adequado projeto da rede de monitoramento, a partir do conhecimento construído nas etapas anteriores, foi aplicada a metodologia de Figuras de Mérito e Esferas de Influência, objetivando proporcionar o projeto otimizado da ROMQAM/Congonhas.

Em síntese, o dimensionamento da ROMQAM/Congonhas foi realizado com base nos seguintes conceitos:

- **Estações Candidatas:** consistem dos locais previamente selecionados para serem avaliados quanto à possibilidade de integrarem a rede de monitoramento. Nesta fase de seleção das estações candidatas, são analisados os requisitos mínimos necessários para sítios de medição de qualidade do ar, tais como, condições mínimas de infraestrutura, área física, rede de energia elétrica e de comunicação remota, segurança (possibilidade de restrição de acesso ao local), ambiente aberto e ventilado (representativo da região no entorno) e isento de fontes interferentes na proximidade.
- **Figuras de Mérito:** podem ser entendidas como uma medida da ordem de grandeza da necessidade de determinada área ser monitorada, levando-se em consideração os níveis de poluentes nela incidentes, conjuntamente com outras temáticas relevantes a serem consideradas, destacando-se a densidade populacional da região. Desta forma, as áreas prioritárias ao monitoramento são orientadas como aquelas mais habitadas e mais sujeitas às alterações de qualidade do ar.
- **Esferas de Influência:** são as áreas representadas (cobertas) por cada estação de monitoramento, com relação ao impacto proporcionado pelas fontes emissoras consideradas. O que se busca avaliar na determinação da esfera de influência é a área cujo comportamento de concentrações se apresente correlato aos registros avaliados em uma estação específica. Em síntese, uma esfera de influência representa a área de cobertura de uma estação de monitoramento da qualidade do ar.

As esferas de influência, segundo a metodologia aplicada, são calculadas com base em um raio de cobertura e um nível de eficiência de cobertura preconizado para a rede de monitoramento, levando-se em consideração a covariância espacial das concentrações de poluentes identificadas no local de monitoramento escolhido em relação às demais células da malha de modelagem. As concentrações de base para o algoritmo de cálculo das esferas de influência correspondem aos cenários de qualidade do ar médios horários calculados pelo modelo CMAQ.

Após a aplicação dos algoritmos de avaliação e otimização da rede de monitoramento foi definida a configuração da ROMQAM/Congonhas, com a definição dos locais de monitoramento, respectivos parâmetros de qualidade do ar e meteorológicos a serem monitorados, bem como as tecnologias de monitoramento recomendadas.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

O dimensionamento da rede de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia deverá proporcionar a cobertura espacial das áreas urbanas do município de Congonhas, com foco principal nas áreas mais frequentemente impactadas pelas emissões atmosféricas identificadas na região. Desta forma, a área de estudo relacionada ao projeto da ROMQAM/Congonhas foi dimensionada para cobrir toda a região do município de Congonhas potencialmente sujeita à influência das emissões atmosféricas consideradas.

A delimitação da área de estudo tem início com a definição de um domínio computacional para a aplicação dos modelos matemáticos, com ênfase especial no modelo de qualidade do ar.

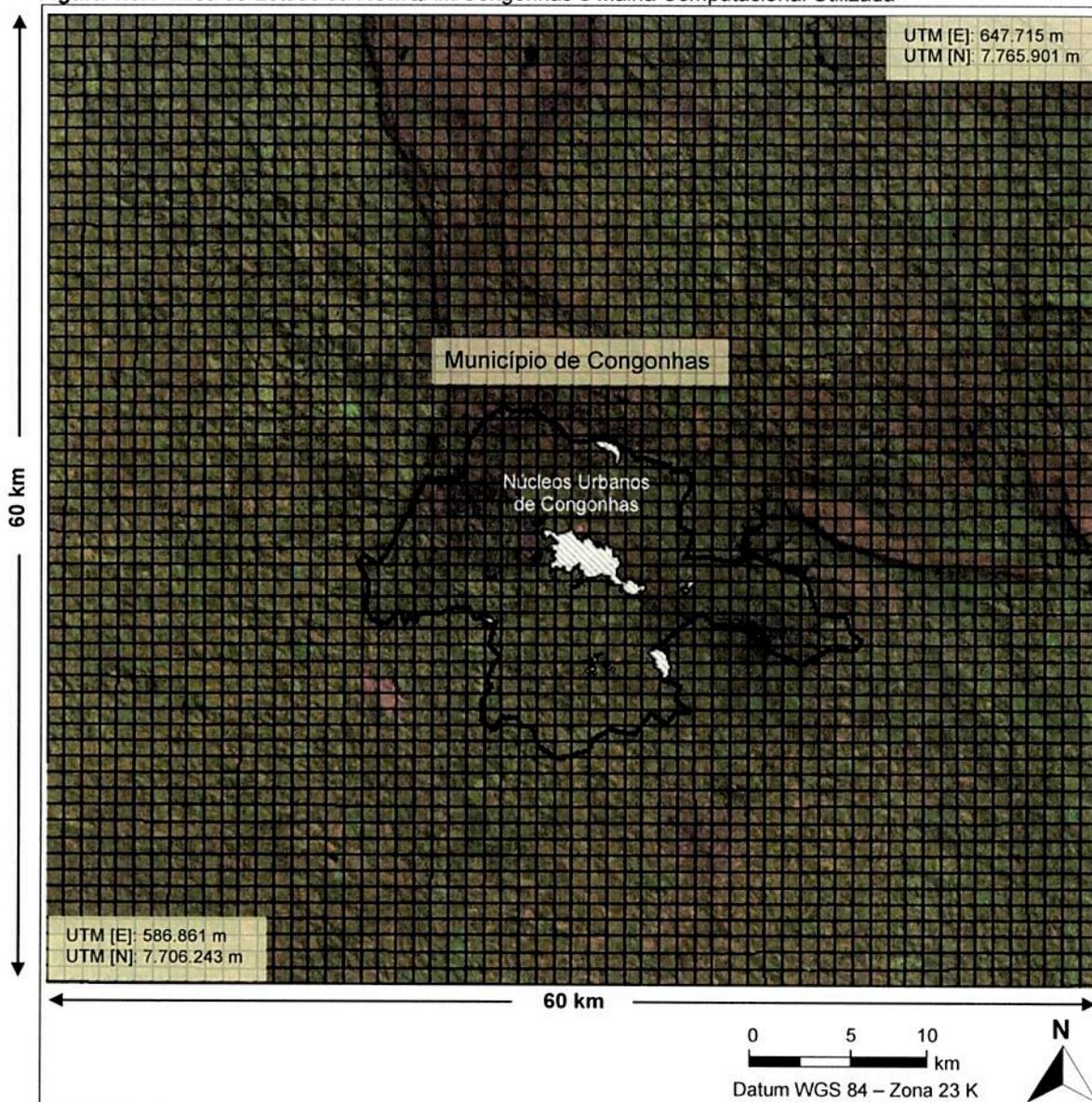
A área de estudo deve ser extensa o suficiente para possibilitar a identificação das máximas concentrações proporcionadas pelas fontes emissoras estudadas e, simultaneamente, possibilitar a visualização do alcance das plumas de poluentes emitidas pelas fontes emissoras computadas. Outra importante variável a ser considerada é a resolução da grade de receptores, que deve ser a mais fina possível, sem comprometer a viabilidade da execução da modelagem quanto ao desempenho computacional.

Neste trabalho, a área de estudo foi definida como um quadrado de aproximadamente 60 km x 60 km (3.600 km²), delimitado pelas coordenadas: vértice inferior 586.861 m E / 7.706.243 m N (UTM, WGS 84) e no vértice superior 647.715 m E / 7.765.901 m N. A área de estudo para aplicação do modelo CMAQ foi caracterizada como um domínio computacional subdividido em células de 1 x 1 km, totalizando 3.600 pontos receptores analisados (60 colunas x 60 linhas). A Figura 1.3.1 apresenta a delimitação da área de estudo para o dimensionamento da rede de monitoramento da qualidade do ar, juntamente com a malha computacional utilizada.

O modelo meteorológico WRF, utilizado para a reprodução das condições meteorológicas da área de estudo, utiliza ainda domínios computacionais de maior escala para assimilação de fenômenos meteorológicos de grande e mesoescala (domínios telescópicos, descritos mais detalhadamente na seção 3.1). O domínio de maior resolução do WRF é coincidente com a área de estudo delimitada, na qual são assimilados os resultados de qualidade do ar calculados pelo modelo CMAQ e calculadas as esferas de influência para o projeto da rede de monitoramento.

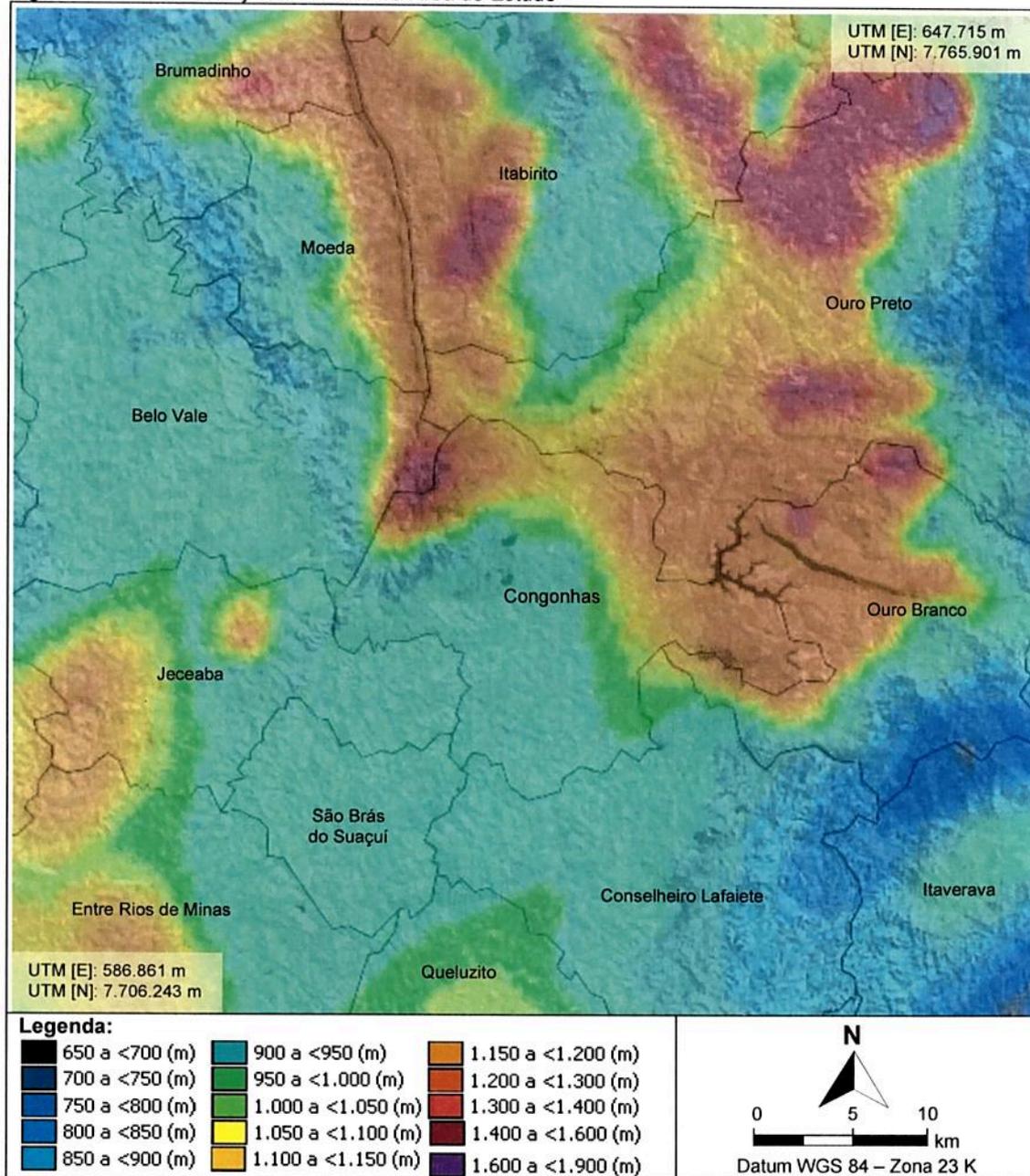
O relevo da área de estudo foi discretizado com resolução idêntica à da malha computacional adotada para o modelo matemático de qualidade do ar, sendo que a altitude do relevo é apresentada para cada célula da malha computacional. Na Figura 1.3.2 abaixo é apresentado o relevo médio da área de estudo.

Figura 1.3.1- Área de Estudo da ROMQAM/Congonhas e Malha Computacional Utilizada



A região apresenta grande complexidade no relevo, com altitudes do terreno variando de 800 a 1.800 m. 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 1.3.2 - Estratificação do Relevo da Área de Estudo

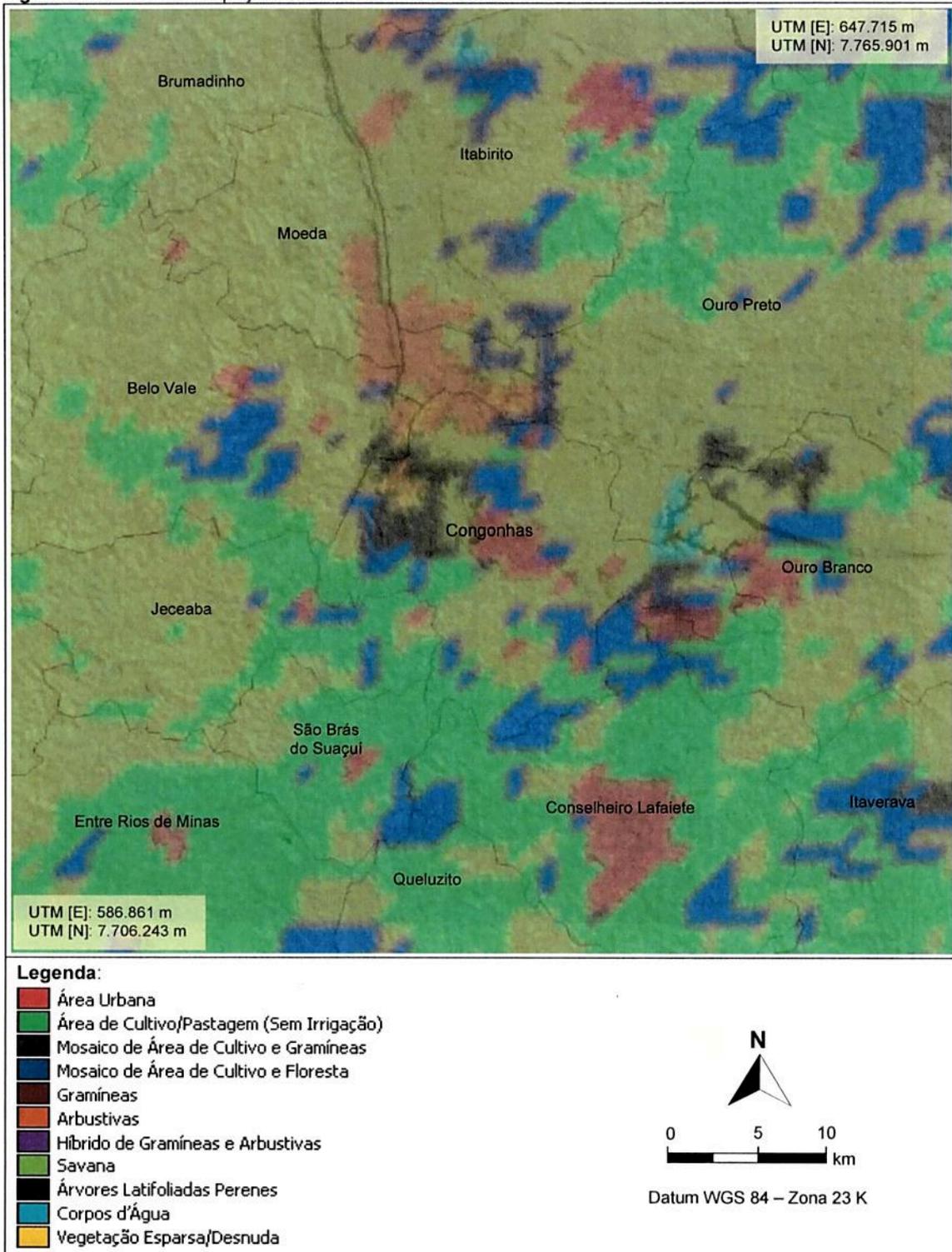


O uso e a ocupação do terreno de determinada região é preponderante para o comportamento da rugosidade do solo, que por sua vez influencia na geração de turbulência mecânica e alteração dos escoamentos do ar na baixa troposfera e, conseqüentemente, na dispersão dos poluentes.

Além disso, o uso e ocupação do terreno exerce também importante papel para a definição do fluxo de energia na região. De acordo com as diferentes características da cobertura da superfície da região são identificados diferentes albedos (capacidade de reflexão de uma superfície).

Na Figura 1.3.3 é apresentada a discretização do uso e ocupação do terreno da área estudada.

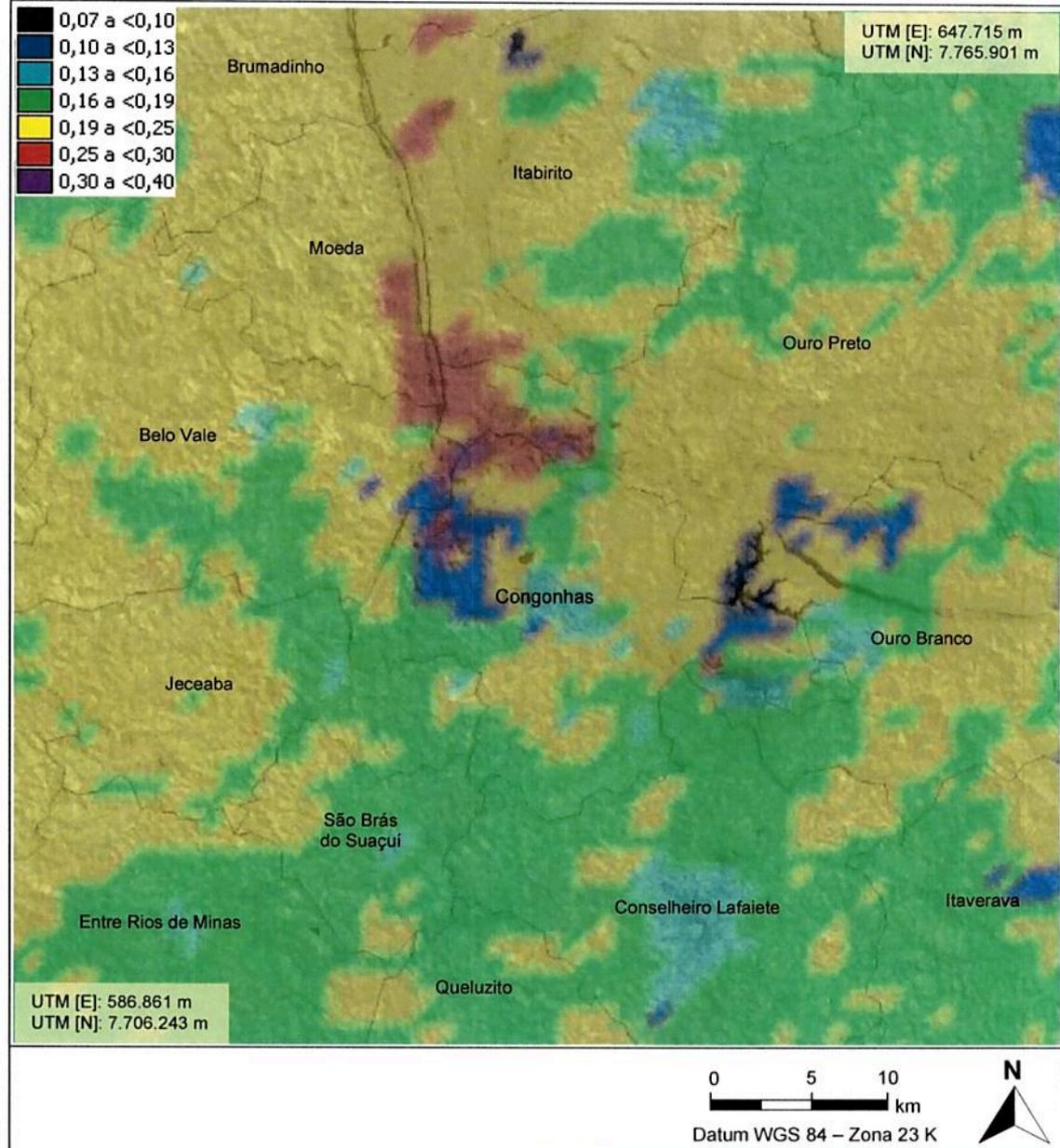
Figura 1.3.3 – Uso e Ocupação do Solo na Área de Estudo



Fonte: USGS (2012)

A Figura 1.3.4 apresenta o albedo médio da malha computacional utilizada neste estudo.

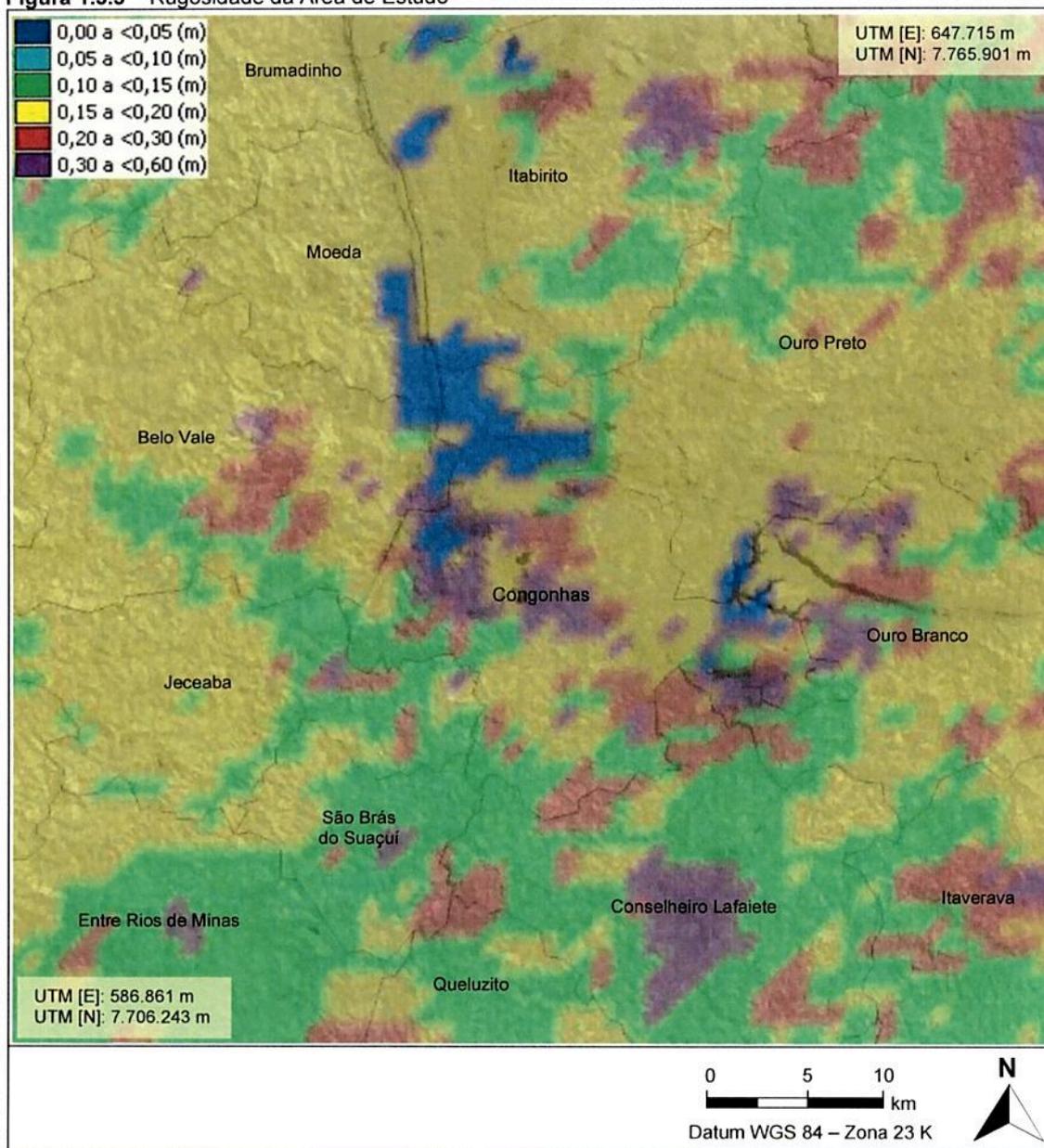
Figura 1.3.4 – Albedo Discretizado da Área de Estudo



Fonte: USGS (2012)

A rugosidade do terreno é apresentada na Figura 1.3.5.

Figura 1.3.5 – Rugosidade da Área de Estudo



Fonte: USGS (2012)

1.3.1 Características Climáticas da Área de Estudo Relacionadas às Emissões de Material Particulado

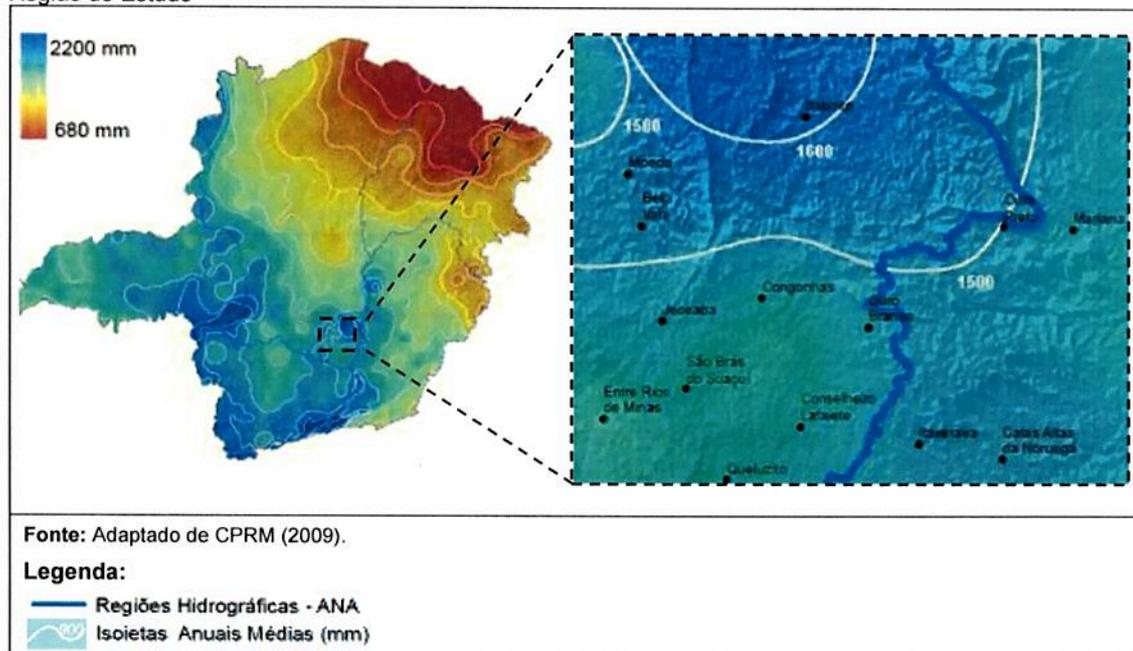
As condições meteorológicas interagem diretamente com os processos de emissão de poluentes atmosféricos e sua dispersão no ambiente. No caso das fontes emissoras inventariadas para a região de Congonhas, as atividades operacionais identificadas e as emissões atmosféricas estão sujeitas às variações das condições meteorológicas.

Dentre as variáveis meteorológicas analisadas, destacam-se como principais interferentes nos processos de emissão de poluentes (notadamente de partículas), 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.

Segundo análise do mapa de isoietas anuais médias do CPRM (2009) apresentado na Figura 1.3.1.1, o volume médio anual de chuva da área de estudo é da ordem de 1.500 mm.

Figura 1.3.1.1 – Mapa de Isoietas Anuais Médias para o Estado de Minas Gerais com Destaque para a Região de Estudo



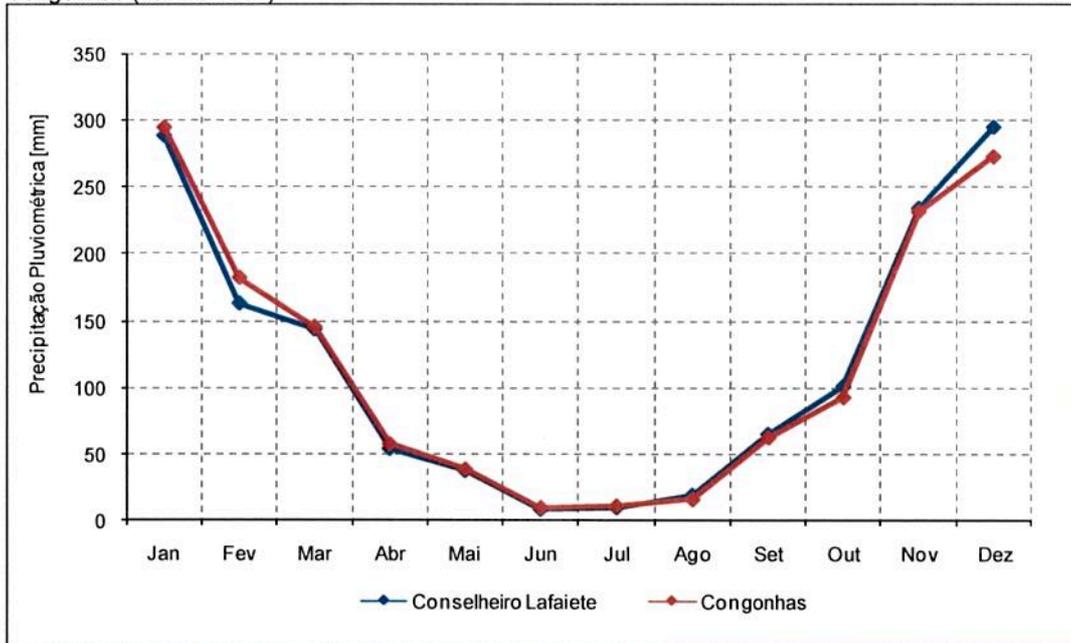
A área de estudo apresenta variações sazonais bem definidas do regime de chuvas. A Figura 1.3.1.2 apresenta as médias mensais de chuva historicamente registradas na região.

O período mais chuvoso abrange os meses de novembro a março (verão chuvoso), atingindo o pico de chuvas em janeiro. O período mais seco compreende os meses de junho, julho e agosto (inverno seco).

Sob o ponto de vista do potencial de geração de poluentes atmosféricos na região estudada, essa sazonalidade marcante das estações seca e chuvosa na área de estudo exige um planejamento e execução das ações de controle das emissões compatível com uma maior demanda de recursos durante o período seco.

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 e a umidade, além das características orográficas da região.

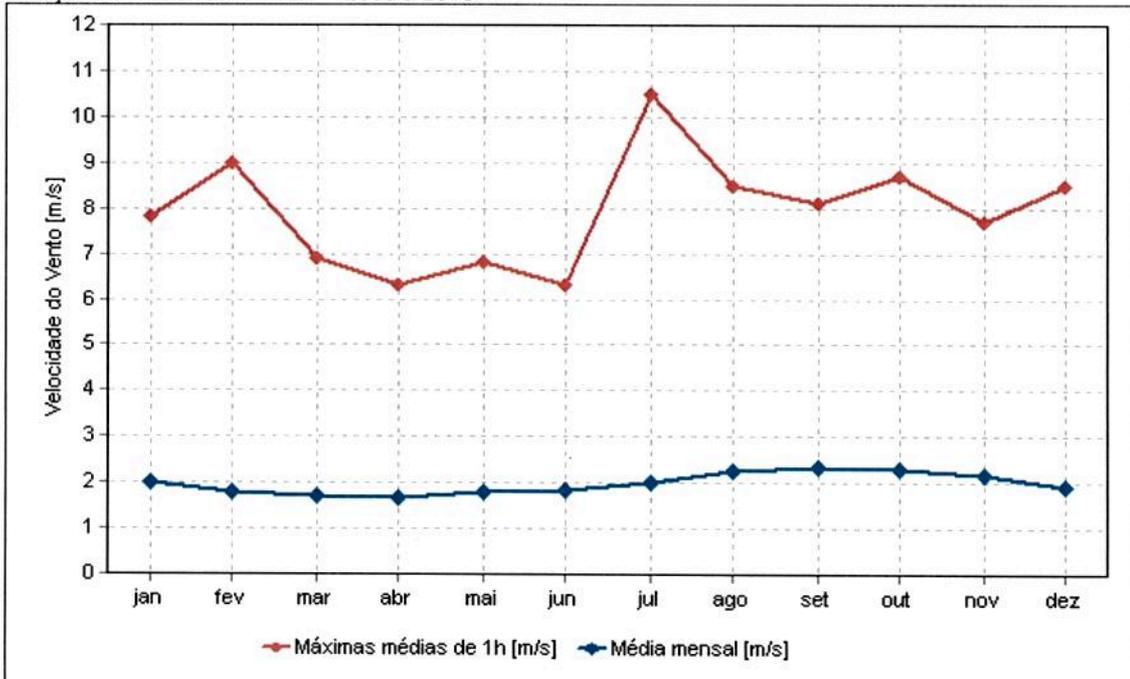
Figura 1.3.1.2 – Comportamento Sazonal Mensal da Precipitação Pluviométrica para a Região de Congonhas (1996 a 2005)



Fonte: ANA (2011).

Na Figura 1.3.1.3 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).

Figura 1.3.1.3 – 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).

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 a 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. Ainda na Figura 1.3.1.3 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 críticos, 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. Durante os trabalhos de campo e interação com as instituições e comunidade, foram identificadas diversas ocorrências de emissões críticas de material particulado, principalmente na estação seca.

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.

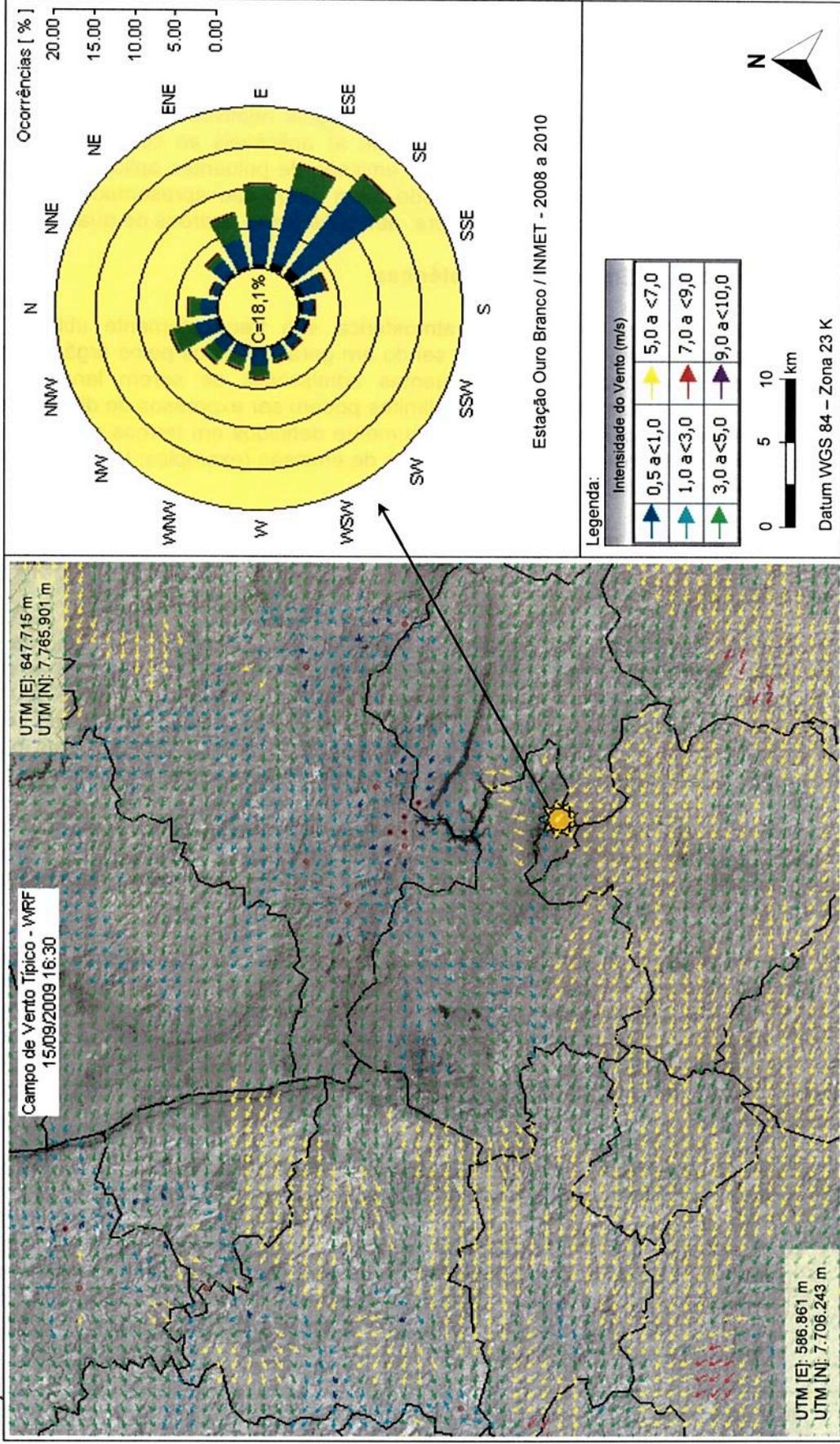
Dessa forma, para a adequada representação e pleno entendimento das condições meteorológicas da área de estudo, é necessária uma rede de monitoramento meteorológico mais densa (com maior número de estações adequadamente localizadas). Naturalmente, o projeto desta rede de monitoramento é um dos objetivos deste estudo, o que permitirá um entendimento mais realista das variáveis meteorológicas locais.

Assim, considerando a necessidade do conhecimento mais abrangente das condições meteorológicas de superfície e de altitude na área de estudo, foi necessária a complementação das condições meteorológicas da região, lançando mão de outras fontes de dados além da estação do INMET. Nesta tarefa foi utilizada uma abordagem de vanguarda conhecida por modelagem meteorológica de micro e mesoescala, através da aplicação do modelo meteorológico WRF, conforme resultados que serão apresentados na seção 3.1.

Exemplificando a diversidade das condições de vento na região de estudo, a Figura 1.3.1.4 apresenta um campo de ventos calculado com a aplicação do modelo WRF e a rosa dos ventos da Estação Ouro Branco / INMET (2008 a 2010). Na Figura 1.3.1.4 é possível notar que o vento de superfície da área de estudo sofre variações significativas de direção e velocidade. É possível observar ainda que, simultaneamente, ao longo da região estudada, podem ocorrer direções de vento provenientes de sudeste (SE) em Ouro Branco (coincidentes com as condições típicas descritas na rosa dos ventos da estação Ouro Branco / INMET), enquanto que em outros locais da área de estudo ocorrem ventos com diferentes direções e velocidades, como o caso de Congonhas, que no cenário exemplo apresentado, está sob influência de ventos provenientes de nordeste (NE).

Neste estudo a modelagem meteorológica de mesoescala (modelo WRF) cumpre importantes objetivos. O primeiro objetivo, descrito anteriormente, consiste no aprimoramento do entendimento sobre as condições meteorológicas da região, o que promove um melhor conhecimento da dinâmica da atmosfera regional. Além disso, a modelagem meteorológica cumpre papel fundamental na geração de dados de entrada para a modelagem de qualidade do ar, que utiliza o modelo CMAQ. O CMAQ, por se tratar de um modelo numérico com malha tridimensional e transiente, necessita da geração de dados meteorológicos de superfície e altitude em malha compatível, tridimensional e transiente, tarefa essa suprida pela WRF.

Figura 1.3.1.4 – Exemplo de Campo de Vento da Região de Congonhas Obtido por Simulação Atmosférica de Mesoscala com o Modelo WRF e Rosa dos Ventos da Estação Ouro Branco do INMET



1.4 ASPECTOS LEGAIS RELACIONADOS AO RECURSO AR

Neste capítulo são apresentados os aspectos legais relativos aos limites de emissões atmosféricas e aos padrões de qualidade do ar aplicáveis ao contexto deste estudo. Desta forma, são analisados os limites de emissão de poluentes aplicáveis às tipologias de fontes identificadas na área de estudo, bem como são apresentados os limites de concentrações de poluentes na atmosfera, definidos como padrões de qualidade do ar.

1.4.1 Limites de Emissões Atmosféricas

Limites (ou padrões) de emissão atmosférica são frequentemente utilizados como ferramentas de gestão do recurso ar, sendo em geral definidos pelos órgãos ambientais como quantidades máximas de poluentes admissíveis de serem lançadas para a atmosfera por fontes emissoras. Estes limites podem ser expressos de diferentes formas e unidades de medição, sendo mais comumente definidos em termos de concentrações de emissão (exemplos: ppm, mg/Nm³), taxas de emissão (exemplos: t/ano, kg/h) e fatores de emissão (exemplos: g/t, kg/t, g/km).

Diferentes agências ambientais, de diferentes países e estados, apresentam formas distintas de expressar e aplicar os limites de emissão para as fontes emissoras de poluentes atmosféricos.

Em Minas Gerais, as Deliberações Normativas do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) cumprem o papel de instrumentos legais relacionados às emissões atmosféricas. No arcabouço legal federal são contempladas as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que caracterizam limites de emissões atmosféricas aplicáveis às fontes fixas (notadamente, chaminés de processos industriais) e às fontes móveis (emissão de produtos de combustão em veículos automotores).

As emissões atmosféricas das fontes difusas a céu aberto, comuns nas indústrias de mineração e nas atividades de armazenamento e transporte de materiais a granel, que integram as maiores emissões de material particulado inventariadas neste estudo, não são referenciadas em legislação brasileira específica.

De fato, as legislações em vigor não tratam as questões de emissões difusas com base em limites de emissão. Embora estas fontes emissoras sejam importantes agentes para a alteração da qualidade do ar de uma região, o estabelecimento de limites rígidos de emissões para as mesmas é uma tarefa de grande complexidade, devido à dinamicidade das fontes, sua inter-relação com as condições meteorológicas e a necessidade de medição sistemática das taxas de emissões para o devido enquadramento aos limites de emissões¹.

A seguir são descritas sucintamente as Resoluções do CONAMA e as Deliberações Normativas do COPAM-MG, relacionadas aos limites de emissões atmosféricas.

- Resolução CONAMA 08/1990: Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. Trata basicamente do estabelecimento dos limites de emissão de material particulado e dióxido de enxofre para fontes de combustão de carvão mineral e óleo combustível.

¹ A medição de emissões em fontes difusas a céu aberto é complexa e sujeita às variações impostas pelas condições meteorológicas do local, o que dificulta o estabelecimento de comparação com rígidos limites de emissão, nos moldes como estabelecidos para fontes pontuais (chaminés).

- Resolução CONAMA 382/2006: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Esta resolução apresenta em seus 13 anexos os limites de emissões atmosféricas de poluentes para processos industriais específicos, dentre eles no Anexo XIII são apresentados os limites para Indústrias Siderúrgicas Integradas e Semi-Integradas e Usinas de Pelotização de Minério de Ferro, tipologia associada a empreendimentos identificados na área de estudo.
- Resolução CONAMA 436/2011: Complementa as Resoluções nº 05/1989 e nº 382/2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.
- Deliberação Normativa COPAM-MG 11/1986: Estabelece normas e padrões para emissões de poluentes na atmosfera e dá outras providências. Em seu Anexo I estabelece limites de emissões atmosféricas para diversos processos industriais. A DN COPAM-MG 01/1992 deu nova redação ao Anexo I desta Deliberação Normativa.
- Deliberação Normativa COPAM-MG 01/1992: Apresenta reformulação das normas e padrões para emissões de poluentes na atmosfera estabelecidos pelo Anexo I da DN COPAM-MG 11/1986 e dá outras providências.

As Resoluções do CONAMA e Deliberações Normativas do COPAM-MG citadas tratam especificamente de fontes fixas, existentes em processos industriais. De maneira abrangente o CONAMA estabelece ainda uma série de resoluções com tratativas para as questões das emissões veiculares. A Resolução CONAMA 018/1986 dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Esta resolução base e seus desdobramentos estabelecem metas e limites de emissões para a redução gradativa das emissões de poluentes por veículos automotores.

1.4.2 Padrões de Qualidade do Ar

Com o objetivo de estabelecer estratégias para o controle, preservação e recuperação da qualidade do ar, válidas para todo o território nacional, conforme previsto na Lei 6.938/81, foi instituído o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) pela Resolução CONAMA 05/89, dando definições e diretrizes para prevenção e gerenciamento.

Baseado nesta norma, foi editada em 28/06/90 a Resolução CONAMA 03/1990, que estabelece padrões de qualidade do ar, métodos de amostragem e análise dos parâmetros e níveis de qualidade, atinentes a um plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar, visando providências dos governos estaduais e municipais, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde pública.

Para a implementação da estratégia de gestão do PRONAR, foram definidas classes de usos pretendidos para o recurso ar, conforme segue:

- Classe I: Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e

Hidrotermais. Nessas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica;

- ❑ Classe II: Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade;
- ❑ Classe III: Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade.

Segundo o Artigo 1º da Resolução CONAMA 03/1990, são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. O Artigo 2º da mesma Resolução conceitua padrões de qualidade do ar conforme segue:

- ❑ Padrões Primários de Qualidade do Ar: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população;
- ❑ Padrões Secundários de Qualidade do Ar: são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A Resolução CONAMA 03/1990 estabeleceu também que: “Enquanto cada Estado não definir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no item 2, subitem 2.3, da Resolução CONAMA 05/1989, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos nesta resolução”.

No Estado de Minas Gerais, previamente à publicação da Resolução CONAMA 03/1990, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) já havia publicado, em 1981, a Deliberação Normativa COPAM-MG 01/1981, estabelecendo padrões de qualidade do ar para os parâmetros partículas totais em suspensão (PTS), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO) e oxidantes fotoquímicos, interpretados como O₃. Os limites de concentrações e os tempos de média recomendados pela Deliberação Normativa COPAM-MG 01/1981 são idênticos aos padrões primários de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA 03/1990.

Considerando este breve histórico sobre a legislação aplicável ao recurso ar, identifica-se que para a área de estudo em questão, aplicam-se os padrões primários de qualidade do ar definidos pela Resolução CONAMA 03/1990. Todavia, ressalta-se que em áreas específicas sujeitas a proteção especial e áreas legalmente protegidas, há potencialidade de aplicação dos padrões secundários de qualidade do ar, ou ainda padrões mais restritivos, a critério das definições de uso e ocupação do terreno e classificação das áreas, pelos órgãos competentes.

A Tabela 1.4.2.1 apresenta os padrões de qualidade do ar primários e secundários, definidos pela Resolução CONAMA 03/1990.

Tabela 1.4.2.1 – Padrões de Qualidade do Ar – Resolução CONAMA 03/1990

Poluente	Padrão Primário		Padrão Secundário	
	Concentração [µg/m³]	Tempo de Média	Concentração [µg/m³]	Tempo de Média
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	80 ^a	1 ano	60 ^a	1 ano
	240	24 horas	150	24 horas
Partículas Inaláveis (PI)	50	1 ano	50	1 ano
	150	24 horas	150	24 horas
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	80	1 ano	40	1 ano
	365	24 horas	100	24 horas
Monóxido de Carbono (CO)	10.000 (9 ppm)	8 horas	10.000 (9 ppm)	8 horas
	40.000 (35 ppm)	1 hora	40.000 (35 ppm)	1 hora
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	100	1 ano	100	1 ano
	320	1 hora	190	1 hora
Fumaça	150	24 horas	100	24 horas
	60	1 ano	40	1 ano
Ozônio (O ₃)	160	1 hora	160	1 hora

Fonte: CONAMA (1990).

Nota:

- a. Média Geométrica.

2. INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO DE CONGONHAS

A qualidade do ar de uma região é o resultado de complexas interações, envolvendo a emissão de poluentes atmosféricos por fontes fixas e móveis, locais e remotas, naturais e antropogênicas que, juntamente com as condições meteorológicas e das características do terreno dessa região, determinam a concentração dos poluentes presentes na atmosfera. O inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos representa o aporte de poluentes a que a área de estudo está sujeita. Desta forma, torna-se fundamental o conhecimento do inventário das emissões de poluentes atmosféricos para que seja mais eficaz a gestão da qualidade do ar da Região de Congonhas.

A correta identificação e quantificação das principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos da Região de Congonhas constituem uma etapa fundamental para a gestão da qualidade do ar. Este inventário deve ser capaz de representar onde, como, quanto e quando os diversos poluentes atmosféricos são emitidos pelas fontes emissoras significativas na área de interesse.

O inventário de emissões atmosféricas é realizado com a intenção de descrever, da maneira mais acurada possível, a realidade das fontes emissoras. Contudo, devido ao dinamismo das fontes emissoras e considerando ainda a diversidade e quantidade de fontes emissoras de pequeno e médio porte existentes na área de estudo, é notória a complexidade de representação dessas emissões na forma do inventário catalogado. Diante dessa complexidade, a descrição das fontes emissoras é feita em termos médios, quando a fonte apresenta emissão pouco variável, ou com base em modelos de emissão, que se baseiam em padrões comportamentais característicos de cada fonte, quando as emissões apresentam maior grau de variação. Em alguns casos, as fontes são agrupadas, utilizando-se ambos os conceitos citados, conjuntamente.

A título de exemplo, se cada veículo que circula na área de estudo for considerado como uma fonte emissora, considerando que a emissão de poluentes em cada veículo depende do tipo e estado de conservação do motor, combustível utilizado, velocidade de tráfego, potência utilizada, posição do veículo na região de interesse, dentre outros vários fatores, é razoável concluir que não é viável inventariar separadamente cada um dos milhares de veículos em circulação. No entanto, se o cômputo for realizado tomando-se os fluxos de veículos em circulação, utilizando condições médias de circulação e de emissão por tipologia de veículo nas principais vias de tráfego da área de estudo, este trabalho torna-se possível e representativo. Ainda exemplificando, as emissões veiculares quantificadas consideram a posição geográfica de cada via de tráfego significativa na área estudada e as mudanças sazonais decorrentes da variação do tráfego ao longo dos meses do ano, dos dias da semana e das 24 horas do dia.

No que tange às fontes emissoras de maior porte (exemplo: empreendimentos industriais), as emissões de poluentes provenientes de chaminés e de fontes difusas (fugitivas) foram inventariadas de forma individualizada, considerando as especificidades de cada fonte e suas características físicas com detalhamento próprio.

Neste estudo foram inventariadas as emissões atmosféricas de empreendimentos industriais, emissões urbanas (relacionadas às emissões veiculares e demais atividades da vida cotidiana), emissões naturais biogênicas e provenientes de queimadas.

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 mineração e siderurgia existentes na área de estudo, até atividades antropogênicas com menor potencial poluidor (como empresas de menor porte e utilização de produtos químicos voláteis).

Para uma análise mais abrangente das emissões atmosféricas na área de estudo, o inventário de emissões atmosféricas não se restringiu aos limites do município de Congonhas. Também foram incluídas as demais emissões relevantes identificadas nos municípios vizinhos, incluindo as emissões de empreendimentos industriais com potencial de alteração da qualidade do ar e atividades desses núcleos urbanos vizinhos. Esta ampliação da caracterização do inventário foi desenvolvida com o objetivo de propiciar um melhor entendimento da dinâmica da qualidade do ar da região e promover o conhecimento necessário para o dimensionamento da ROMQAM/Congonhas.

O inventário de emissões atmosféricas foi desenvolvido considerando 2 diferentes cenários de desenvolvimento, descritos a seguir:

- ❑ **Cenário de Referência:** considera as emissões atuais dos empreendimentos industriais e das atividades urbanas. Este cenário foi caracterizado com base nas atuais taxas de produção dos empreendimentos, atuais taxas de atividade dos núcleos urbanos (consumo de combustíveis, população, tráfego de veículos, etc.) e nas práticas correntes de controle de emissões atmosféricas.

As informações para a caracterização do cenário de referência de emissões foram coletadas ao longo do ano de 2011 e traduzem esta condição operacional.

- ❑ **Cenário Projetado:** considera as emissões futuras dos empreendimentos industriais e das atividades urbanas. Este cenário foi caracterizado com base na projeção das taxas de produção dos empreendimentos, e projeção das taxas de atividade dos núcleos urbanos.

O cenário projetado foi traçado como um cenário tendencial, ou seja, com o crescimento da produção dos empreendimentos e das taxas de atividade antropogênica, mas mantendo as práticas de controle de emissões atmosféricas atualmente implementadas.

As informações para a caracterização do cenário projetado de emissões foram desenvolvidas com a hipótese de operação de todos os empreendimentos atualmente em fase de implantação na área de estudo (como exemplo, Ferrous, VSB e Planta de Pelotização da NAMISA) e no incremento de população e das atividades dos núcleos urbanos com base no crescimento projetado para o ano de 2015.

As estimativas de emissões dos poluentes foram realizadas com base em metodologias específicas para esta finalidade, tendo como referência principal o protocolo para inventário de emissões atmosféricas publicado pelo *Emission Inventory Improvement Program* (EIIP) da *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), considerando para tal as informações de monitoramento de fontes emissoras da área de estudo, modelos de emissão, fatores de emissão, balanços de massa, entre outras alternativas.

Os dados para a caracterização específica das fontes emissoras da área de estudo foram disponibilizados pela (1) FEAM e MPMG, através de estudos e dados dos

empreendimentos; (2) Prefeitura de Congonhas, através de dados existentes no cadastro municipal das atividades econômicas, suporte às visitas de campo e dados de estudos ambientais; (3) Empresas, com a disponibilização de informações de processo produtivo, inventários de emissões atmosféricas e dados de monitoramento ambiental; e (4) através de visitas de campo para coleta de dados primários, realizados pela equipe técnica da EcoSoft.

2.1 EMISSÕES INDUSTRIAIS

Os empreendimentos industriais de maior porte na área de estudo são relacionados à mineração e 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 Tabela 2.1.1 apresenta a relação de empreendimentos industriais considerados no inventário de emissões atmosféricas.

Tabela 2.1.1 – Empreendimentos Industriais da Região de Congonhas Inventariados

Empresa	Atividade
CSN - Casa de Pedra	Mineração
Ferro +	
Ferrous ^c	
Gerdau – Miguel Burnier	
Namisa ^b	
Nogueira Duarte	
Polaris	
Precal	
Vale ^a	
Gerdau – Açominas	Siderurgia
VSB ^c	
Central Betom	Produção de Concreto
Concretomix	
Emprol	Produção de Asfalto
Global	Beneficiamento de Escória
LGA	Fabricação de Rebomassa
LS Metais	Beneficiamento de Coque
Monteminas	Tratamento de Minério de Ferro
MPC	
MRS	Transporte e Estocagem de Materiais

Notas:

- inclui também a atividade de Pelotização do Complexo Fábrica;
- no cenário projetado foi considerada a Usina de Pelotização da Namisa;
- empreendimento considerado no cenário projetado (futuro).

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. A seção 2.1.1 apresenta sucintamente as principais tipologias de fontes emissoras identificadas nos empreendimentos industriais.

A Tabela 2.1.2 apresenta os totais de emissões de poluentes de cada empresa inventariada considerando os cenários de referência e projetado, respectivamente.

Tabela 2.1.2 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Poluentes Atmosféricos dos Empreendimentos Industriais da Região de Congonhas

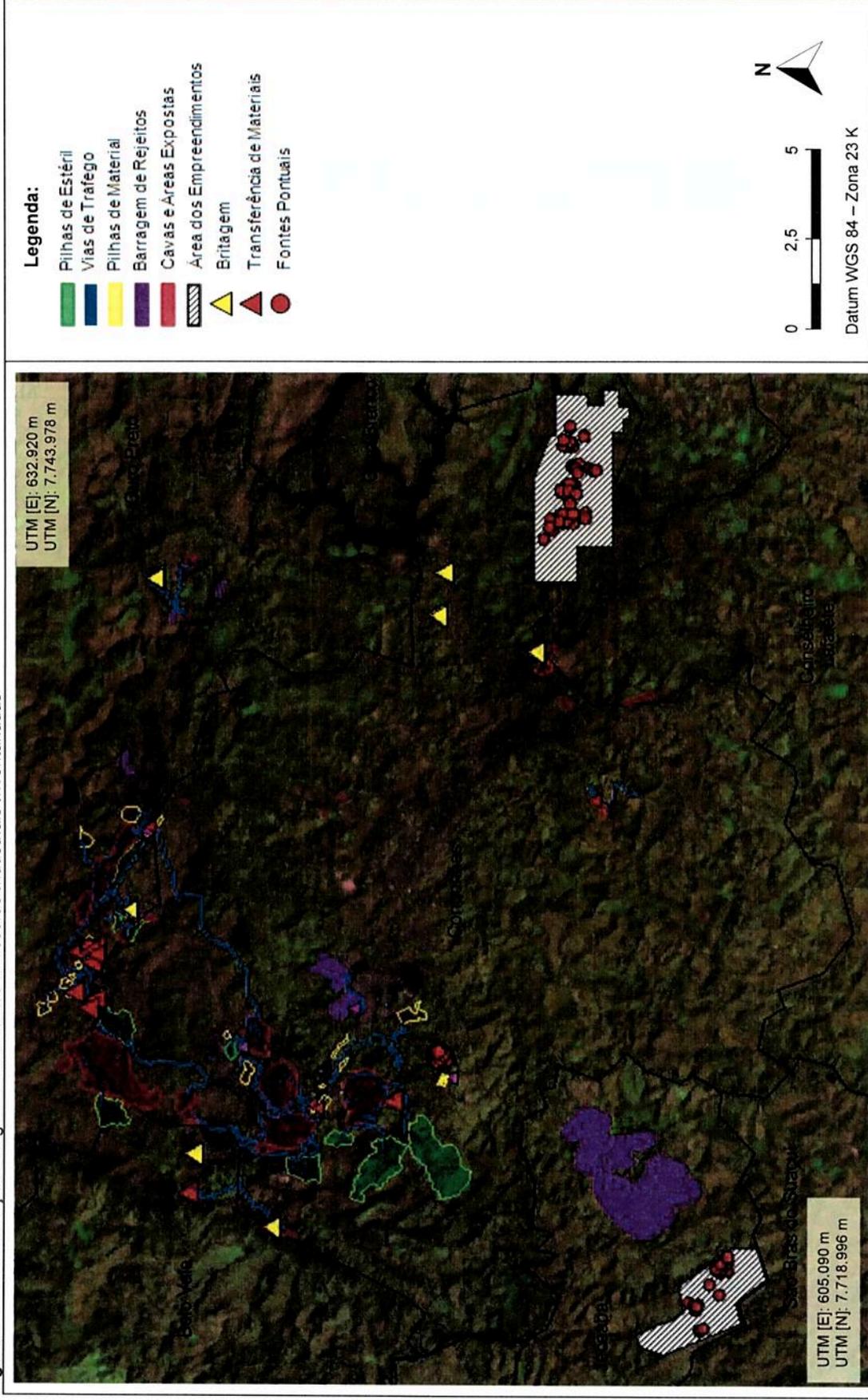
Empresa	Cenário de Referência [kg/h]						Cenário Projetado [kg/h]					
	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
CSN - Casa de Pedra	702,5	457,5	24,6	121,8	155,8	17,6	702,5	457,5	24,6	121,8	155,8	17,6
Ferro +	29,8	24,0	4,8	23,6	29,3	3,5	29,8	24,0	4,8	23,6	29,3	3,5
Ferrous ^c	75,8	53,6	6,3	30,6	38,6	4,5	162,5	113,2	6,3	30,6	38,6	4,5
Gerdau – Miguel Burnier	67,7	37,6	1,1	5,7	7,2	0,9	67,7	37,6	1,1	5,7	7,2	0,9
Namisa ^b	143,4	92,4	1,6	8,8	11,1	1,4	341,5	267,0	436,2	919,7	697,9	73,6
Nogueira Duarte	10,0	6,8	0,2	1,2	1,4	0,2	10,0	6,8	0,2	1,2	1,4	0,2
Polaris	23,1	16,7	0,5	2,4	2,9	0,3	23,1	16,7	0,5	2,4	2,9	0,3
Precal	16,4	10,5	0,4	1,9	2,4	0,3	16,4	10,5	0,4	1,9	2,4	0,3
Vale – Complexo Fábrica ^a	874,0	539,6	80,9	252,0	266,6	28,3	874,0	539,6	80,9	252,0	266,6	28,3
Gerdau – Açominas	615,3	438,0	1.603,2	1.239,8	10.723,0	437,5	615,3	438,0	1.603,2	1.239,8	10.723,0	437,5
VSB ^c	-	-	-	-	-	-	85,2	85,2	314,6	223,6	59,1	6,8
Central Betom	0,1	<0,1	-	-	-	-	0,1	<0,1	-	-	-	-
Concretomix	0,1	<0,1	-	-	-	-	0,1	<0,1	-	-	-	-
Emprol	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1
Global	0,4	0,1	-	-	-	-	0,4	0,1	-	-	-	-
LGA	3,5	3,0	-	-	-	-	3,5	3,0	-	-	-	-
LS Metais	<0,1	<0,1	-	-	-	-	<0,1	<0,1	-	-	-	-
Monteminas	0,9	0,7	-	-	-	-	0,9	0,7	-	-	-	-
MPC	5,5	2,3	-	-	-	-	5,5	2,3	-	-	-	-
MRS	5,4	3,4	-	-	-	-	5,4	3,4	-	-	-	-
Totais	2.574,0	1.686,2	1.723,7	1.687,9	11.238,4	494,5	2.944,0	2.005,6	2.472,9	2.822,4	11.984,3	573,5

Notas:

- a. inclui 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 Figura 2.1.1 apresenta a localização geográfica dos empreendimentos industriais que integram o inventário de emissões atmosféricas considerado neste estudo.

Figura 2.1.1 – Localização Geográfica das Fontes Emissoras Industriais Inventariadas



2.1.1 Tipos de Fontes Emissoras

Nesta seção são apresentadas as tipologias de fontes emissoras de poluentes atmosféricos identificadas nos empreendimentos inventariados na região de Congonhas. Ressalta-se que a maior parte dos tipos de fontes emissoras inventariadas pode ser classificada como fontes difusas, com predominância da emissão de material particulado.

ÁREAS EXPOSTAS

São fontes que, sujeitas à ação do vento, sofrem erosão superficial emitindo poeira, mesmo que não apresentem movimentação de material ou tráfego de máquinas e veículos. As áreas expostas 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.

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 tem como variáveis importantes para a sua caracterização:

- Dimensão da área suscetível ao arraste eólico;
- Teor de finos do material superficial;
- Teor de umidade do material da superfície;
- Precipitação pluviométrica;
- Velocidade do vento.

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:

- Área superficial da pilha;
- Ciclo de formação e recuperação da pilha;
- Teor de umidade do material superficial;
- Teor de finos do material superficial;
- Velocidade do vento incidente na pilha;
- Precipitação pluviométrica;
- 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.

Assim como as 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. Assim sendo, 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.

VIAS DE TRÁFEGO

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 da via. Assim em uma via, 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 via de tráfego varia linearmente com o volume e velocidade do tráfego incidente sobre a mesma. Além da emissão por tráfego de

veículos, a via de tráfego 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 vias de tráfego:

- 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.

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 conseqüente 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.

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.

2.2 EMISSÕES URBANAS

As emissões urbanas são assim chamadas em função de serem provenientes das atividades dos núcleos urbanos da área de estudo. Neste contexto foram incluídas as emissões relacionadas às atividades da vida cotidiana da população, envolvendo a estimativa das emissões provenientes de atividades comerciais, das residências, e as emissões veiculares das principais vias de tráfego e da frota de veículos dos municípios integrantes da área de estudo.

A Tabela 2.2.1 apresenta os totais de emissões urbanas de poluentes considerando os cenários de referência e projetado. As emissões foram quantificadas para cada município de interesse e, complementarmente, foram ainda quantificadas as emissões de rodovias estaduais e federais que cruzam a área de estudo e abrangem mais de um município em seu trajeto.

Tabela 2.2.1 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Poluentes Atmosféricos Urbanas na Área de Estudo

Atividades	Cenário de Referência [kg/h]						Cenário Projetado [kg/h]					
	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Veiculares	165,1	124,9	1,3	40,9	198,5	23,2	239,2	181,3	1,9	59,1	286,8	33,3
Residenciais e Comerciais	0,2	0,1	<0,1	4,0	2,2	104,3	0,2	0,1	<0,1	4,0	2,2	111,2
Postos de Combustíveis	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	-	4,9
Totais	165,3	125,0	1,3	44,9	200,7	130,9	239,4	181,4	1,9	63,1	289,0	149,4

As seções a seguir descrevem as bases utilizadas para o cálculo das emissões urbanas.

2.2.1 Emissões Veiculares

As emissões atmosféricas provenientes do tráfego de veículos automotores são originárias (1) do processo de combustão nos motores dos veículos gerando gases e partículas lançadas pelo escapamento; (2) do vazamento e evaporação de compostos orgânicos; (3) do processo de frenagem e desgaste de pneus e (4) da ressuspensão das partículas depositadas nas superfícies das vias de tráfego, provocada pela movimentação de veículos.

As emissões veiculares são consideradas fontes móveis, uma vez que a posição espacial da fonte varia conforme ocorre o deslocamento dos veículos nas vias de tráfego. Contudo, o local de ocorrência destas emissões veiculares são sempre as vias. Dessa forma, no inventário elaborado neste estudo as vias de tráfego são a representação espacial das emissões veiculares.

Neste estudo, as vias de maior fluxo de tráfego do município de Congonhas foram consideradas e representadas como fontes emissoras lineares, com as suas respectivas localizações coincidentes com o traçado das vias. Além destas, as rodovias federais e estaduais também foram representadas como fontes emissoras lineares. As vias municipais dos demais municípios e as de menor fluxo de tráfego da cidade de Congonhas foram representadas como fontes emissoras do tipo área, coincidentes com as manchas urbanas dos núcleos populacionais analisados.

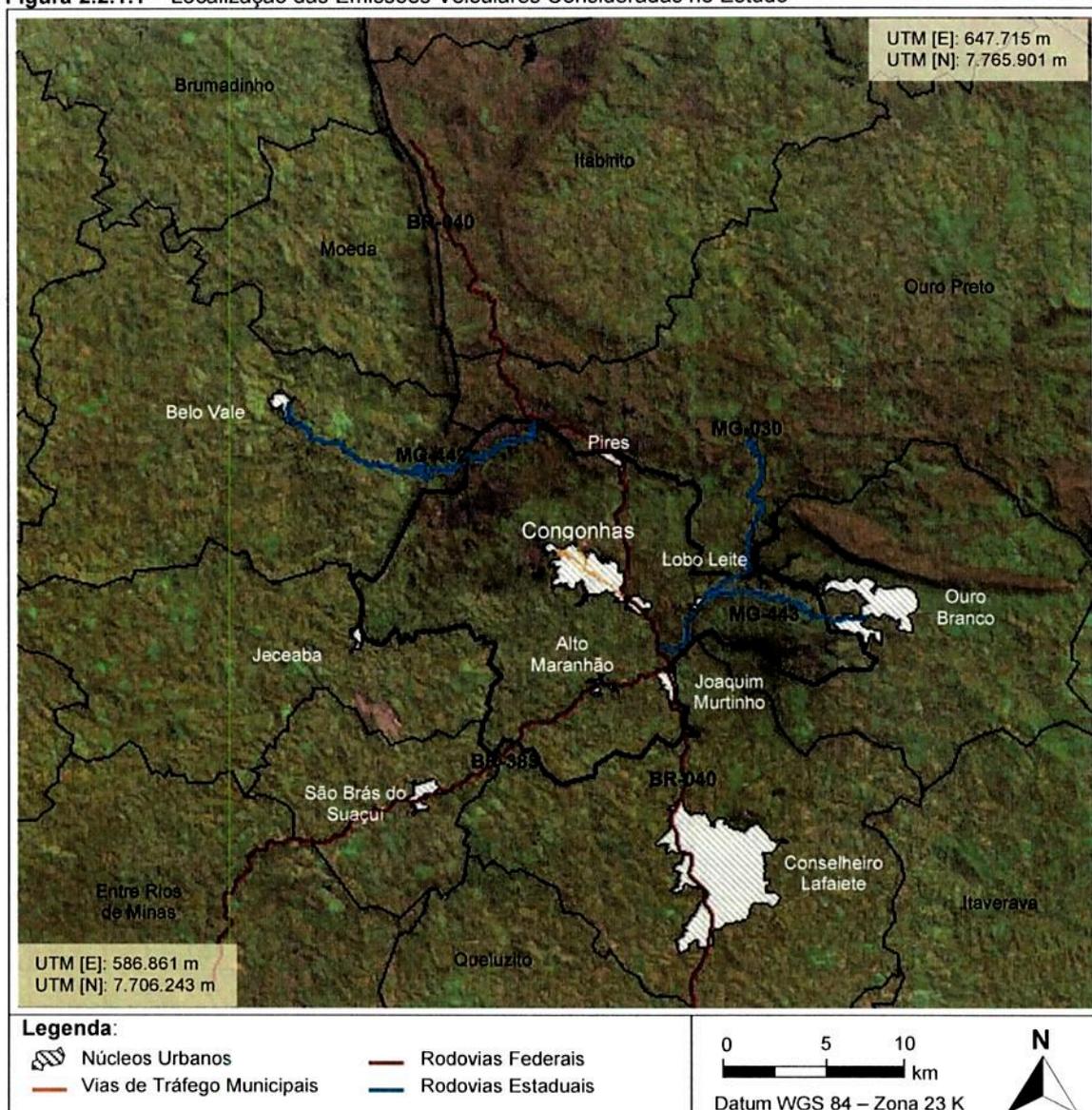
A Tabela 2.2.1.1 apresenta as estimativas das taxas médias de emissões das vias de tráfego da área de estudo consideradas.

Tabela 2.2.1.1 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Poluentes Atmosféricos do Tráfego de Veículos Automotores na Área de Estudo

	Município	Cenário de Referência [kg/h]						Cenário Projetado [kg/h]					
		MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Vias Lineares	BR-040	28,7	21,8	0,2	6,4	18,6	4,0	41,8	31,6	0,2	9,2	26,4	5,7
	BR-383	3,6	2,7	<0,1	0,9	4,3	0,9	5,1	3,9	<0,1	1,3	6,0	1,2
	MG-030	0,4	0,3	<0,1	0,1	0,3	0,1	0,6	0,5	<0,1	0,2	0,5	0,1
	MG-442	0,4	0,3	<0,1	0,1	0,5	0,1	0,5	0,4	<0,1	0,1	0,7	0,1
	MG-443	2,8	2,1	<0,1	0,9	2,6	0,5	4,1	3,1	<0,1	1,2	3,6	0,7
	Av. Júlia Kubitscheck	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
	Av. Mal. Floriano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	R. Santo Antônio	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Av. Alberto M. de Brunelli	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Áreas	Belo Vale	3,5	2,6	<0,1	1,0	3,7	0,4	5,0	3,8	<0,1	1,4	5,4	0,6
	Congonhas	49,3	37,3	0,4	10,7	60,3	5,9	71,5	54,1	0,6	15,5	87,4	8,6
	Conselheiro Lafaiete	42,8	32,4	0,5	11,5	71,4	7,2	62,0	47,0	0,7	16,7	103,5	10,4
	Jeceaba	5,5	4,1	<0,1	1,5	3,4	0,5	7,9	6,0	0,1	2,2	4,9	0,7
	Ouro Branco	26,5	20,1	0,2	7,3	30,1	3,3	38,4	29,1	0,3	10,6	43,6	4,8
	São Brás do Suaçuí	1,6	1,2	<0,1	0,4	3,3	0,3	2,3	1,8	<0,1	0,6	4,8	0,4
Totais	165,1	124,9	1,3	40,9	198,5	23,2	239,2	181,3	1,9	59,1	286,8	33,3	

A Figura 2.2.1.1 apresenta a distribuição espacial das emissões veiculares consideradas neste estudo.

Figura 2.2.1.1 – Localização das Emissões Veiculares Consideradas no Estudo



As emissões veiculares são diretamente proporcionais ao fluxo de tráfego de veículos das vias.

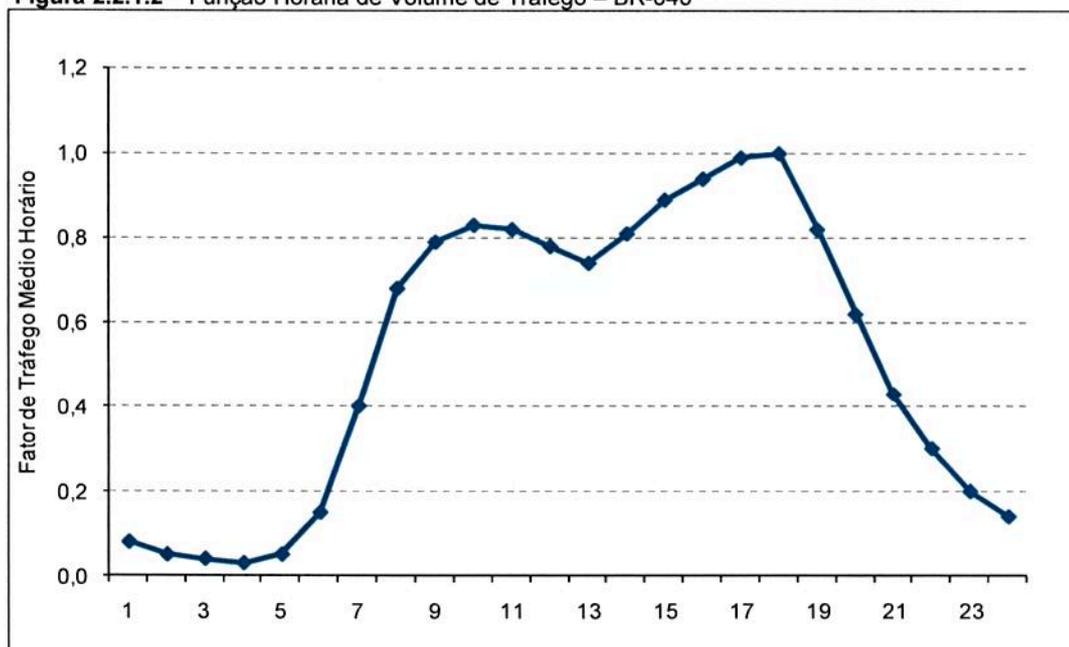
As vias caracterizadas como fontes lineares tiveram seus fluxos de tráfego caracterizados com base nas seguintes referências: (1) Rodovias Federais, contagem volumétrica baseada nas séries disponibilizadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2009), (2) Rodovias Estaduais, dados de contagem volumétrica do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER-MG, 2009), (3) Ruas e Avenidas do Município de Congonhas, dados disponibilizados pela Prefeitura de Congonhas, através do Plano de Requalificação da Área Central de Congonhas-MG (2010) e complementados por contagens expeditas de fluxo de veículos realizadas pela EcoSoft na cidade, durante o período de 11 a 15 de abril de 2011 (conforme apresentado no ANEXO A).

A contagem expedita do fluxo de tráfego registra a quantidade de veículos leves (carros e motocicletas) e pesados (ônibus e caminhões) que transitam em determinada via no período de tempo no qual se efetiva tal contagem. Aos volumes registrados pelas contagens expeditas, foram aplicados fatores de ajuste do fluxo de veículos, conforme a variação temporal identificada nas funções de tráfego consolidadas das vias da região de Congonhas. Dessa forma, os volumes obtidos nas contagens de veículos foram distribuídos de acordo com a variação do fluxo de veículos leves e pesados nas vias ao longo das horas do dia, das semanas e dos meses do ano, possibilitando mensurar a emissão de poluentes levando-se em conta tal sazonalidade.

Além das referências para a caracterização das vias lineares, as vias representadas como fontes área tiveram seus volumes de tráfego calculados com base na frota veicular de cada município (IBGE, 2009) e complementados com as informações dos consumos de combustíveis disponibilizados pelo anuário estatístico da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2009).

Para exemplificar as informações sobre as funções de tráfego utilizadas, a Figura 2.2.1.2, a curva da função de tráfego média horária, da BR-040, conforme DNIT(2009).

Figura 2.2.1.2 – Função Horária de Volume de Tráfego – BR-040



Fonte: DNIT (2009)

Os veículos que circulam na área de estudo utilizam vários tipos de combustíveis. Os de passeio consomem gasolina, álcool, gás natural veicular (GNV) e misturas em diferentes proporções do álcool e da gasolina (carros flex); as motocicletas utilizam gasolina; e os veículos pesados (ônibus e caminhões) em sua maioria são movidos a diesel. O consumo dessa diversidade de combustíveis supracitados remete a diferentes taxas de emissão de poluentes atmosféricos. Para melhor caracterizar a emissão de poluentes das vias de tráfego da região, os dados de tráfego foram segregados conforme a composição da frota de veículos por tipo de combustível utilizado. Os dados de composição da frota de veículos leves do estado de MG (BORBA, 2008) e o consumo de combustíveis descritos por ANP(2009) foram utilizados para os ajustes necessários ao inventário de emissões veiculares.

Uma vez realizado o levantamento de todos os dados necessários para o inventário de emissões veiculares nas vias de tráfego da área de estudo, foram utilizados fatores de emissão publicados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2009) para quantificação das emissões atmosféricas veiculares.

2.2.2 Emissões Residenciais e Comerciais

As emissões residenciais e de atividades comerciais levaram em consideração principalmente:

- ❑ Combustão de gás e outros combustíveis, que ocorrem principalmente em fogões, fornos, aquecedores e caldeiras utilizados nas residências e estabelecimentos comerciais nos municípios analisados na área de estudo;
- ❑ Utilização de produtos contendo compostos orgânicos voláteis, utilizados cotidianamente nas atividades da população em geral. Dentre estes produtos destacam-se os artigos de higiene e limpeza, produtos para controle de vetores e pragas, tintas e solventes.

A quantificação das emissões residenciais e comerciais foi realizada tendo por base fatores de emissão, dados populacionais e de consumo de combustíveis (GLP e GN) nos municípios da região de Congonhas. Os dados da distribuição populacional para o ano de 2010, nos municípios em questão, foram obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), enquanto a projeção para o ano de 2015 foi realizada com base na taxa média de crescimento calculada com base nos dados do IBGE registrados entre os anos de 2001 e 2010. A Tabela 2.2.2.1 apresenta os dados populacionais utilizados.

Tabela 2.2.2.1 – Distribuição Populacional nos Municípios da Área de Estudo

Município	População (2010) ^a	População (2015) ^b
Belo Vale	7.536	7.593
Congonhas	48.550	52.631
Conselheiro Lafaiete	116.527	124.040
Jeceaba	5.395	5.395
Ouro Branco	35.260	38.025
São Brás do Suaçuí	3.512	3.641
Total	216.780	231.325

Notas:

- a. Fonte: IBGE (2010);
- b. Projeção com base no crescimento médio entre os anos de 2001 e 2010. Conforme a série histórica analisada a população de Jeceaba apresentou decréscimo, por este motivo o valor para 2010 foi registrado igual ao de 2015.

Os dados referentes ao consumo de GLP, que serviram de base para a estimativa do consumo de combustíveis nos municípios foram obtidos através do 24º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEMG, 2009).

A Tabela 2.2.2.2 apresenta os totais de emissões de poluentes provenientes da combustão em atividades residenciais e comerciais nos municípios da área de estudo. Na Tabela 2.2.2.3 são apresentadas as estimativas das taxas médias de emissões de COV provenientes da utilização de produtos contendo compostos orgânicos voláteis em atividades residenciais e comerciais.

A Tabela 2.2.2.4 sintetiza as emissões atmosféricas provenientes de atividades comerciais e residenciais consideradas na área de estudo.

Tabela 2.2.2.2 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Poluentes Atmosféricos do Uso de Combustíveis em Atividades Comerciais e Residenciais nos Municípios da Área de Estudo

Município	Cenário de Referência [kg/h]						Cenário Projetado [kg/h]					
	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Belo Vale	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1
Congonhas	0,1	<0,1	<0,1	1,0	0,6	0,1	0,1	<0,1	<0,1	1,1	0,6	0,1
Conselheiro Lafaiete	0,1	<0,1	<0,1	2,0	1,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	2,0	1,1	0,1
Jeceaba	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Ouro Branco	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	0,3	<0,1
São Brás do Suaçuí	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Totais	0,2	0,1	<0,1	4,0	2,2	0,3	0,2	0,1	<0,1	4,0	2,2	0,3

Tabela 2.2.2.3 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis do Uso de Produtos Contendo COV nos Municípios da Área de Estudo

Município	Cenário de Referência [kg/h]	Cenário Projetado [kg/h]
	COV	COV
Belo Vale	3,6	3,6
Congonhas	23,3	25,2
Conselheiro Lafaiete	55,9	59,5
Jeceaba	2,6	2,6
Ouro Branco	16,9	18,2
São Brás do Suaçuí	1,7	1,7
Totais	104,0	110,8

Tabela 2.2.2.4 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Poluentes Atmosféricos de Atividades Residenciais e Comerciais nos Municípios da Área de Estudo

Município	Cenário de Referência [kg/h]						Cenário Projetado [kg/h]					
	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Belo Vale	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	3,6	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	3,6
Congonhas	0,1	<0,1	<0,1	1,0	0,6	23,4	0,1	<0,1	<0,1	1,1	0,6	25,3
Conselheiro Lafaiete	0,1	<0,1	<0,1	2,0	1,1	56,0	0,1	<0,1	<0,1	2,0	1,1	59,6
Jeceaba	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	2,6	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	2,6
Ouro Branco	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	0,3	17,0	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	0,3	18,3
São Brás do Suaçuí	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	1,7	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	1,8
Totais	0,2	0,1	<0,1	4,0	2,2	104,3	0,2	0,1	<0,1	4,0	2,2	111,2

2.2.3 Postos de Combustíveis

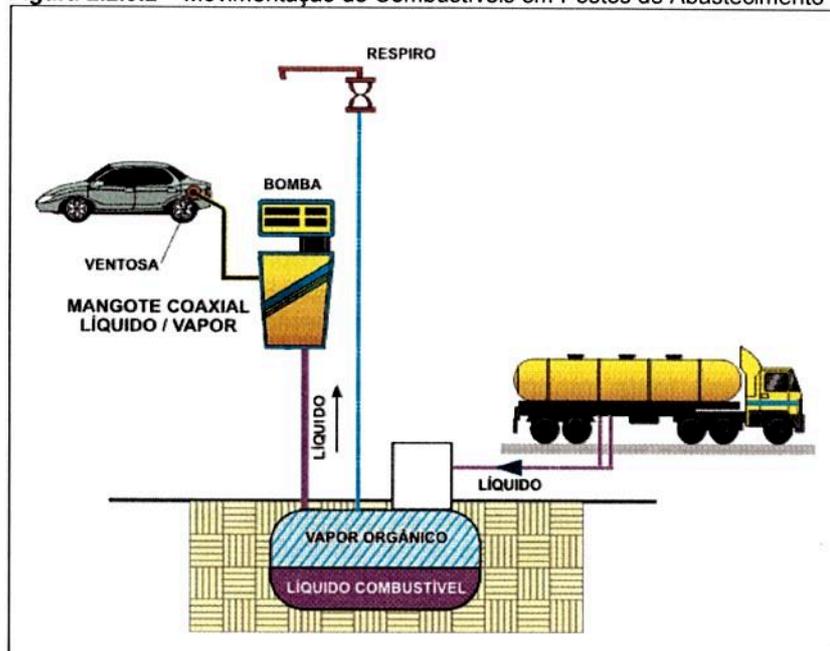
Neste estudo foram calculadas as emissões de COV provenientes dos postos de combustíveis existentes no município de Congonhas. A amostragem realizada totalizou 10 postos em funcionamento na cidade de Congonhas, e suas localizações estão apresentadas na Figura 2.2.3.1.

Figura 2.2.3.1 – Localização dos Postos de Combustíveis Inventariados – Congonhas, MG



As emissões de COV em postos de combustíveis são provenientes de perdas para a atmosfera, que ocorrem, principalmente, durante as operações de abastecimento dos tanques de estocagem existentes nos postos e durante o abastecimento de veículos automotores, conforme apresentado na Figura 2.2.3.2.

Figura 2.2.3.2 – Movimentação de Combustíveis em Postos de Abastecimento



Fonte: Capulli & Novello (2007)

As emissões de COV provenientes dos postos de combustíveis foram calculadas com base nos fatores de emissão da EPA (2011), tendo ainda como base os volumes de combustíveis comercializados no município de Congonhas, conforme publicado pela ANP (2009).

A Tabela 2.2.3.1 apresenta a quantificação das emissões de COV dos postos de combustíveis para os cenários de referência e projetado.

Tabela 2.2.3.1 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis em Postos de Abastecimento de Combustíveis – Congonhas, MG

Município	Cenário de Referência [kg/h]	Cenário Projetado [kg/h]
	COV	COV
Congonhas	3,4	4,9

2.3 EMISSÕES BIOGÊNICAS

As seções anteriores apresentaram as quantificações das emissões de poluentes atmosféricos das principais tipologias de fontes de origem antropogênica existentes na área de estudo. Contudo, a natureza e os processos naturais também emitem poluentes que interagem na qualidade do ar de uma dada região, sendo denominadas de fontes naturais. Como exemplo, podemos citar a ação do vento sobre superfícies instáveis que produzem poeira, o mar emite aerossóis e as plantas emitem partículas e gases. Sendo um subconjunto das fontes naturais, as fontes de emissões biogênicas caracterizam-se por serem oriundas de atividades biológicas, representando uma boa parcela das emissões das fontes naturais. As emissões biogênicas incluem compostos orgânicos, aerossóis, óxidos de nitrogênio, dentre outros poluentes.

A vegetação é uma fonte importante de compostos orgânicos voláteis. Estes incluem compostos como o isopreno, monoterpenos, (α -pineno, β -pineno, limoneno, etc.) e compostos oxigenados como alcoóis e aldeídos. As emissões da vegetação dependem da espécie vegetal e das condições climáticas, sendo que a temperatura afeta as emissões de todas as espécies e todos os compostos, enquanto a luminosidade afeta, sobretudo, as emissões de isopreno e as emissões de monoterpenos em algumas espécies.

Neste estudo foi utilizado o mecanismo de cálculo de emissões biogênicas, denominado MEGAN (*Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature*), desenvolvido pela UCAR (*University Corporation for Atmospheric Research*).

O modelo de emissão biogênica MEGAN calcula distribuições detalhadas das espécies de vegetação, processos de cobertura e outros fatores ambientais para simular as emissões dos gases biogênicos. Logo ele é capaz de estimar a taxa de emissão de gases produzidos pela biosfera terrestre, utilizando-se de informações como tipo de vegetação, índice de área foliar, fatores de emissão, temperatura do ar ambiente, radiação solar, densidade de fluxo de fóton fotossintético, dentre outros.

O MEGAN calcula a taxa de emissão de COV para cada célula do domínio de modelagem e para cada instante no tempo, em função das informações da cobertura da superfície terrestre disponível para a mesma célula e das condições meteorológicas presentes para cada hora modelada.

O MEGAN está preparado para tratar 138 compostos químicos agrupados em 20 famílias, facilitando o tratamento por parte do modelo do comportamento que cada composto tem no contexto de emissões biogênicas. A Tabela 2.3.1 apresenta as famílias de compostos resolvidos pelo MEGAN.

Tabela 2.3.1 - Famílias de Compostos do MEGAN

Famílias	Siglas	Famílias	Siglas
Isoprene	ISOP	b-Caryophellene	BCAR
Methyl Butenol	MBO	Methanol	MEOH
Myrcene	MYRC	Acetone	ACTO
Sabinene	SABI	Acetaldehyde	ACTA
Limonene	LIMO	Formaldehyde	FORM
3-Carene	3CAR	Methane	CH4
Ocimene	OCIM	Nitrogen Oxide	NO
b-Pinene	BPIN	Monoterpenes	OMTP
a-Pinene	APIN	Sesquiterpenes	OSQT
Farnesene	FARN	Carbon Monoxide	CO

Fonte: Guenther et al (2006).

Na modelagem de qualidade do ar realizada com o CMAQ, as emissões biogênicas são computadas a cada hora modelada, para cada célula da malha computacional, considerando as condições meteorológicas presentes a cada momento. A título de exemplo, as Figuras 2.3.1 e 2.3.2 apresentam 2 cenários de emissões de COV de origem biogênica para o período noturno (26/06/2009 00:30) e para a o período diurno (05/02/2009 12:00), representando a primeira camada de ar com 21 metros de altura localizada adjacente à superfície.

É possível observar que o cenário apresentado na Figura 2.3.2 apresenta maiores taxas de emissões de COV de origem biogênica. Este é o comportamento esperado, visto que com a presença de luz solar existe maior atividade bioquímica das fontes biogênicas.

Figura 2.3.1 - Exemplo de Cenário de Emissões Biogênicas de Compostos Orgânicos Voláteis na Região de Congonhas no dia 26/06/2009 00:30 – Camada de 21 m Próxima à Superfície

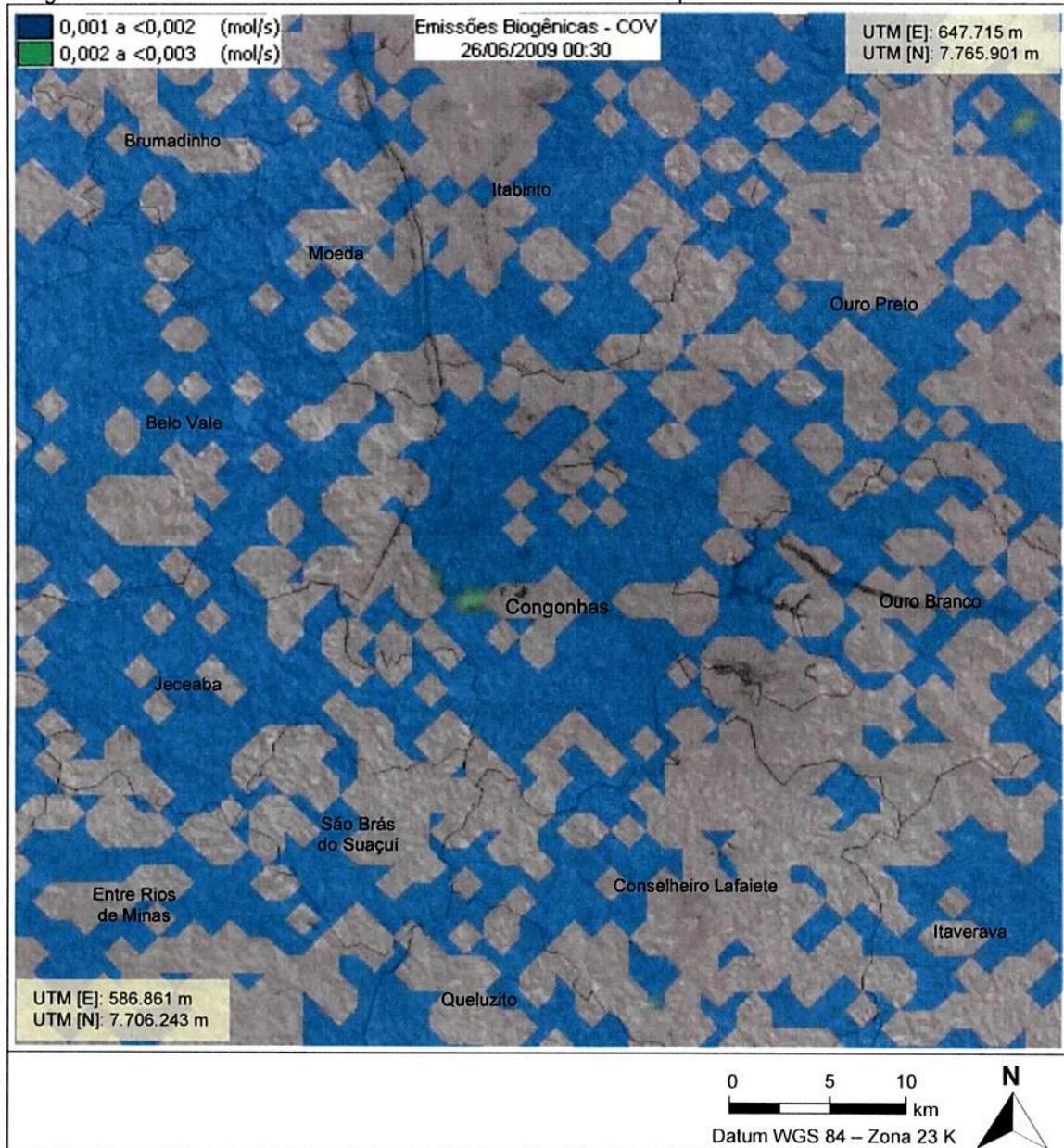
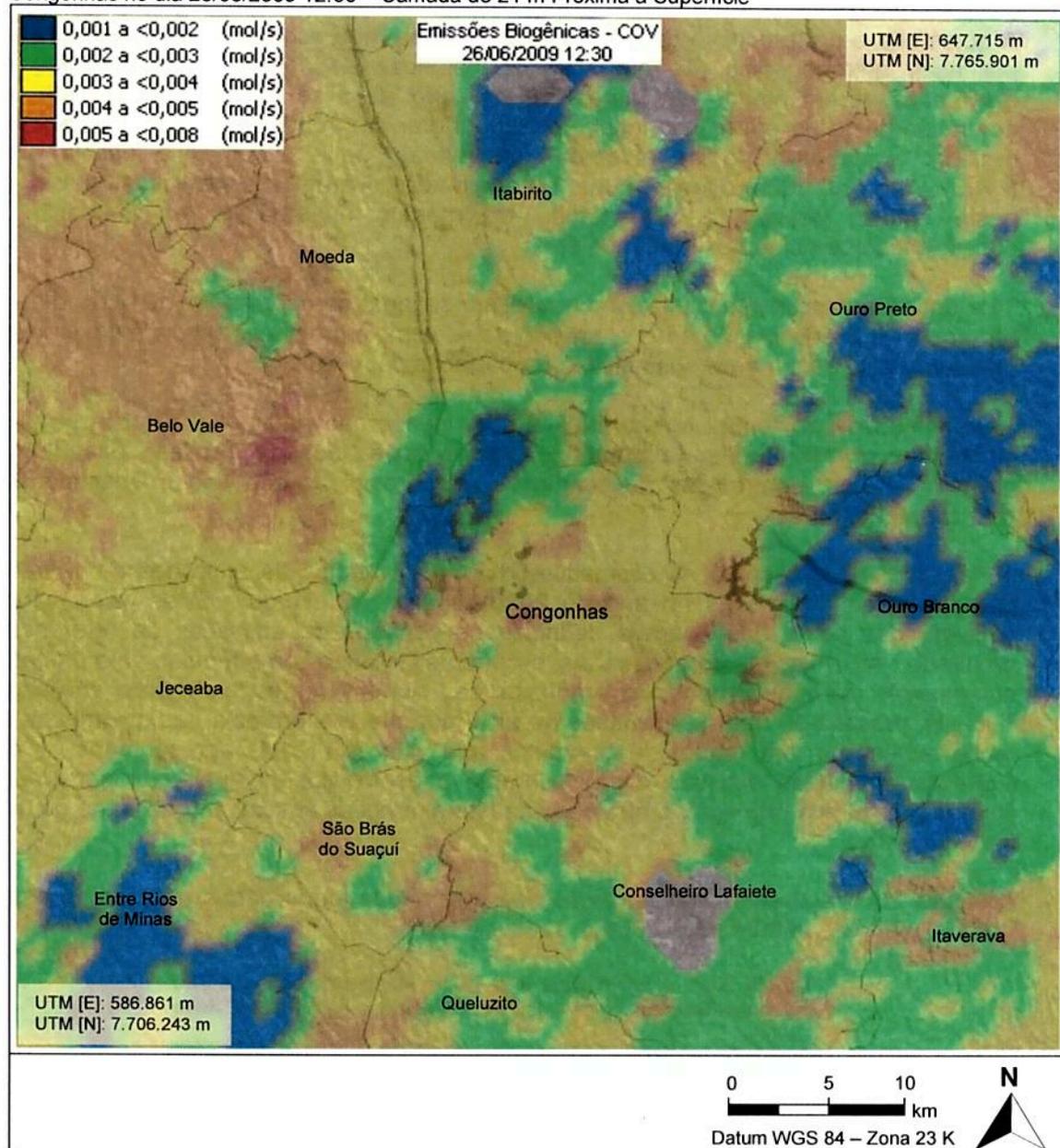


Figura 2.3.2 - Exemplo de Cenário de Emissões Biogênicas de Compostos Orgânicos Voláteis na Região de Congonhas no dia 26/06/2009 12:00 – Camada de 21 m Próxima à Superfície



2.4 EMISSÕES DE QUEIMADAS

A queimada é um processo de queima de biomassa, que ocorre por razões naturais ou por ação antropogênica. As emissões atmosféricas de poluentes provenientes das queimadas geram efeitos relevantes no equilíbrio climático e biogeoquímico de uma determinada região em escala local, podendo afetar até outras regiões, em uma escala regional e, dependendo do nível das queimadas, pode atingir uma escala global (FREITAS et. al. 2005). Desse modo, as queimadas tiveram suas emissões calculadas neste estudo visando a alimentação do modelo matemático de simulação de concentração de poluentes na atmosfera.

Tais emissões apresentam um comportamento sazonal de ocorrência, de curta duração (horas), com intensificação após o período de seca mais prolongada, pois é nessa época que a vegetação está mais suscetível à propagação do fogo.

As queimadas são fontes temporárias e com localização não definida. Em geral, as queimadas apresentam curta duração. As emissões das queimadas dependem de diversos fatores, dentre eles as condições meteorológicas e o tipo e quantidade de biomassa queimada.

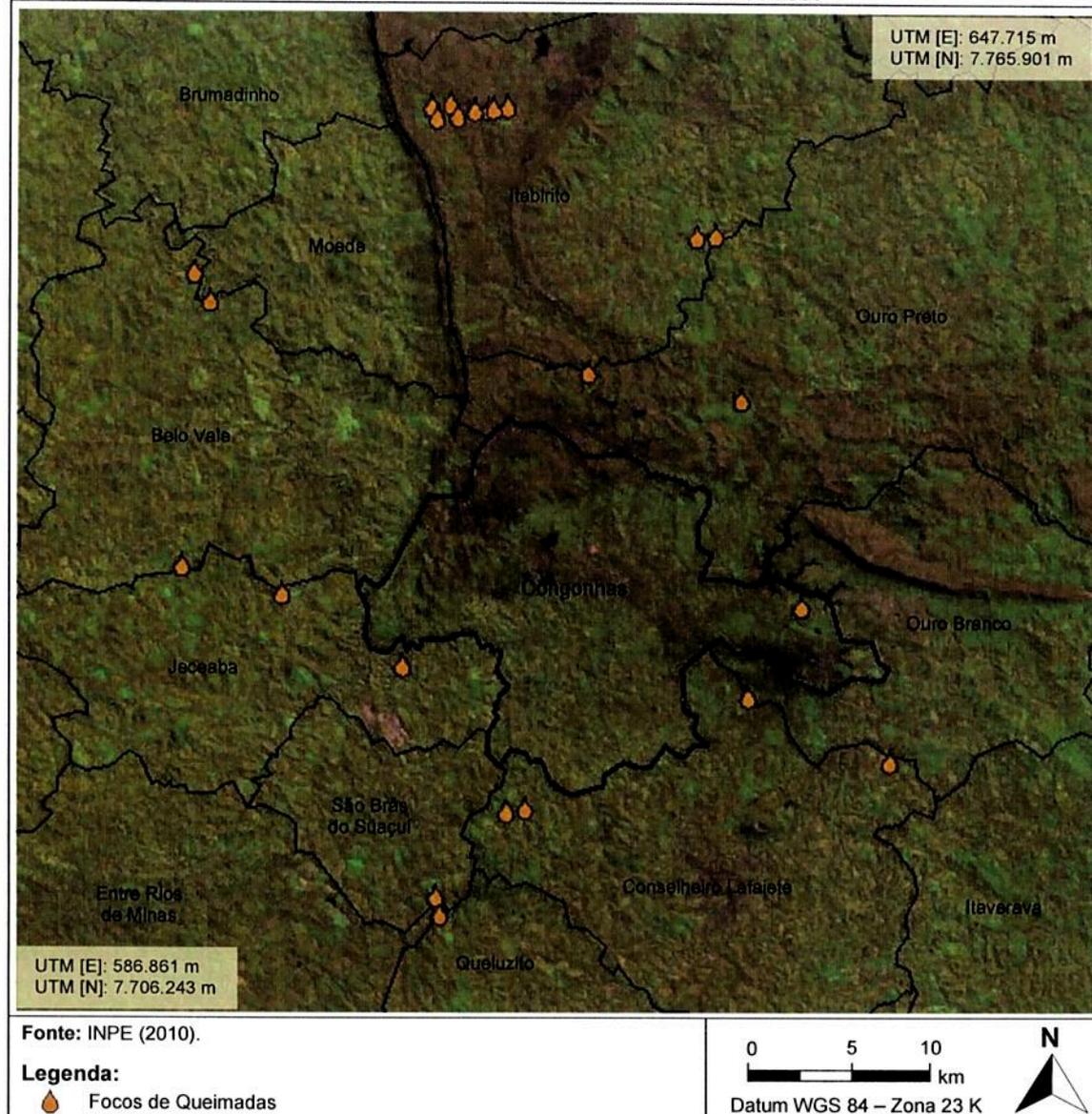
A Tabela 2.4.1 apresenta as estimativas das taxas médias de emissões de poluentes gerados pelas queimadas no ano de 2009 na área de estudo. Estes valores foram considerados como base para a definição dos cenários de emissões de referência e projetado. As emissões de queimadas foram apresentadas como médias para efeitos de comparação com as ordens de grandeza das demais fontes emissoras analisadas. Todavia, ressalta-se que as emissões de pico, durante a ocorrência das queimadas são muito superiores, em ordem de grandeza, aos valores médios apresentados. Como exemplo, a taxa de emissão de MP durante a ocorrência da queimada pode atingir valores próximos a 600 kg/h, o que pode causar alterações críticas da qualidade do ar no curto período.

A Figura 2.4.1 apresenta a localização das queimadas identificadas na área de estudo durante o ano de 2009 (INPE, 2009).

Tabela 2.4.1 – Estimativas das Taxas Médias de Emissões de Poluentes Gerados pelas Queimadas Ocorridas na Área de Estudo - 2009

Fonte	Taxas de Emissão [t/ano]					
	MP	MP ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Emissões de Queimadas	45,7	30,4	4,5	8,3	296,9	22,7

Figura 2.1.10.1 – Focos de Queimadas na Área de Estudo Durante o Ano de 2009



3. MODELO METEOROLÓGICO E QUALIDADE DO AR

Neste capítulo são apresentadas de forma sucinta as descrições dos modelos WRF e CMAQ, utilizados, respectivamente, para a descrição das condições meteorológicas e qualidade do ar da área de estudo.

3.1 MODELO METEOROLÓGICO WRF

A execução de modelagem matemática da dispersão dos poluentes na atmosfera através do modelo CMAQ requer a utilização de variáveis meteorológicas que não são usualmente mensuradas em estações de superfície atualmente existentes no Brasil. Aliado a esse fator, soma-se a carência de dados meteorológicos na área de estudo. As séries de dados meteorológicos da área de estudo foram obtidas em apenas um local representativo, estação Ouro Branco / INMET, que trata de uma estação de superfície convencional.

Assim, conforme descrito anteriormente, a modelagem meteorológica de mesoescala (modelo WRF) cumpre importantes objetivos: (1) a descrição das condições meteorológicas da região, de maneira abrangente e com a assimilação dos efeitos do terreno sobre as condições atmosféricas e (2) a geração de dados de entrada para a modelagem de qualidade do ar, que utiliza o modelo CMAQ. O modelo CMAQ, por se tratar de um modelo numérico, com malha tridimensional e transiente, necessita da geração de dados meteorológicos de superfície e altitude em malha de modelagem compatível, tridimensional e transiente.

Dessa forma, utilizou-se o modelo de previsão WRF, para a obtenção de cenários meteorológicos característicos da região de Congonhas, requeridos para a simulação da qualidade do ar através do modelo numérico CMAQ. Para a inicialização e alimentação do modelo meteorológico foram utilizados dados fornecidos pelo modelo numérico global para previsão do tempo, o *Global Forecast System / National Centers for Environmental Prediction* (GFS/NCEP), os chamados FNL (Final), as quais estão disponíveis para download diretamente do site. Estes arquivos possuem saídas a cada 6 horas numa resolução de 1° x 1° latitude/longitude, respectivamente (UCAR, 2011).

Os dados que caracterizam a superfície terrestre da região de estudo também são importantes para a execução da modelagem de dispersão dos poluentes. Esta base de dados necessita de informações como relevo, rugosidade do solo, albedo, uso e ocupação do solo, dentre outras, e foram adquiridos a partir de informações disponibilizadas pelo USGS (*United States Geological Survey*).

A topografia e a ocupação do solo são parâmetros importantes a serem caracterizados para a modelagem numérica, visto que a área de estudo é complexa e possui em seu interior áreas urbanas, rios, florestas, pastagens, dentre outras. A diversidade de fontes de poluição existentes na área de estudo (mineração, núcleos urbanos, veículos com diferentes tipos de combustível, entre outras), somada a circulação atmosférica local, o tipo de topografia e o uso do solo, tornam a representação dos processos e sistemas atmosféricos através dos modelos numéricos, uma tarefa de alta complexidade.

Para a implementação do modelo atmosférico WRF, foi definida uma área de modelagem muito maior que a área de estudo do Projeto da ROMQAM/Congonhas, porém, mantendo o mesmo centro da grade da mesma. Esta abordagem é necessária neste tipo de modelagem numérica, de modo a evitar problemas relacionados aos "efeitos de borda", que estão relacionados aos fenômenos meteorológicos de grande escala.

Assim, fez-se uso do aninhamento de grades para a modelagem meteorológica, utilizando quatro domínios acoplados, centralizados e com diferentes resoluções horizontais. Esta abordagem representa um sistema telescópico onde os quatro domínios são concêntricos. O aninhamento de grade adotado neste estudo ocorre no modo chamado 1-way, onde os resultados da grade maior são utilizados como condição de contorno para a grade interna aninhada.

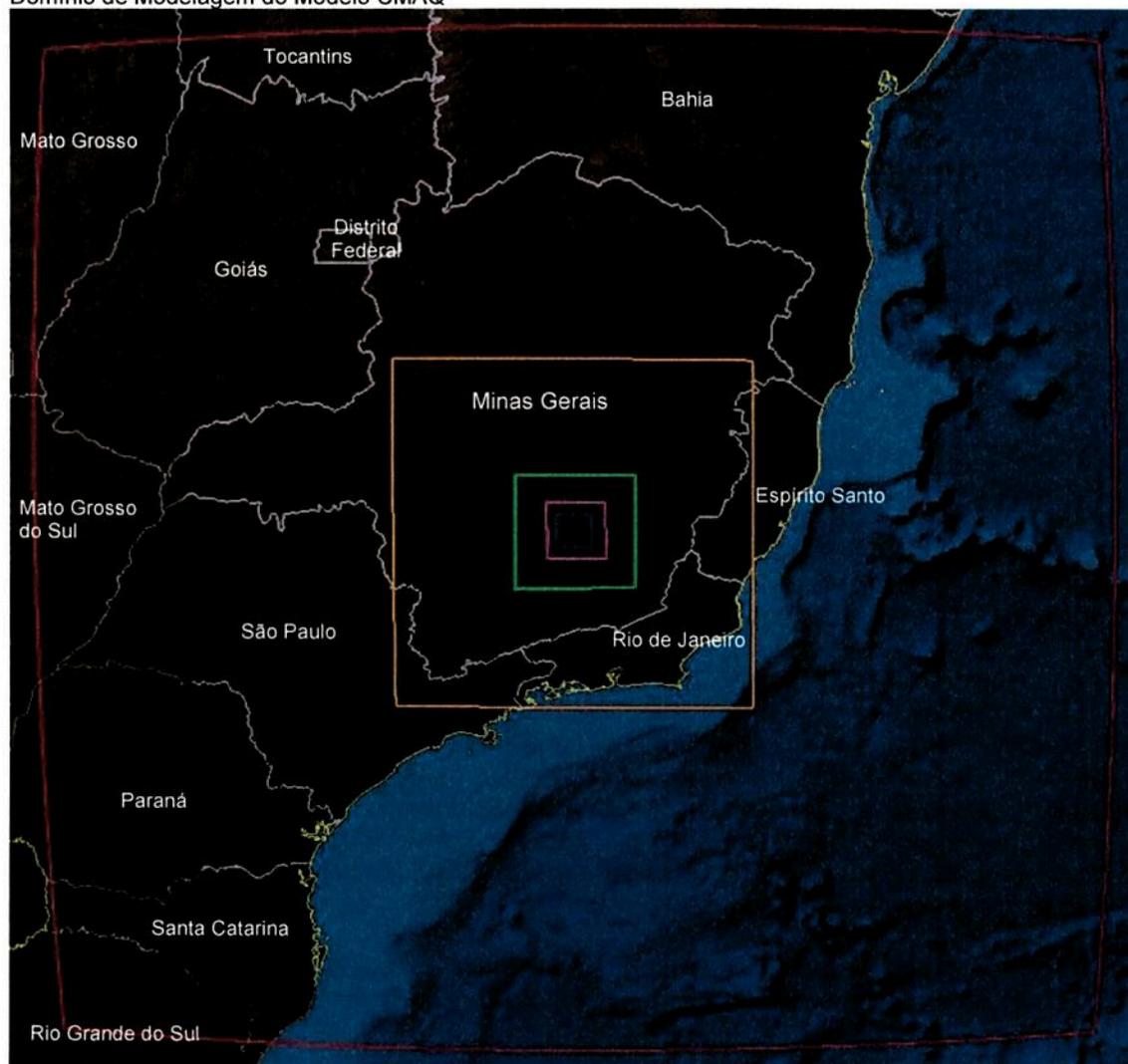
A utilização de grades aninhadas na modelagem meteorológica proporciona um melhor detalhamento e melhor qualidade das informações de interesse para a grade de alta resolução espacial (Domínio 4), que é a área de efetivo interesse no presente estudo. Isso ocorre porque o modelo WRF trabalha os fenômenos meteorológicos de grande escala (Domínios 1 e 2) simultaneamente com os fenômenos regionais e locais (Domínios 3 e 4).

As condições meteorológicas da região de Congonhas são afetadas por sistemas tropicais e de latitudes médias (sistemas de grande escala), assim como pelas características locais do relevo, uso e ocupação do solo. Utilizando a metodologia de multi-domínios com diferentes resoluções horizontais, é possível resolver os fenômenos de grande e pequena escala simultaneamente, e desta forma representar a física da atmosfera local de uma forma mais acurada.

Para o ano modelado (2009), as simulações foram inicializadas às 00 (UTC), sendo descartadas as primeiras horas modeladas quando da utilização dos dados gerados para verificação de sua qualidade e representatividade, bem como para a utilização como entrada para o modelo CMAQ. As 4 grades telescópicas do modelo WRF foram centradas nas mesmas coordenadas da grade do modelo CMAQ. A grade mais refinada para a execução do modelo CMAQ teve menores dimensões quando comparada com o domínio 4 do WRF. Enquanto esta última tem 100x100 km, a grade do CMAQ possui 60x60 km, como mostra a Figura 3.1.1.

Os principais parâmetros utilizados nas simulações com o modelo WRF para a obtenção dos dados de entrada para o modelo CMAQ estão sintetizados na Tabela 3.1.1.

Figura 3.1.1 – Domínios Computacionais Telescópicos Utilizados no Modelo Meteorológico WRF e Domínio de Modelagem do Modelo CMAQ



Legenda:

Domínios	Dimensões dos Domínios	UTM [E] min	UTM [N] min	UTM [E] max	UTM [N] max
 Domínio 1	70x70 células; 27 km resolução; 1890 km x 1890 km	252.409 m	6.811.918 m	260.190 m	8.700.573 m
 Domínio 2	70x70 células; 9 km resolução; 635 km x 635 km	298.816 m	7.418.391 m	301.962 m	8.050.691 m
 Domínio 3	70x70 células; 3 km resolução; 212 km x 212 km	512.061 m	7.627.845 m	725.548 m	7.837.175 m
 Domínio 4	100x100 células; 1 km resolução; 100 km x 100 km	570.841 m	7.685.482 m	672.952 m	7.785.594 m
 Domínio CMAQ	60x60 células; 1 km resolução; 60 km x 60 km	586.861 m	7.706.243 m	647.715 m	7.765.901 m

Tabela 3.1.1 – Resumo dos Detalhes Técnicos da Simulação Meteorológica WRF para a Região de Congonhas, MG

Parâmetros Temporais				
Período Simulado	2009			
Data Inicial	01/01/2009			
Data Final	31/12/2009			
Hora Inicial (UTC)	00h00min			
Hora Final (UTC)	23h59min			
Duração	8.760 horas			
Parâmetros Espaciais				
Resolução do Grid	27 km	9 km	3 km	1 km
Número de Linhas	70	70	70	100
Colunas	70	70	70	100
Camadas Verticais	21			
Grid Central (UTM X,Y)	618.800 m E; 7.732.496 m N			
Time Step	135			
Níveis Sigma	1.000, 0.9975, 0.995, 0.992, 0.988, 0.982, 0.976, 0.970, 0.950, 0.930, 0.870, 0.800, 0.740, 0.630, 0.540, 0.450, 0.360, 0.270, 0.180, 0.090, 0.000			
Opções de Físicas e Dinâmicas				
Microphysics	VSM 6-Class Graupel Scheme			
Longwave Radiation	RRTM Scheme			
Shortwave Radiation	Dudhia Scheme			
Surface Layer	Monin-Obukhov Scheme			
Land Surface	Unified Noah land-surface model			
Planetary Boundary Layer - PBL	YSU-scheme			
Cumulus Parameterization	No cummulus			
Num_soil_layers	Noah land-surface model			
Time Integration Scheme Option	Runge-Kutta 3rd order			
Turbulence and Mixing Option	Evaluates 2nd order diffusion term on cordinate surfaces			
Eddy Coefficient	Smagorinsky first order closure (3D)			

Os dados reproduzidos através da modelagem com o WRF foram tomados como médias horárias, 24 horas por dia. A partir dos campos meteorológicos calculados por essa simulação, foram geradas séries históricas representativas para a região de Congonhas e entorno, contendo 8.760 registros médios horários referentes ao período modelado e para diversos parâmetros.

Dentre os parâmetros meteorológicos que mais influenciam na qualidade do ar, destaca-se o vento, pois, além de influenciar no regime de emissão das principais tipologias de fontes existentes na região de Congonhas, influenciam sobremaneira na dispersão dos poluentes analisados, sendo determinantes nas concentrações modeladas, bem como na determinação das regiões mais comumente impactadas.

Como descrito anteriormente, a complexa orografia e a diversidade das condições da superfície do terreno exercem significativa influência sobre o regime de ventos da área de estudo. Exemplificando essa diversidade das condições de vento, a Figura 1.3.1.4

apresenta um campo de ventos calculado com a aplicação do modelo WRF e a rosa dos ventos da Estação Ouro Branco / INMET (2008 a 2010). Na Figura 3.1.2 é possível notar que o vento de superfície da área de estudo sofre variações significativas de direção e velocidade.

A rosa dos ventos apresentada na Figura 3.1.2 indica as condições de vento médias, calculadas pelo modelo WRF para a cidade de Congonhas (em local coincidente com o centro urbano). Nesta informação média observa-se a ocorrência de ventos predominantemente provenientes do quadrante nordeste (NE) e do quadrante sudeste (SE). Entretanto, como descrito anteriormente, a área de estudo apresenta grande diversidade de direções e velocidades do vento e a representação média descrita pela rosa dos ventos apresentadas não traduz todas as variantes da direção e velocidade do vento na área de estudo.

A modelagem de qualidade do ar com o modelo CMAQ utilizou como dados de entrada as 8760 matrizes tridimensionais contendo a totalidade das informações meteorológicas processadas pelo WRF. Desta forma, é possível garantir a representação das variáveis meteorológicas para as modelagens de qualidade do ar de maneira mais abrangente e preservando as heterogeneidades das condições atmosféricas da área de estudo.

A caracterização meteorológica de mesoescala, elaborada com detalhes pelo modelo WRF, é composta de grandes e numerosas matrizes numéricas cuja reprodução é praticamente inviável num relatório impresso. Dessa forma, outras variáveis meteorológicas utilizadas no modelo de dispersão atmosférica são apresentadas na forma de um extrato resumindo seu comportamento típico na região do empreendimento, de acordo com o modelo meteorológico WRF.

O comportamento médio horário das variáveis meteorológicas Temperatura do Ar, Radiação Solar Global e Umidade Relativa do Ar na área de estudo são apresentados nas Figuras 3.1.3 a 3.1.5.

Figura 3.1.3 – Médias Horárias de Temperatura do Ar da Região Congonhas Obtidas por Simulação Atmosférica com o WRF – Ano de 2009

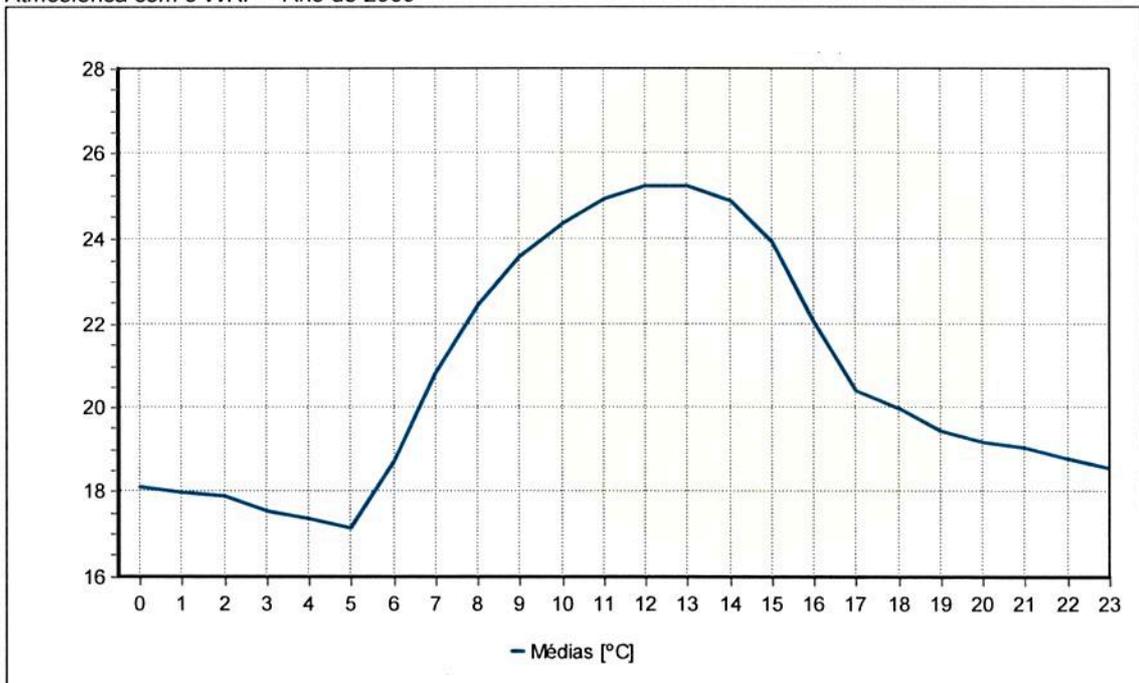


Figura 3.1.4 – Médias Horárias de Radiação Solar da Região Congonhas Obtidas por Simulação Atmosférica com o WRF – Ano de 2009

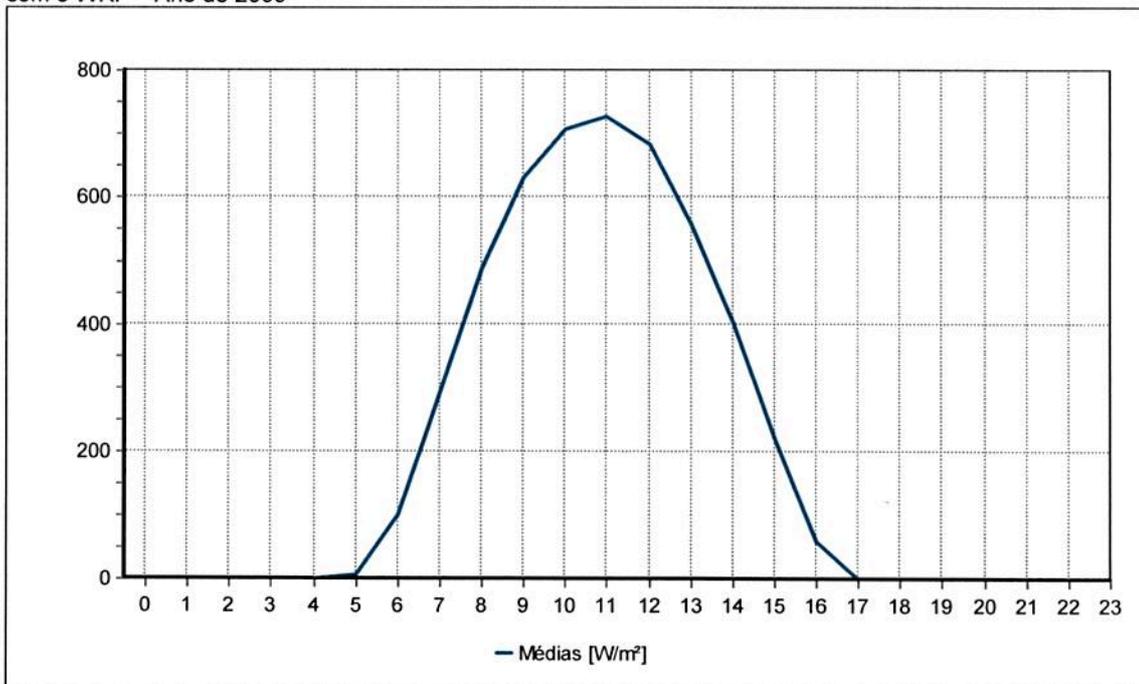
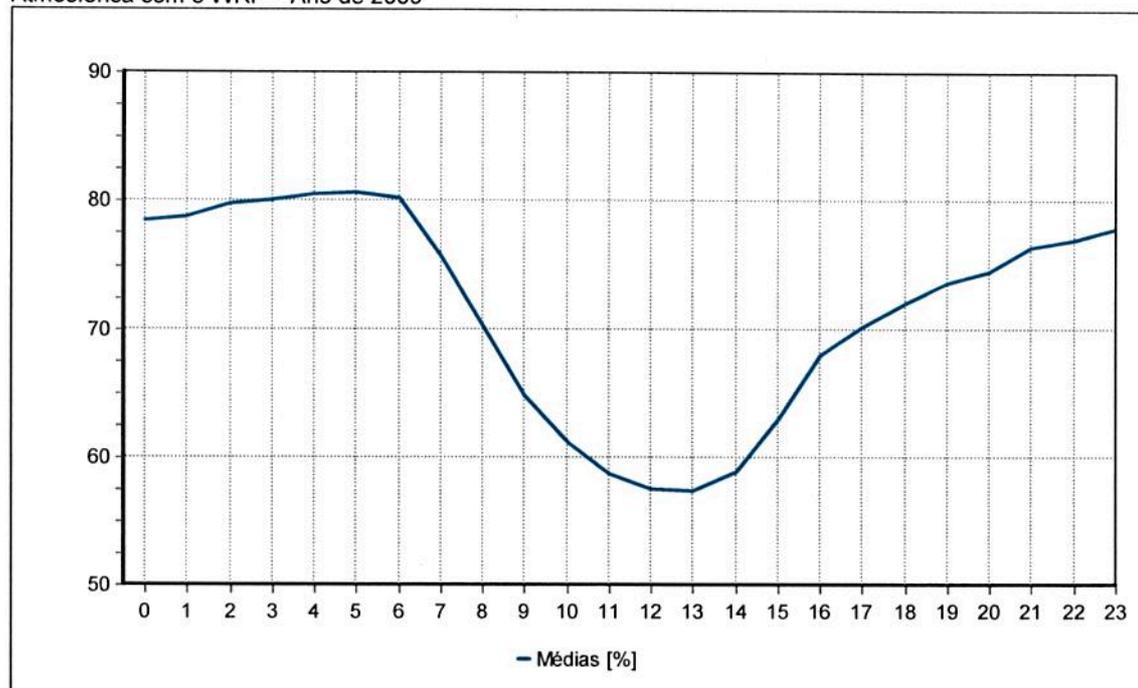


Figura 3.1.5 – Médias Horárias de Umidade Relativa do Ar da Região Congonhas Obtidas por Simulação Atmosférica com o WRF – Ano de 2009



3.2 MODELO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA CMAQ

O modelo CMAQ (*Community Multiscale Air Quality Model*) vem sendo desenvolvido e aplicado com o objetivo de simular ou prever a qualidade do ar de uma determinada região, utilizando-se as técnicas mais atuais para modelar aspectos complexos da qualidade do ar. Deve ser ressaltado que o modelo CMAQ necessita das informações meteorológicas previamente geradas por modelos de meteorológicos de mesoescala, como o WRF.

A dispersão de poluentes simulada pelo CMAQ é calculada com base na solução numérica da equação diferencial de conservação da espécie química, utilizando campos meteorológicos também resolvidos numericamente. O modelo é fisicamente consistente e calcula os resultados de concentrações em regime transiente. A abordagem numérica é a mais acurada atualmente disponível para a solução de escoamentos e cálculo das concentrações de poluentes na atmosfera. No entanto, a aplicação desse modelo é altamente complexa e exige um enorme esforço computacional para a geração dos cenários de qualidade do ar. Nas próximas seções são descritas as principais características do modelo CMAQ.

3.2.1 Meteorologia

A aplicação do CMAQ necessita que um conjunto de variáveis meteorológicas específicas e que estejam disponíveis para cada célula da malha computacional tridimensional, para cada nível sigma (de altitude) e para cada hora de modelagem. Para este fim é utilizado o aplicativo MCIP, responsável por adequar todas as variáveis advindas do modelo WRF ao formato de entrada do CMAQ, com a finalidade de gerar as condições meteorológicas iniciais e de contorno, interpolando essas informações ao tipo de balanceamento de malha utilizada pelo CMAQ (Arakawa-C), bem como gerar as informações relativas à localização geográfica da malha e de cada célula (EPA, 1999).

3.2.2 Condições Iniciais e de Contorno

As condições iniciais são necessárias ao modelo para inicializar os campos de concentração dos poluentes modelados pelo CMAQ a fim de estabelecer um perfil de inicialização da modelagem numérica de qualidade do ar. O ICON é o pré-processador do CMAQ responsável por gerar as informações de condições iniciais. Isto é feito através da configuração de um arquivo de perfil de condições iniciais gerado pelo usuário, onde é informado, para cada espécie do CMAQ e em cada nível, qual a sua concentração inicial no instante da primeira hora de modelagem. Espécies de gases têm a concentração expressa em partes por milhão (ppm), e espécies de aerossóis em micrograma por metro cúbico. Os valores informados são, por sua vez, injetados em um arquivo de condições iniciais no formato do CMAQ, que fica disponível para determinada modelagem (EPA, 1999).

De maneira similar às condições iniciais, as condições de contorno, também chamadas condições de borda, são utilizadas pelo modelo CMAQ para representar o que acontece, em termos de qualidade do ar, nos limites da malha computacional especificada. Tais condições são expressas pela configuração da concentração das espécies do modelo CMAQ nas faces norte, sul, leste e oeste da malha computacional, aliado às condições meteorológicas de contorno geradas pelo modelo MCIP. O BCON é o software responsável, no pacote de aplicativos do CMAQ, por gerar as condições de borda de acordo com um arquivo configurado pelo usuário que contém os perfis de concentração dos poluentes desejados. O estilo do arquivo é semelhante ao do arquivo de perfil do ICON, com as mesmas características, com a diferença de que no caso do BCON o perfil

é especificado também para cada face. As mesmas condições do ICON foram aplicáveis ao BCON no que tange à sua compilação, configuração e utilização.

Para alimentar as condições iniciais e de contorno para a inicialização da modelagem no CMAQ, neste trabalho foi utilizado um perfil de concentrações de poluentes com ordens de grandeza esperadas para a região. As ordens de grandeza foram estimadas com base em concentrações medidas da região, considerando as bases de dados disponibilizadas para acesso da equipe técnica.

3.2.3 Alocação Regional das Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos

A alocação regional é o processo pelo qual o inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos é inserido na base de dados do modelo CMAQ. Ou seja, é a inserção das fontes de poluentes na área de estudo, para que a partir desta inserção sejam calculados os seus respectivos efeitos para a qualidade do ar.

Um dos aspectos mais relevantes envolvendo a geração do arquivo de emissões do CMAQ é o georreferenciamento de cada fonte emissora existente no inventário, em termos da malha computacional a ser modelada. Cada fonte emissora, independente de sua tipologia, deve ser tridimensionalmente alocada na malha, a cada intervalo de tempo modelado, de forma que sua emissão seja acrescentada à célula que contém aquela fonte, no(s) nível(s) de altitude pertinente(s).

Para isto, o software base de dados utilizado neste estudo, o SIA Atmos, utiliza as informações de georreferenciamento de cada fonte emissora existente no inventário para alocá-las regionalmente, utilizando as ferramentas de geoprocessamento integradas.

A alocação de emissões de fontes pontuais (emissões de chaminés) é realizada através do seu posicionamento determinado pelas suas coordenadas geográficas. A partir da definição deste ponto é determinada a célula da malha que contém aquela fonte.

As fontes difusas (extensas), predominantes na área de estudo, são alocadas de acordo com a sua geometria, nas diversas células da malha computacional que as contêm. Neste processo de alocação as emissões das fontes difusas são distribuídas com a alocação proporcional das emissões em função da área da fonte sobreposta a cada célula da malha computacional do modelo CMAQ. Assim, é aplicado um fator de proporcionalidade à emissão da fonte em cada célula que ela intercepta, distribuindo adequadamente a emissão no plano bidimensional modelado. A emissão das fontes difusas também é distribuída nas diferentes camadas verticais, segundo a configuração vertical da fonte emissora.

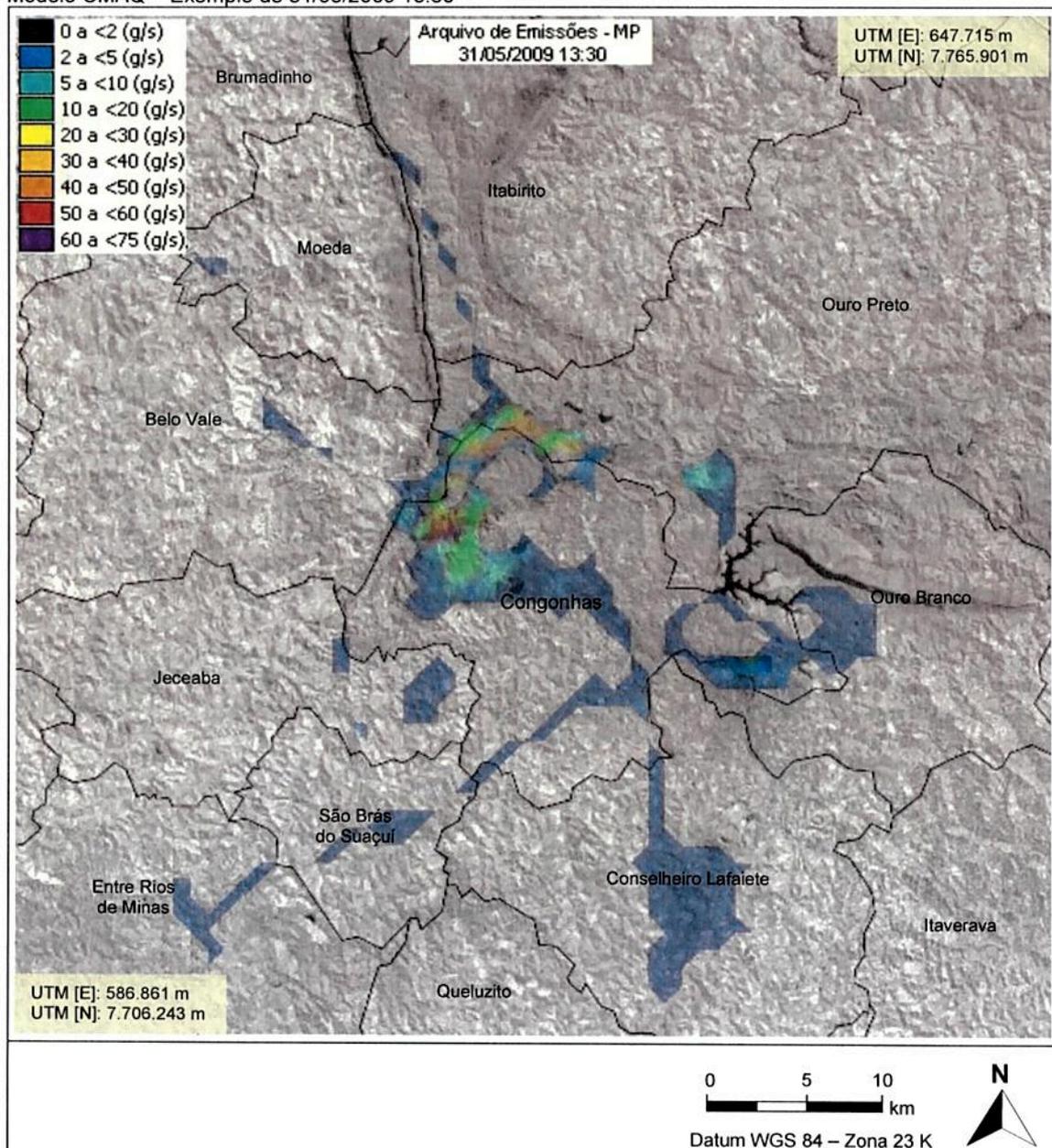
Para fontes pontuais, além da alocação da fonte no plano bidimensional (base da malha computacional que acompanha a superfície do terreno), um algoritmo é aplicado para simular a elevação da pluma de emissão (ΔH) proveniente daquela fonte, resultando numa altura de emissão efetiva dos poluentes que ocorrerá dentro da malha tridimensional. Este cálculo leva em consideração as características da emissão, tais como: diâmetro e altura física da chaminé, temperatura e velocidade de saída das emissões, instante em que ocorre a emissão e as condições meteorológicas, como velocidade do vento, temperatura do ar, altura da camada limite planetária, pressão atmosférica, dentre outras. Com base nestas informações, é calculado o empuxo e o momentum (quantidade de movimento) da pluma na saída da chaminé devido às características da fonte e às condições meteorológicas, determinando assim a altura efetiva de emissão da chaminé.

Neste estudo foi utilizado o algoritmo de Briggs (1971), descrito por Turner e Schulze (2007) foi aplicado para o cômputo da altura efetiva das fontes pontuais.

O principal arquivo de entrada do CMAQ é o arquivo de emissões atmosféricas. Ele contém, para cada espécie do mecanismo químico utilizado, em cada célula tridimensional e cada hora, sua taxa de emissão, que pode ser expressa em termos de mol por segundo, caso a espécie seja um gás ou vapor, ou grama por segundo, caso a espécie seja relativa ao material particulado.

A Figura 3.2.3.1 apresenta um exemplo de arquivo de emissões gerado para as emissões de material particulado de 31/05/2009 13:30. O modelo computa um diferente arquivo de emissões para cada espécie química a cada nova hora a ser modelada.

Figura 3.2.3.1 – Arquivo de Emissões Atmosféricas de Material Particulado Gerado para a Execução do Modelo CMAQ – Exemplo de 31/05/2009 13:30



3.2.4 Mecanismo Fotoquímico

Muitas reações químicas na atmosfera são iniciadas pela fotodissociação de gases existentes no ambiente. Tais reações fotodissociativas são responsáveis pela formação de grande parte da poluição existente na atmosfera que impacta a vida de seres humanos, animais, plantas e os materiais de uma forma geral. Com o objetivo de modelar e simular a formação da poluição do ar da maneira mais precisa possível, é necessário um adequado mecanismo para calcular a fotodissociação desses gases na atmosfera.

O CMAQ é um modelo fotoquímico capaz de realizar tais simulações. Para isso o CMAQ utiliza um módulo específico capaz de calcular, para determinadas espécies do mecanismo químico selecionado, a taxa de fotólise a elas aplicável. Essas são calculadas para várias bandas latitudinais, altitudes e ângulos de incidência de luz solar para cada hora do dia. O JPROC é o pré-processador de taxas de fotólise, capaz de gerar valores para cada dia da modelagem. Uma vez calculadas, elas são utilizadas pelo módulo PHOT dentro do modelo CMAQ, que as interpola para cada célula da malha, adequando a incidência naquelas células com eventual cobertura de nuvens, processada pelo WRF (EPA, 1999).

A fotodissociação é a conversão de radiação solar em energia química para ativação e dissociação das espécies químicas, tais como o NO₂, O₃, HCHO, CH₃CHO, HONO, o radical NO₃ e H₂O₂. A qualidade da simulação de todo o sistema químico da modelagem é altamente dependente da precisão do cálculo das taxas de fotólise, que são as principais razões para formação de radicais na atmosfera na presença dos poluentes primários. A estratégia, portanto, é calcular a taxa de fotólise J de acordo com a Equação 3.2.4.1.

$$J_i = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) \sigma_i(\lambda) \phi_i(\lambda) d\lambda \quad (3.2.4.1)$$

onde:

J_i = taxa de fotólise [min⁻¹];

$F(\lambda)$ = Fluxo actínico [fóton.cm⁻².min⁻¹.nm⁻¹];

$\sigma_i(\lambda)$ = Seção transversal de absorção da molécula sob fotodissociação [cm².molécula⁻¹];

$\phi_i(\lambda)$ = Rendimento quântico da reação fotolítica [molécula.fóton⁻¹];

λ = Comprimento de onda [nm].

A seção transversal de absorção e o rendimento quântico são funções do comprimento de onda, e também podem ser funções da temperatura e da pressão, porém são únicos para cada espécie química. O fluxo actínico é uma quantidade radiométrica que mede a radiância espectral integrada ao longo de todos os ângulos do sólido por unidade de área. Em outras palavras, é a irradiação espectral esférica, que varia segundo a hora do dia, dia do ano, longitude, latitude, altitude, estação do ano, e é governado pelos relacionamentos astronômico e geométrico entre o Sol e a Terra.

O JPROC é executado para cada hora de modelagem, gerando as taxas de fotólise que serão posteriormente utilizadas pelo núcleo do CMAQ, denominado CCTM (*CMAQ Chemistry Transport Model*).

3.2.5 Processos Químicos e de Transporte do Modelo CMAQ

Os processos de transporte na atmosfera basicamente se referem à advecção e difusão, exceto pela mistura de poluentes ocorridas em nuvens de escala regional. Algoritmos numéricos para o cálculo da advecção e da difusão vertical e horizontal foram desenvolvidos pela comunidade científica com o intuito de simular o transporte de gases e aerossóis na atmosfera, bem como os fenômenos químicos de fotodissociação e reação entre as diversas espécies químicas.

O CCTM (*CMAQ Chemistry Transport Model*) é o módulo do CMAQ responsável por essas tarefas, constituindo-se como o núcleo do modelo. Ele utiliza as informações meteorológicas disponibilizadas pelo MCIP, o arquivo de emissões gerado, as condições iniciais, as condições de borda, as emissões de aerossóis marinhos e as taxas de fotólise para simular o comportamento dos poluentes na atmosfera. O CCTM resolve os seguintes fenômenos de transporte e químicos, que caracterizam a dispersão dos poluentes na atmosfera:

- Advecção;
- Difusão horizontal e vertical;
- Deposição em fase seca e em fase aquosa (nuvens);
- Dinâmica da dispersão, reações químicas e visibilidade de partículas;
- Processos de contribuição de nuvens na qualidade do ar;
- Simulação da fotodissociação e das reações químicas entre as diversas espécies.

Para isso, o CCTM dispõe de diversos módulos internos responsáveis pela simulação numérica da qualidade do ar. São eles:

- DRIVER: controla o fluxo dos dados e sincroniza os intervalos de tempo de processamento fracionários;
- HADV: computa os efeitos da advecção horizontal;
- VADV: computa os efeitos da advecção vertical;
- ADJCON: ajusta a propriedade de conservação da taxa de mistura dos processos de advecção;
- HDIFF: computa os efeitos da difusão horizontal;
- VDIFF: computa os efeitos da difusão vertical e da deposição;
- CHEM: calcula os efeitos das reações químicas entre as espécies gasosas;
- CLOUD: simula os efeitos das reações em fase aquosa e a mistura de nuvens;
- AERO: computa as dinâmicas das partículas e a distribuição granular das mesmas.

O CCTM também é capaz de simular, por exemplo, a formação de ozônio a partir de seus precursores, como o NO, NO₂ e COVs; a dispersão de material particulado com diferentes tamanhos de partículas, bem como sua deposição, tanto em fase seca quanto em fase aquosa; a formação de radicais, sulfatos e nitratos na atmosfera; a formação de chuva ácida em função da presença de seus precursores na atmosfera e das condições meteorológicas, dentre outros.

Com relação a material particulado, o CMAQ é capaz de modelar partículas finas menores que 2,5 µm e partículas grosseiras maiores que 2,5 µm e menores que 10 µm. As partículas na atmosfera podem ser primárias ou secundárias. As primárias são aquelas emitidas diretamente pelas fontes, as quais podem ser de origem antropogênica (industriais e urbanas) ou natural (fontes biogênicas como polens, fungos e bactérias; e sobre o solo resultando na poeira em suspensão, entre outras). As secundárias são

aquelas formadas na atmosfera como resultado de reações químicas, condensação ou pela união de partículas primárias presentes na atmosfera.

As espécies que compõem o material particulado com diâmetro $< 10 \mu\text{m}$ no arquivo de emissões do CMAQ são:

- PEC, *Particulate Elemental Carbon*, ou partículas de carbono elementar;
- POA, *Particulate Organic Carbon*, ou partículas de carbono orgânico;
- PSO_4 , *Particulate Sulfate*, ou partículas de sulfato;
- PNO_3 , *Particulate Nitrate*, ou partículas de nitrato;
- PMFINE, *Particulate Matter Fine*, ou material particulado fino menor que $2,5 \mu\text{m}$; e
- PMC, *Particulate Matter Coarse*, ou material particulado grosso, que se refere às partículas de granularidade maior que $2,5 \mu\text{m}$ e menor ou igual a $10 \mu\text{m}$;

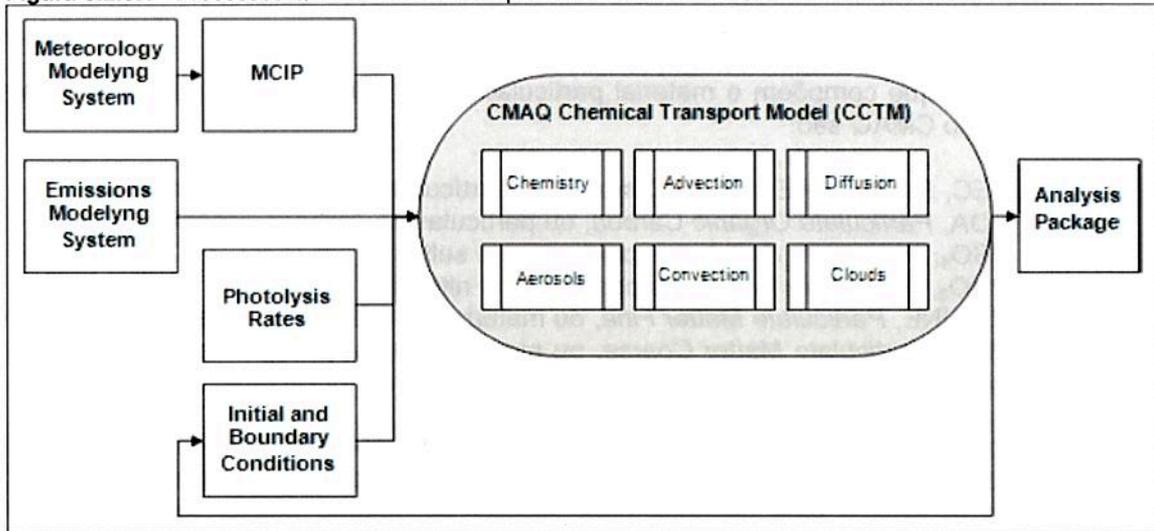
O CMAQ originalmente não é preparado para modelar partículas maiores que $10 \mu\text{m}$. Em função disso, a equipe técnica da EcoSoft implementou no módulo que trata dos aerossóis (o AERO) uma melhoria para permitir ao modelo CMAQ simular também a advecção, difusão vertical e horizontal e a deposição em fase seca e aquosa (nuvens) de material particulado maior que $10 \mu\text{m}$. Foi criada então uma espécie nova no mecanismo químico CB5 chamada PMSC, que em inglês significa *Particulate Matter Super Coarse*, e essa espécie passou a ser utilizada para representar o material particulado maior que $10 \mu\text{m}$, tornando-se uma exclusividade do modelo CMAQ utilizado neste trabalho. A implementação desta espécie seguiu a mesma parametrização já utilizada internamente no modelo CMAQ para partículas entre $2,5 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$. Desse modo, pode-se inferir que o material particulado total é o resultado da soma do material particulado com diâmetro $<$ do que $10 \mu\text{m}$ com o PMSC supracitado.

O CCTM, o núcleo do modelo CMAQ, é o módulo responsável por gerar as saídas da modelagem e gera cinco arquivos, sendo eles:

- Arquivo de concentrações instantâneas, ou CCTM_CONC, que contém a principal saída do modelo, representando a concentração instantânea de cada espécie em cada célula tridimensional da malha ao final de cada hora de modelagem. Espécies gasosas e aerossóis têm sua concentração representada em ppm e $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente;
- Arquivo de concentrações médias, ou CCTM_ACONC, que contém a concentração média de cada espécie em cada célula tridimensional para o período de modelagem. As unidades de concentração são as mesmas do arquivo CCTM_CONC;
- Arquivo de deposição em fase seca, ou CCTM_DRYDEP, que contém, para cada célula da superfície da malha, o fluxo de deposição em fase seca de cada espécie que sofre este processo, seja gás, aerossol ou matéria inerte, sendo que para cada hora o valor é acumulado. Os valores são expressos em kg/hectare.
- Arquivo de deposição em fase aquosa, ou CCTM_WETDEP, que é semelhante ao arquivo CCTM_DRYDEP, com exceção de que este gera as informações para as espécies que sofrem o processo de deposição em fase aquosa; e
- Arquivo de medidas de visibilidade de aerossóis, ou CCTM_AEROVIS, que contém dispersão Mie (baseado num mecanismo generalizado de dispersão luminosa de partículas que segue leis de eletromagnetismo aplicadas a material particulado) horário e alcance de visão reconstruído (km^{-1}) e coeficientes de extinção (deciview).

A Figura 3.2.5.1 apresenta um diagrama ilustrando a interação entre os diversos conjuntos de dados e aplicativos que são necessários para executar o modelo CMAQ.

Figura 3.2.5.1 - Processos Químicos e de Transporte do Modelo CMAQ e Processadores Associados



Fonte: CMAQ, 2010.

4. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA QUALIDADE DO AR DA REGIÃO DE CONGONHAS

No capítulo 2 foram apresentadas as características das fontes emissoras de poluentes atmosféricos (MP, SO₂, NO_x, CO e COV) da área de estudo. A caracterização destas emissões, descrita como inventário de emissões atmosféricas é uma importante ferramenta de gestão do território, por apresentar a localização das fontes emissoras e respectivas quantidades emitidas e suas formas de disposição na atmosfera.

Contudo, este inventário de emissões atmosféricas, por si só, não possibilita o conhecimento das áreas de influência das emissões, ou seja, os efeitos que estas emissões causam na qualidade do ar da área de estudo.

É importante distinguir que as quantidades de poluentes emitidas, isoladamente, não são diretamente proporcionais à magnitude dos impactos produzidos na qualidade do ar da área de estudo. É notório que fontes emissoras de maior porte (que emitem grandes quantidades de poluentes) são potencialmente mais danosas que fontes de menor porte. Todavia, dependendo da forma como os poluentes são emitidos para a atmosfera, a posição da fonte em relação ao receptor de interesse e das condições meteorológicas, em alguns casos não raras fontes emissoras de menor porte podem causar impactos maiores para determinadas localidades do que as grandes fontes.

Por exemplo, uma fonte de pequeno porte localizada próxima e a barlavento de um dado receptor pode, em determinado momento, produzir mais impactos na qualidade do ar que outras fontes de maior porte emissor, localizadas mais distantes e a sotavento deste receptor.

Sendo assim, a análise dos efeitos das fontes depende do conhecimento de outros fatores relevantes para descrever a dinâmica atmosférica, que vão muito além das quantidades de poluentes emitidas.

O inventário de emissões é peça fundamental para o entendimento sobre as condições de qualidade do ar de uma região. Porém, para o completo entendimento da influência destas emissões atmosféricas para a alteração da qualidade do ar são necessárias complementações das informações com o estudo da dispersão dos poluentes lançados na atmosfera. Os níveis dos poluentes na atmosfera da área de estudo são o resultado das quantidades de poluentes lançadas, sua localização e forma de disposição, das condições meteorológicas e interação com o terreno. Neste estudo, para o entendimento dos níveis de poluentes da atmosfera, foram aplicados modelos avançados de dinâmica atmosférica, incluindo o WRF, para estudo das condições meteorológicas de superfície e altitude e o CMAQ, como modelo de qualidade do ar.

A aplicação dos modelos WRF e CMAQ possibilitou a representação da atmosfera da área de estudo de uma forma realista e abrangente (não atingida com aplicação de modelos analíticos como o AERMOD e o CALPUFF), permitindo ainda a análise de efeitos atmosféricos relativos a poluentes secundários, tais como o ozônio e as partículas finas (sulfatos, nitratos, etc.).

Neste capítulo é apresentada a quantificação da influência das emissões atmosféricas compiladas para a região de Congonhas em relação à qualidade do ar de seu entorno.

Utilizando-se o modelo CMAQ devidamente parametrizado para a região de Congonhas, foram elaborados 2 conjuntos de cenários de qualidade do ar, sendo o primeiro utilizando

o inventário atual de emissões atmosféricas (cenário de referência) e o segundo considerando o inventário de emissões de futuras (cenário projetado), conforme descrito anteriormente neste relatório.

Os resultados de concentrações de poluentes calculados com o CMAQ foram gerados para suprimento das lacunas de informação acerca da atual qualidade do ar da Região de Congonhas. Complementarmente, e de acordo com metodologia proposta, os resultados de concentrações calculados sob a hipótese do cenário projetado de emissões (estimado sob a ótica tendencial) foram utilizados para a alimentação do algoritmo de dimensionamento da ROMQAM/Congonhas.

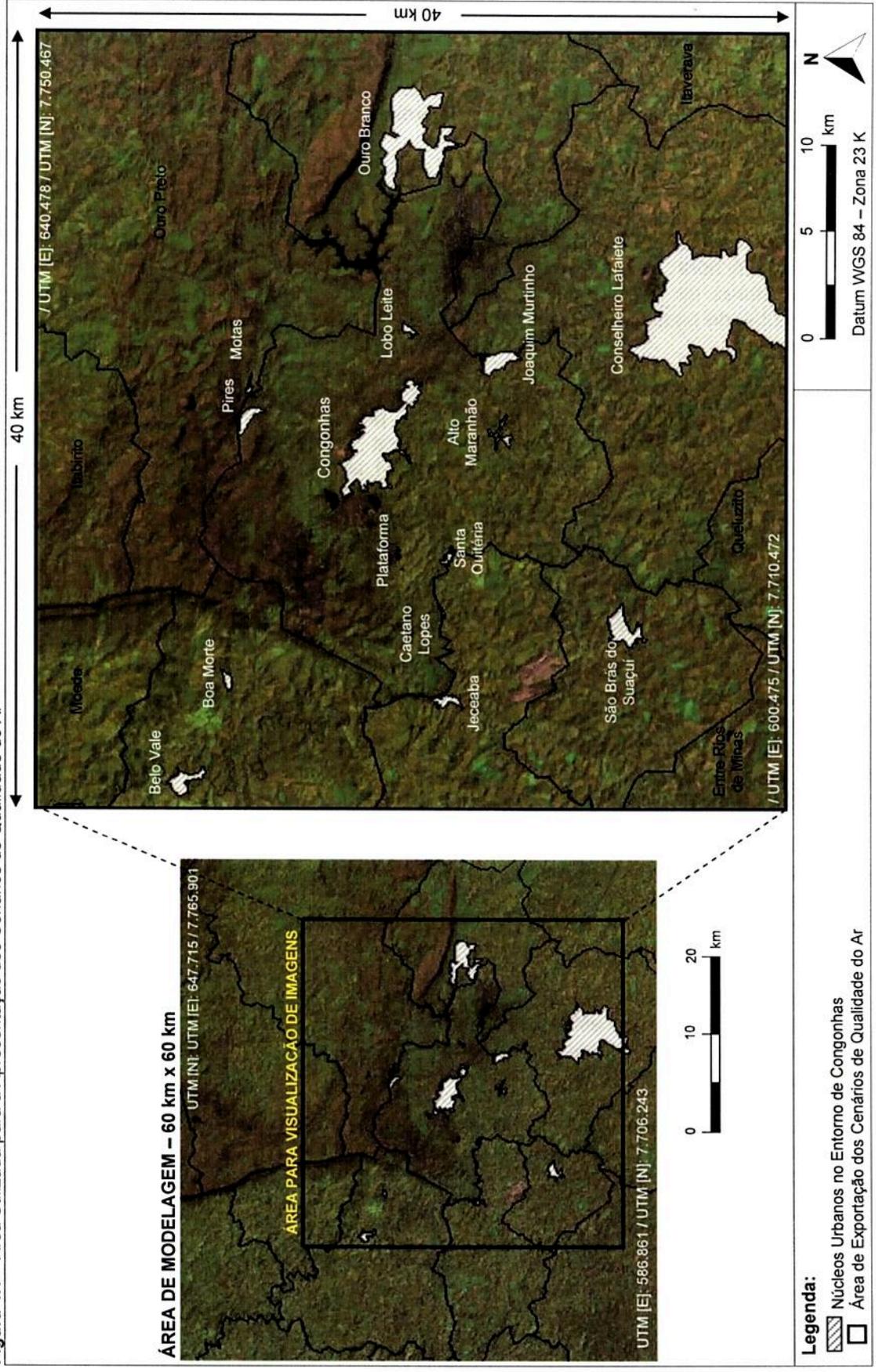
É importante distinguir que as concentrações apresentadas neste capítulo dizem respeito aos resultados das simulações computacionais com aplicação do CMAQ. Portanto, apresentam as magnitudes das concentrações de poluentes atmosféricos na área de estudo e não números absolutos.

Os resultados de concentrações calculados por modelagem apresentados não devem ser interpretados como valores aptos à avaliação do enquadramento legal do estado da qualidade do ar da área de estudo. Esta comparação inequívoca com os padrões de qualidade do ar deve ser alvo de análises específicas dos dados de monitoramento (medidos na região) que futuramente serão gerados pela ROMQAM/Congonhas, cujo dimensionamento é o fim principal deste estudo.

Neste trabalho foram realizadas as análises das concentrações modeladas para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis com diâmetro $< 10 \mu\text{m}$ (PI); os gases: dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3) e compostos orgânicos voláteis (COV).

A apresentação gráfica dos resultados da modelagem da dispersão atmosférica é denominada de cenário de qualidade do ar. Para possibilitar uma melhor visualização dos resultados obtidos através da modelagem da dispersão dos poluentes, foi delimitada uma área interna ao domínio computacional do CMAQ, que corresponde às áreas urbanas consideradas no estudo. Esta aproximação da imagem (*zoom*) na área modelada permite observar com maior detalhamento as zonas de maior influência das emissões atmosféricas na qualidade do ar das áreas urbanas de Congonhas. A Figura 4.1 apresenta a delimitação da área de visualização de imagens, em relação ao domínio computacional do modelo CMAQ.

Figura 4.1 – Área Utilizada para a Apresentação dos Cenários de Qualidade do Ar



Diante dos milhares de cenários gerados pela modelagem com o CMAQ para os diversos poluentes estudados, e da inviabilidade de apresentação de todos esses resultados no presente trabalho, foram selecionados os de maior representatividade para a comparação entre o cenário de referência e o cenário projetado, conforme segue:

- Cenário de máximas concentrações por ponto receptor: apresenta simultaneamente as máximas concentrações que ocorrem em cada célula da malha computacional na camada mais próxima ao solo, independente do momento de sua ocorrência. As máximas concentrações em cada receptor não necessariamente ocorrem na mesma data e hora. Sendo assim, esse cenário representa o agrupamento estatístico dos milhares de casos gerados pela modelagem, sendo muito útil para uma análise global de possibilidades de alterações máximas da qualidade do ar de toda a área de estudo;
- Cenário de médias de longo período: representa espacialmente a distribuição média de concentrações de acréscimos de poluentes atmosféricos na camada mais próxima ao solo, oriundos das fontes emissoras da região de Congonhas, considerando todo o período modelado (1 ano \approx 8.760 horas). Esse tipo de cenário representa a referência temporal de longo prazo, de alta representatividade estatística, e possibilita a verificação das áreas mais frequentemente afetadas pelas emissões consideradas;

4.1 PONTOS RECEPTORES DISCRETOS

Com o objetivo de exemplificar e estabelecer referências quanto à localização e a magnitude da alteração da qualidade do ar proporcionada pelas emissões computadas para a região de Congonhas, foram escolhidos locais específicos localizados nos domínios da área de estudo. Os locais selecionados são chamados de pontos receptores discretos e, em geral, coincidem com comunidades (cidades, vilas, povoados, etc.) existentes na área de estudo.

Visando uma análise mais representativa das alterações da qualidade do ar no núcleo central da cidade de Congonhas, este foi dividido em 9 setores, que foram posicionados em pontos correspondentes as célula da malha de modelagem matemática do modelo CMAQ (que representa uma área de 1 km²) localizadas nas regiões de maior densidade populacional da cidade.

A Figura 4.1.1 apresenta a localização espacial de todos os Pontos Receptores Discretos localizados na área de estudo. A Figura 4.1.2 mostra a divisão da cidade de Congonhas em setores, conforme descrito anteriormente. A Tabela 4.1.1 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos discretos analisados.

As análises apresentadas na forma de tabelas e cenários de qualidade do ar fazem referência aos pontos discretos analisados.

Figura 4.1.1 – Pontos Receptores Discretos Analisados na Área de Estudo

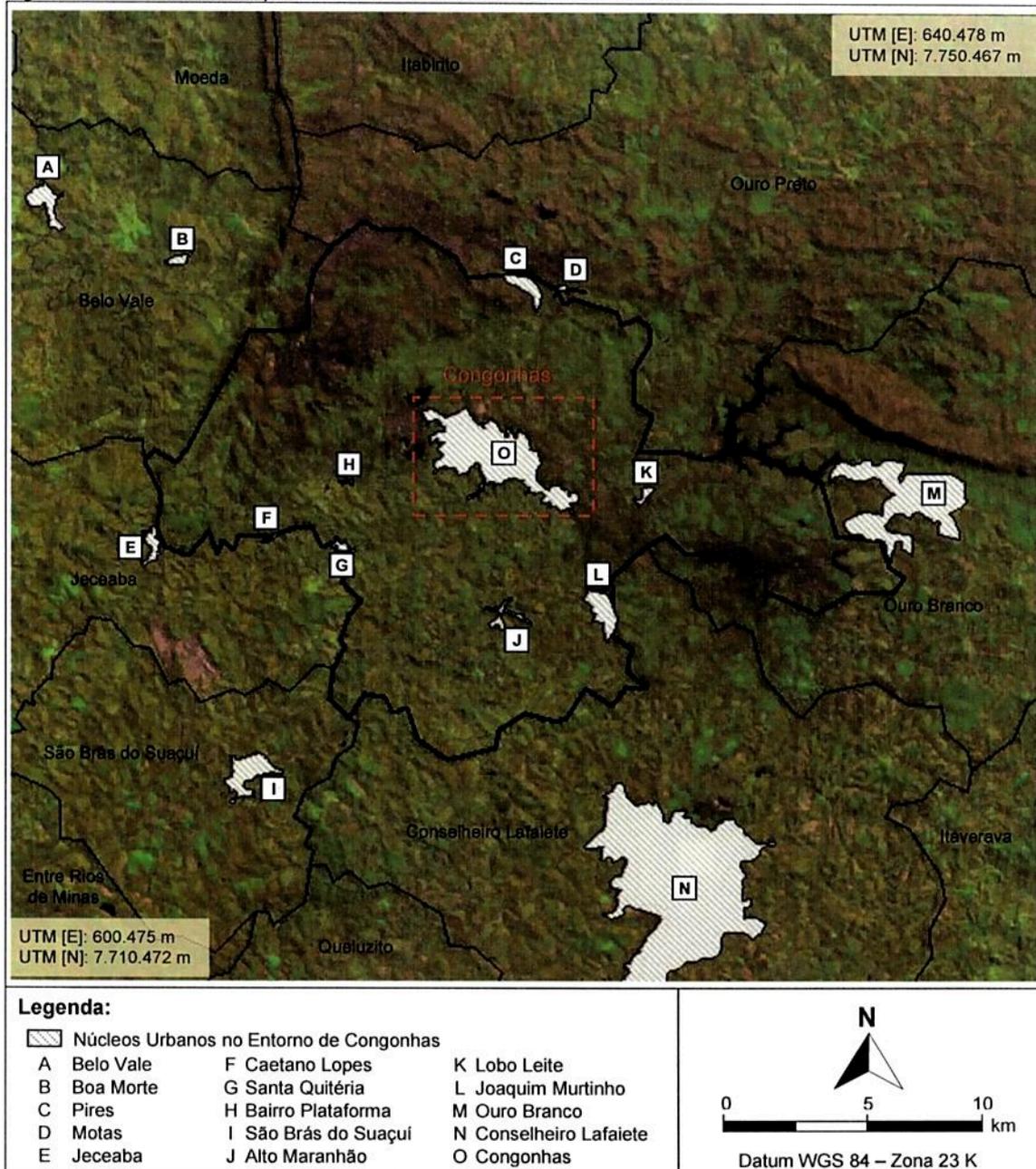


Figura 4.1.2 – Pontos Receptores Discretos Localizados no Núcleo Central da Cidade de Congonhas

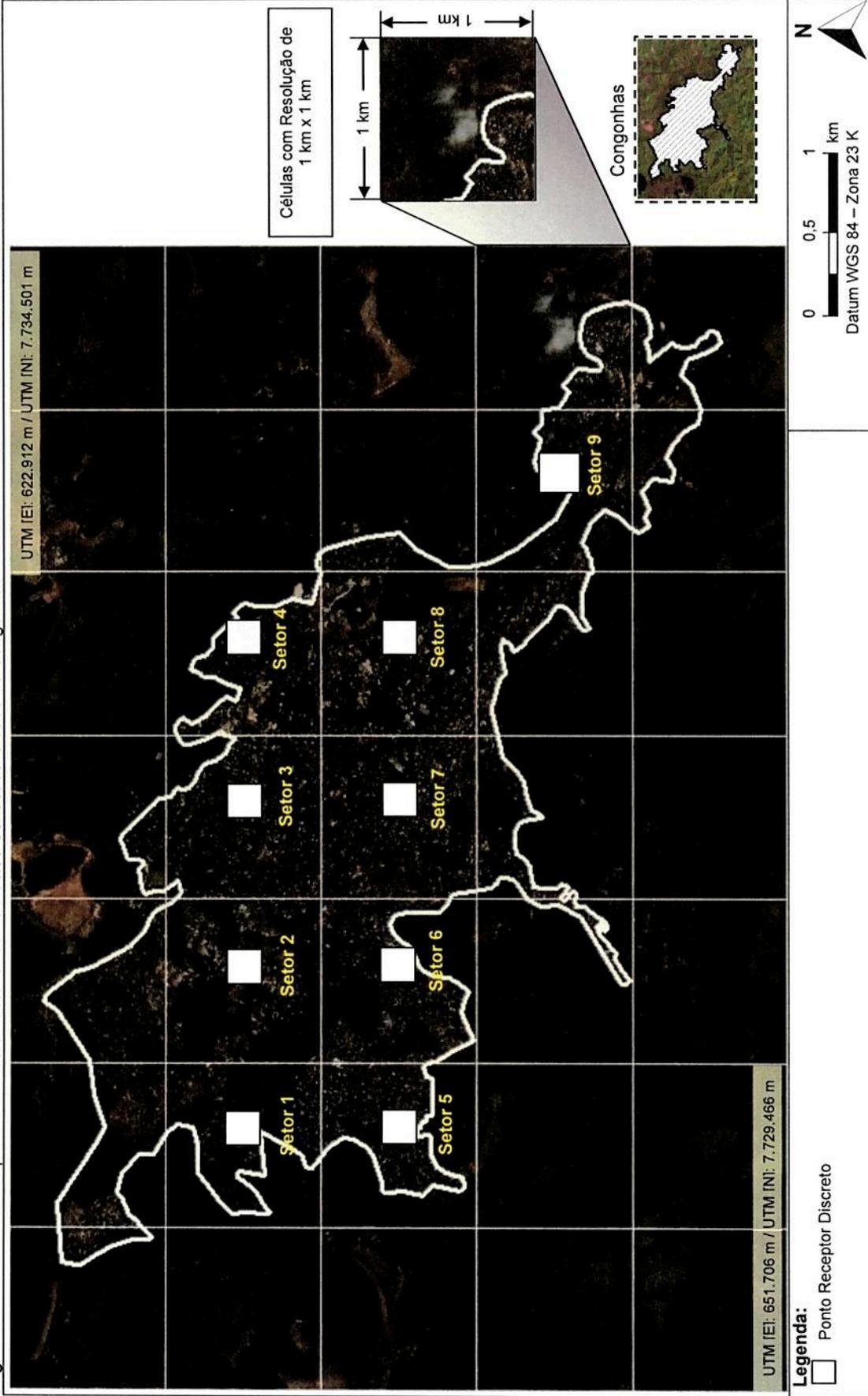


Tabela 4.1.1– Pontos Receptores Discretos Selecionados na Área de Estudo

Ponto Receptor Discreto		UTM [E] ^a	UTM [N] ^a
A	Belo Vale	601.883	7.743.268
B	Boa Morte	607.186	7.740.433
C	Pires	620.536	7.739.345
D	Motas	622.153	7.739.356
E	Jeceaba	606.356	7.728.665
F	Caetano Lopes	610.786	7.728.930
G	Santa Quitéria	613.269	7.728.678
H	Bairro Plataforma	613.454	7.731.241
I	São Brás do Suaçuí	609.738	7.719.060
J	Alto Maranhão	619.425	7.725.665
K	Lobo Leite	625.185	7.730.735
L	Joaquim Murtinho	623.365	7.725.883
M	Ouro Branco	635.653	7.730.886
N	Conselheiro Lafaiete	626.287	7.714.644
O	Congonhas - Setor 1	617.257	7.733.065
	Congonhas - Setor 2	618.189	7.733.043
	Congonhas - Setor 3	619.151	7.733.022
	Congonhas - Setor 4	620.173	7.732.976
	Congonhas - Setor 5	617.275	7.732.088
	Congonhas - Setor 6	618.304	7.732.097
	Congonhas - Setor 7	619.339	7.732.034
	Congonhas - Setor 8	620.362	7.732.033
	Congonhas - Setor 9	621.288	7.730.883

Nota:

a. Datum: WGS84 – Zona 23K.

A divisão do núcleo central cidade de Congonhas em setores englobou os bairros envolvidos por cada célula da malha de modelagem matemática, cuja descrição dos bairros está apresentada na Tabela 4.1.2.

Tabela 4.1.2 – Bairros Abrangidos pelos Setores Localizados no Núcleo Central da Cidade de Congonhas

Setor	Bairros Abrangidos
1	Eldorado, Gran Park e Cristo Rei
2	Gran Park e Primavera
3	Cinquentenário, Dom Silvério, Novo Rosário, Praia, Bairro da Matriz, Ideal e Centro
4	Rosário, Tancredo Neves e Alvorada
5	Lucas Teixeira Monteiro de Castro, Barro Preto, Residencial Gualter Monteiro
6	Dom Oscar, Fonte dos Moinhos, Bairro da Basílica e Vila Rica
7	Centro, Vila Glicéria, Lamartine e Boa Vista
8	Vila Andreza, Jardim Andreza, Vila São Vicente, Vila José Arigó
9	Vila Nereu, Jardim Profeta e Novo Belvedere

4.2 PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)

A Tabela 4.2.1 apresenta as concentrações de PTS máximas médias de 24 horas e médias anuais avaliadas em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

Tabela 4.2.1 – Concentrações de PTS Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Região de Congonhas

Local		Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Cenário de Referência		Cenário Projetado	
		Máxima de 24 h	Média Anual	Máxima de 24 h	Média Anual
A	Belo Vale	71,8	39,6	83,3	41,7
B	Boa Morte	84,5	42,4	86,9	43,1
C	Pires	213,3	81,3	214,8	82,4
D	Motas	175,5	50,4	178,6	51,3
E	Jeceaba	115,1	44,7	127,3	48,5
F	Caetano Lopes	143,4	51,2	160,9	55,9
G	Santa Quitéria	159,2	52,2	177,5	56,8
H	Bairro Plataforma	196,1	68,8	228,1	78,4
I	São Brás do Suaçuí	85,1	38,3	97,1	40,7
J	Alto Maranhão	88,4	41,9	96,0	43,9
K	Lobo Leite	85,5	45,7	93,2	47,0
L	Joaquim Murtinho	73,1	44,5	81,6	46,4
M	Ouro Branco	69,5	38,1	78,0	40,2
N	Conselheiro Lafaiete	70,4	39,3	78,5	41,2
O	Congonhas - Setor 1	202,4	68,3	240,3	77,6
	Congonhas - Setor 2	170,2	65,4	194,8	72,8
	Congonhas - Setor 3	146,3	61,6	163,3	68,1
	Congonhas - Setor 4	134,5	56,3	148,4	61,1
	Congonhas - Setor 5	178,6	61,2	206,1	67,4
	Congonhas - Setor 6	158,2	58,9	181,3	64,6
	Congonhas - Setor 7	145,4	58,0	163,4	63,7
	Congonhas - Setor 8	129,2	55,0	144,8	60,0
	Congonhas - Setor 9	103,0	50,4	115,6	54,3
Padrão de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		240	80 ^a	240	80 ^a

Nota:

- a. média geométrica.

As Figuras 4.2.1 e 4.2.2 apresentam, respectivamente, os cenários de qualidade do ar que contém as concentrações de PTS máximas médias de 24 horas e médias anuais. Em ambas as figuras apresentadas podem ser verificadas as concentrações de PTS calculadas para os cenários de referência e projetado.

Figura 4.2.1 - Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 24 horas de Partículas Totais em Suspensão - Região de Congonhas, MG

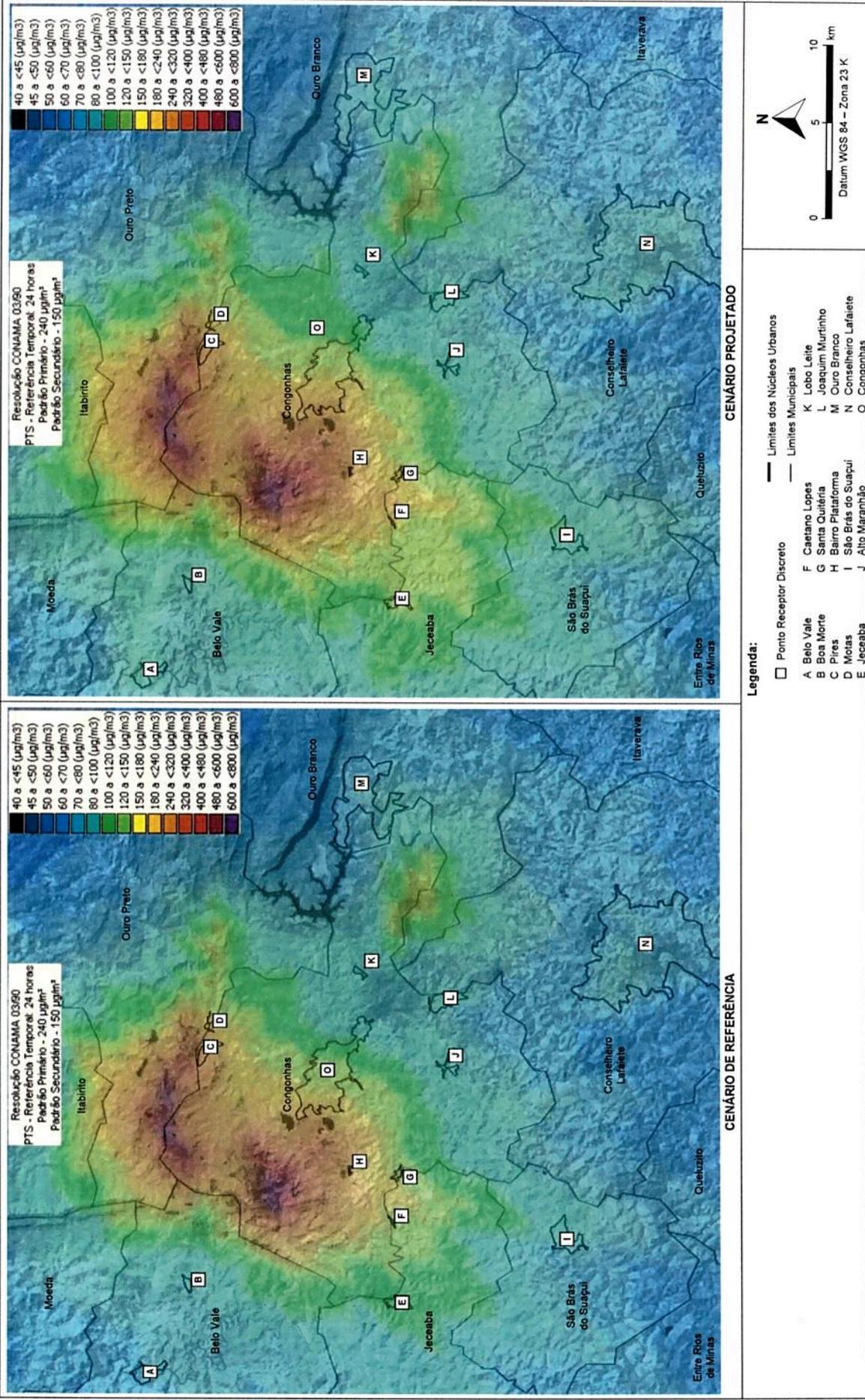
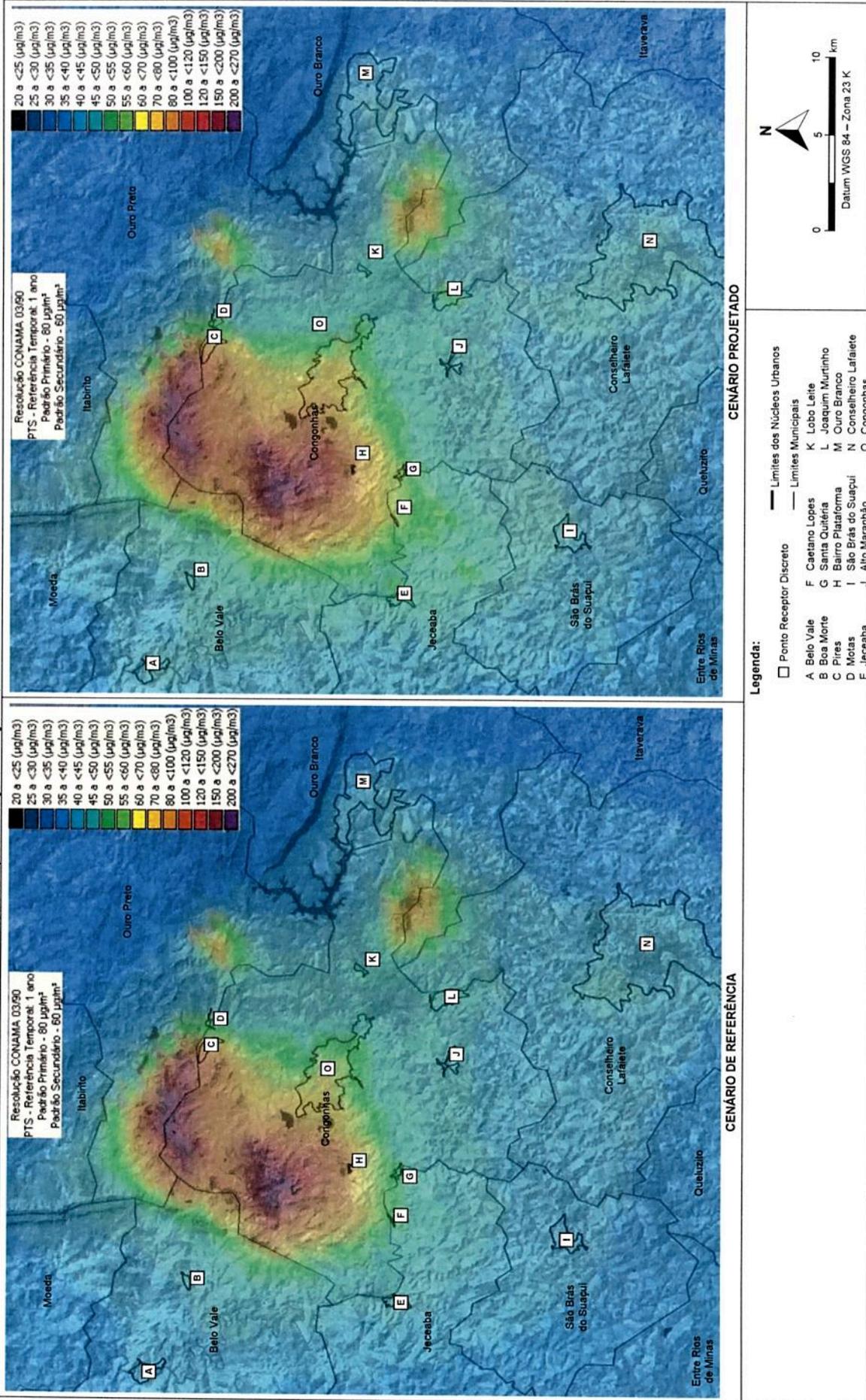


Figura 4.2.2 - Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de Partículas Totais em Suspensão - Região de Congonhas, MG



As principais conclusões acerca das concentrações de PTS calculadas com a aplicação do modelo CMAQ são descritas a seguir:

- Magnitude das Concentrações: as concentrações de PTS analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam elevada magnitude, inclusive com a identificação da potencialidade de extrapolação dos padrões de qualidade do ar (CONAMA, 1990) em locais específicos da área de estudo, inclusive em áreas urbanas. As elevadas concentrações de PTS são identificadas em ambos os cenários de desenvolvimento analisados (de referência e projetado).

No cenário de referência são identificados, nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 24 horas) que variam desde 69,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (29% do limite estabelecido como padrão de qualidade do ar - PQAr), em Ouro Branco, até 213,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (89% em relação ao padrão de qualidade do ar - PQAr), em Pires. Para as médias de longo período (média anual) a faixa de concentrações analisadas vai de 38,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (48% do PQAr), em Ouro Branco, até 81,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (102% do PQAr), em Pires.

No cenário projetado são identificados, nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 24 horas) que variam desde 78,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (33% do PQAr), em Ouro Branco, até 240,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100% do PQAr), em Pires. Para as médias de longo período (média anual) a faixa de concentrações analisadas parte de 40,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50% do PQAr), em Ouro Branco, alcançando até 82,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (103% do PQAr), em Pires.

- Receptores mais Suscetíveis à Alteração da Qualidade do Ar: no cenário de referência as maiores concentrações de PTS são identificadas nos seguintes pontos receptores (relacionados em ordem decrescente de magnitude das concentrações): Pires, Bairro Plataforma, Núcleo Central de Congonhas, Santa Quitéria, Caetano Lopes e Motas. Em todos estes locais são identificadas concentrações de PTS com magnitudes de pelo menos 60% da concentração limite estipulada pelo padrão primário de qualidade do ar (PQAr). No cenário projetado, os maiores níveis de PTS ocorrem nos mesmos locais identificados, porém com elevação das concentrações, devido ao incremento projetado das emissões atmosféricas.
- Evolução dos Níveis de PTS no Cenário Projetado: os incrementos de emissões de material particulado previstas com o cenário projetado resultam em incrementos de concentrações de PTS na área de estudo.

Os incrementos de concentrações se distribuem de forma não uniforme devido às diferentes distribuições das emissões adicionais prognosticadas no cenário projetado, que consideram o início de operação e ampliação da produção de empreendimentos situados na área de estudo.

Nos pontos receptores analisados os incrementos de concentrações de PTS variam de 1% a 19% para as médias de 24 h e de 1% a 14% para as médias anuais. Os maiores incrementos de concentrações ocorrerão nas áreas de impacto direto situados nas imediações desses novos empreendimentos.

4.3 PARTÍCULAS INALÁVEIS (PI)

A Tabela 4.3.1 apresenta as concentrações de PI máximas médias de 24 horas e médias anuais avaliadas em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

Tabela 4.3.1 – Concentrações de PI Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Região de Congonhas

Local		Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Cenário de Referência		Cenário Projetado	
		Máxima de 24 h	Média Anual	Máxima de 24 h	Média Anual
A	Belo Vale	33,9	14,3	41,1	15,9
B	Boa Morte	42,5	16,5	44,2	17,0
C	Pires	108,5	40,0	109,5	40,8
D	Motas	91,6	21,1	93,9	21,7
E	Jeceaba	57,9	17,5	65,9	20,4
F	Caetano Lopes	71,1	20,9	81,8	24,4
G	Santa Quitéria	81,5	21,8	92,1	25,2
H	Bairro Plataforma	101,7	31,8	120,4	38,4
I	São Brás do Suaçuí	41,4	13,8	50,7	15,9
J	Alto Maranhão	41,4	16,3	46,9	17,9
K	Lobo Leite	43,6	18,2	49,1	19,2
L	Joaquim Murinho	35,3	18,0	40,9	19,5
M	Ouro Branco	38,8	14,6	45,3	16,1
N	Conselheiro Lafaiete	33,9	15,1	39,7	16,5
O	Congonhas - Setor 1	107,0	32,3	128,9	38,5
	Congonhas - Setor 2	89,3	31,3	105,4	36,4
	Congonhas - Setor 3	75,9	29,3	92,0	34,0
	Congonhas - Setor 4	68,4	25,9	81,1	29,3
	Congonhas - Setor 5	93,8	27,6	109,9	32,0
	Congonhas - Setor 6	80,9	26,9	95,8	30,9
	Congonhas - Setor 7	75,1	26,9	87,7	31,1
	Congonhas - Setor 8	66,0	25,2	77,8	28,8
	Congonhas - Setor 9	52,2	22,1	63,7	25,0
Padrão de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		150	50	150	50

As Figuras 4.3.1 e 4.3.2 apresentam, respectivamente, os cenários de qualidade do ar que contêm as concentrações de PI máximas médias de 24 horas e médias anuais. Em ambas as figuras apresentadas podem ser verificadas as concentrações de PI calculadas para os cenários de referência e projetado.

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.

Figura 4.3.1 - Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 24 horas de Partículas Inaláveis - Região de Congonhas, MG

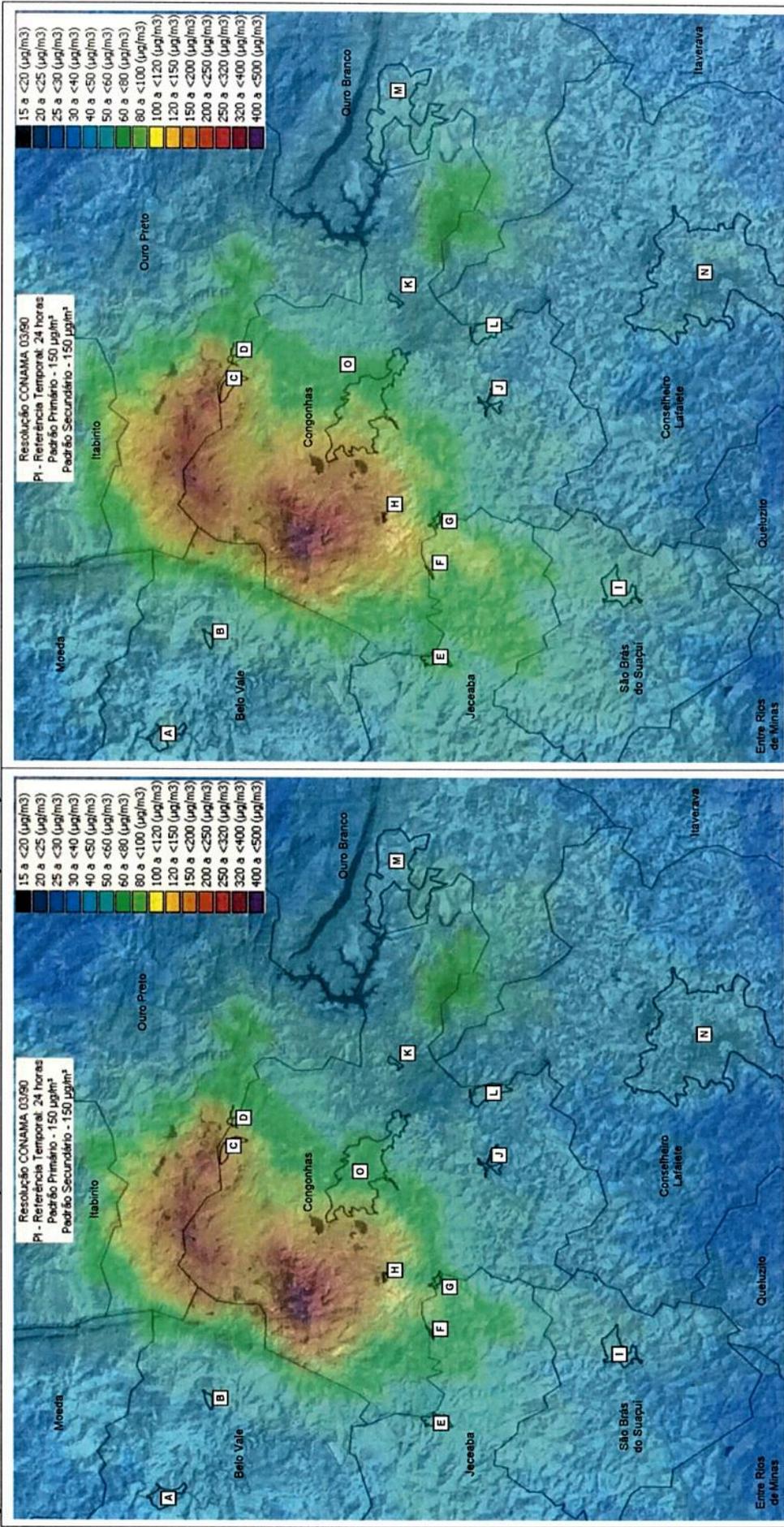
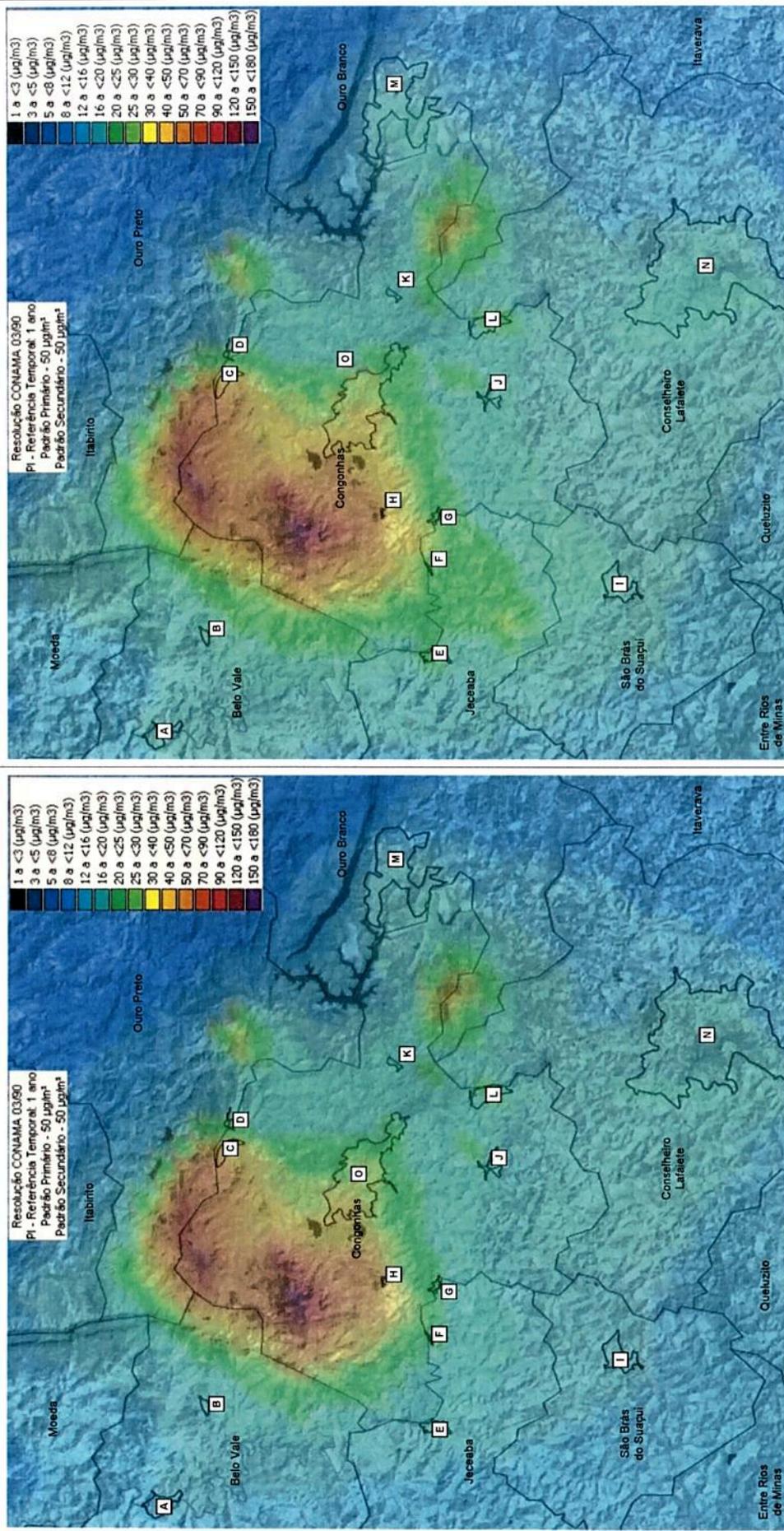


Figura 4.3.2 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de Partículas Inaláveis - Região de Congonhas, MG



As principais conclusões acerca das concentrações de PI calculadas com a aplicação do modelo CMAQ são descritas a seguir:

- Magnitude das Concentrações: as concentrações de PI analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam elevada magnitude. As elevadas concentrações de PI são identificadas em ambos cenários de desenvolvimento analisados (de referência e projetado).

No cenário de referência são identificados nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 24 horas) que variam desde 33,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (23% do PQAr), em Belo Vale, até 108,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (72% do PQAr), em Pires. Para as médias de longo período (média anual) a faixa de concentrações analisadas vai de 13,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28% do PQAr), em São Brás do Suaçuí, até 40,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (80% do PQAr), em Pires.

No cenário projetado são identificados nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 24 horas) que variam desde 39,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (36% do PQAr), em Conselheiro Lafaiete, até 128,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (86% do PQAr), em Congonhas. Para as médias de longo período (média anual) a faixa de concentrações analisadas parte de 15,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (32% do PQAr), em Belo Vale, alcançando até 40,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (82% do PQAr), em Pires.

- Receptores mais Suscetíveis à Alteração da Qualidade do Ar: nos cenários de referência as maiores concentrações de PI são identificadas nos seguintes pontos receptores (relacionados em ordem decrescente de magnitude das concentrações): Pires, Bairro Plataforma, Motas, Núcleo Central de Congonhas e Santa Quitéria. Em todos estes locais são identificadas concentrações de PI com magnitudes de pelo menos 60% da concentração limite estipulada pelo padrão primário de qualidade do ar (PQAr). No cenário projetado, os maiores níveis de PI ocorrem nos mesmos locais identificados, porém com elevação das concentrações, devido ao incremento projetado das emissões atmosféricas.
- Evolução dos Níveis de PI no Cenário Projetado: os incrementos de emissões de material particulado previstas com o cenário projetado resultam em incrementos de concentrações de PI na área de estudo.

Nos pontos receptores analisados os incrementos de concentrações de PI variam de 1% a 22%. Os maiores incrementos de concentrações ocorrerão nas áreas de influência direta dos novos empreendimentos previstos no cenário projetado.

4.4 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂)

A Tabela 4.4.1 apresenta as concentrações de SO₂ máximas médias de 24 horas e médias anuais avaliadas em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

Tabela 4.4.1 – Concentrações de SO₂ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Região de Congonhas

Local		Concentração (µg/m ³)			
		Cenário de Referência		Cenário Projetado	
		Máxima de 24 h	Média Anual	Máxima de 24 h	Média Anual
A	Belo Vale	8,7	2,4	8,9	2,9
B	Boa Morte	10,2	2,7	10,3	3,0
C	Pires	27,0	4,5	27,0	4,8
D	Motas	26,1	3,8	26,1	4,1
E	Jeceaba	5,5	2,4	12,7	3,8
F	Caetano Lopes	8,2	2,9	14,3	4,9
G	Santa Quitéria	9,6	3,0	14,1	4,9
H	Bairro Plataforma	12,0	3,8	17,3	6,9
I	São Brás do Suaçuí	7,9	2,3	15,5	4,0
J	Alto Maranhão	16,8	2,9	16,8	3,5
K	Lobo Leite	31,5	6,3	31,5	6,7
L	Joaquim Murtinho	22,3	4,1	22,6	4,6
M	Ouro Branco	28,5	3,1	31,3	3,3
N	Conselheiro Lafaiete	20,7	3,2	21,3	3,5
O	Congonhas - Setor 1	13,9	4,1	18,1	5,2
	Congonhas - Setor 2	14,4	4,0	16,3	4,9
	Congonhas - Setor 3	16,4	4,0	16,4	4,8
	Congonhas - Setor 4	18,5	4,1	18,5	4,8
	Congonhas - Setor 5	13,9	3,8	19,1	5,4
	Congonhas - Setor 6	13,8	3,7	17,6	4,9
	Congonhas - Setor 7	13,7	3,8	16,5	4,8
	Congonhas - Setor 8	14,7	4,0	15,4	4,8
	Congonhas - Setor 9	17,2	4,1	17,2	4,8
Padrão de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		365	80	365	80

As Figuras 4.4.1 e 4.4.2 apresentam, respectivamente, os cenários de qualidade do ar que contém as concentrações de SO₂ máximas médias de 24 horas e médias anuais. Em ambas as figuras apresentadas podem ser verificadas as concentrações de SO₂ calculadas para os cenários de referência e projetado.

As concentrações de SO₂ analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam baixa magnitude. As máximas concentrações observadas são sempre inferiores a 10% das concentrações limite estipuladas pelo padrão primário de qualidade do ar (PQAr).

Figura 4.4.1 - Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 24 horas de Dióxido de Enxofre - Região de Congonhas, MG

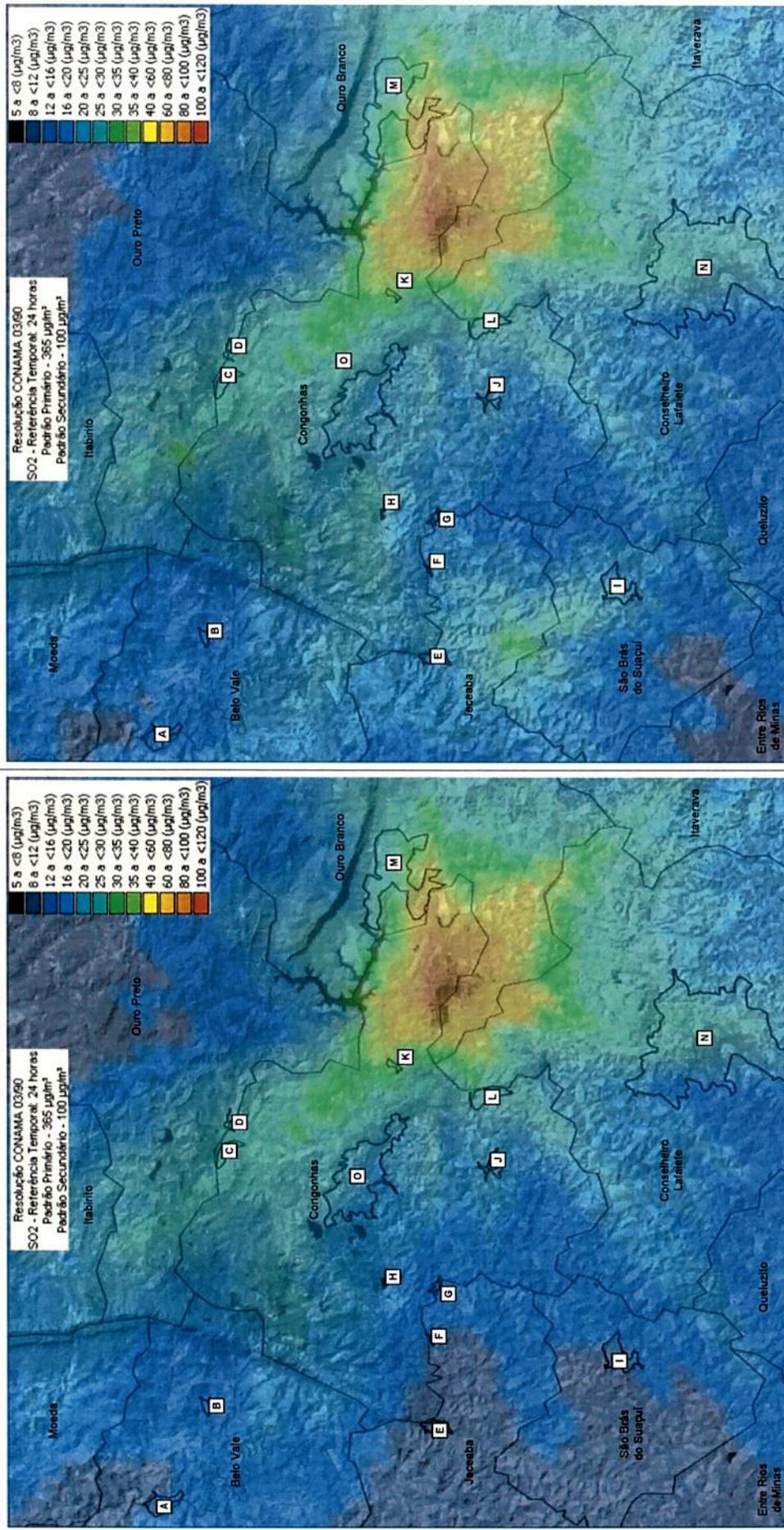
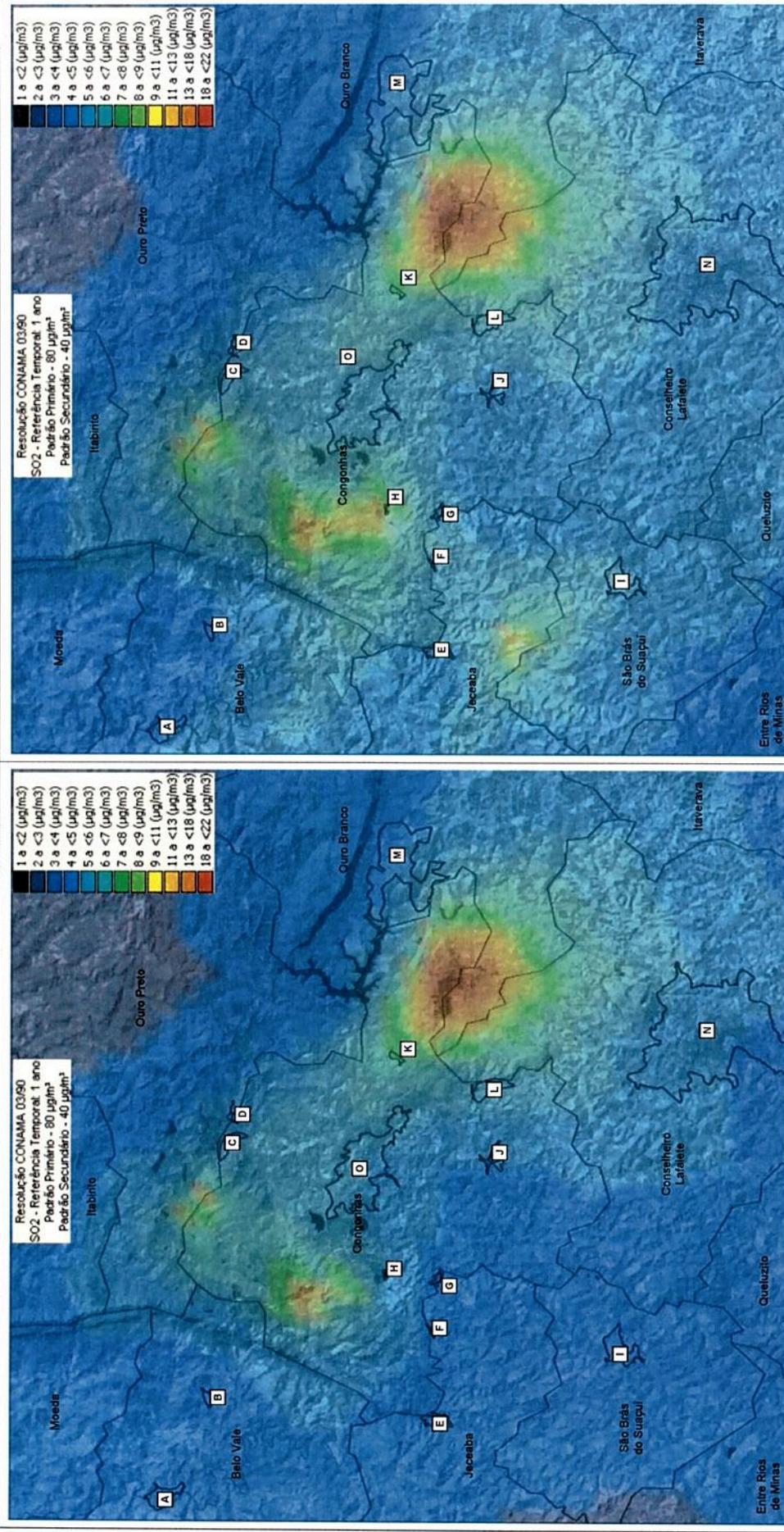


Figura 4.4.2 - Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de Dióxido de Enxofre - Região de Congonhas, MG



4.5 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

A Tabela 4.5.1 apresenta as concentrações de CO máximas médias de 1 hora e 8 horas e as médias anuais avaliadas em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

Tabela 4.5.1 – Concentrações de CO Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Região de Congonhas

Local		Concentração (µg/m³)					
		Cenário de Referência			Cenário Projetado		
		Máxima de 1 h	Máxima de 8 h	Média Anual	Máxima de 1 h	Máxima de 8 h	Média Anual
A	Belo Vale	427,7	301,9	213,8	429,1	307,7	216,1
B	Boa Morte	451,1	314,7	213,3	451,7	315,2	213,8
C	Pires	680,3	484,9	224,4	681,3	485,2	225,5
D	Motas	797,1	450,8	219,3	797,1	450,9	220,0
E	Jeceaba	580,0	296,9	211,1	583,0	305,7	213,8
F	Caetano Lopes	730,9	334,0	213,3	737,4	335,8	216,4
G	Santa Quitéria	859,0	325,6	213,5	863,8	332,4	216,9
H	Bairro Plataforma	852,1	360,7	219,7	855,6	371,1	224,8
I	São Brás do Suaçuí	929,9	360,7	209,2	931,6	362,5	211,5
J	Alto Maranhão	1.563,5	405,6	214,3	1.564,6	406,7	216,3
K	Lobo Leite	1.462,1	638,3	235,1	1.464,4	643,5	236,6
L	Joaquim Murtinho	3.084,2	785,4	222,9	3.088,2	788,3	225,2
M	Ouro Branco	1.261,9	619,4	217,2	1.276,8	622,8	219,6
N	Conselheiro Lafaiete	1.072,9	475,2	220,0	1.081,4	484,7	223,0
O	Congonhas - Setor 1	1.013,1	415,5	227,7	1.020,2	428,5	233,0
	Congonhas - Setor 2	1.161,7	418,3	231,1	1.173,3	431,4	238,0
	Congonhas - Setor 3	1.186,4	418,0	231,7	1.198,8	425,9	238,5
	Congonhas - Setor 4	1.032,4	422,3	229,6	1.039,9	426,7	234,8
	Congonhas - Setor 5	904,4	419,4	223,6	905,9	423,4	229,0
	Congonhas - Setor 6	989,1	436,6	226,2	1.003,4	441,5	232,2
	Congonhas - Setor 7	1.066,0	445,3	228,8	1.072,3	451,5	235,3
	Congonhas - Setor 8	1.079,6	426,8	228,8	1.087,0	432,9	234,5
	Congonhas - Setor 9	1.228,4	489,1	226,6	1.238,7	491,4	231,1
Padrão de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		40.000	10.000	NA	40.000	10.000	NA

Nota:

NA = não aplicável.

As Figuras 4.5.1 a 4.5.3 apresentam, respectivamente, os cenários de qualidade do ar que contêm as concentrações de CO máximas médias de 1 hora e 8 horas e as médias anuais. Em ambas as figuras apresentadas podem ser verificadas as concentrações de CO modeladas para os cenários de referência e projetado.

As concentrações de CO analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam baixa magnitude. As máximas concentrações observadas são sempre inferiores a 5% das concentrações limite estipuladas pelo padrão primário de qualidade do ar (PQAr).

Figura 4.5.1 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 hora de Monóxido de Carbono - Região de Congonhas, MG

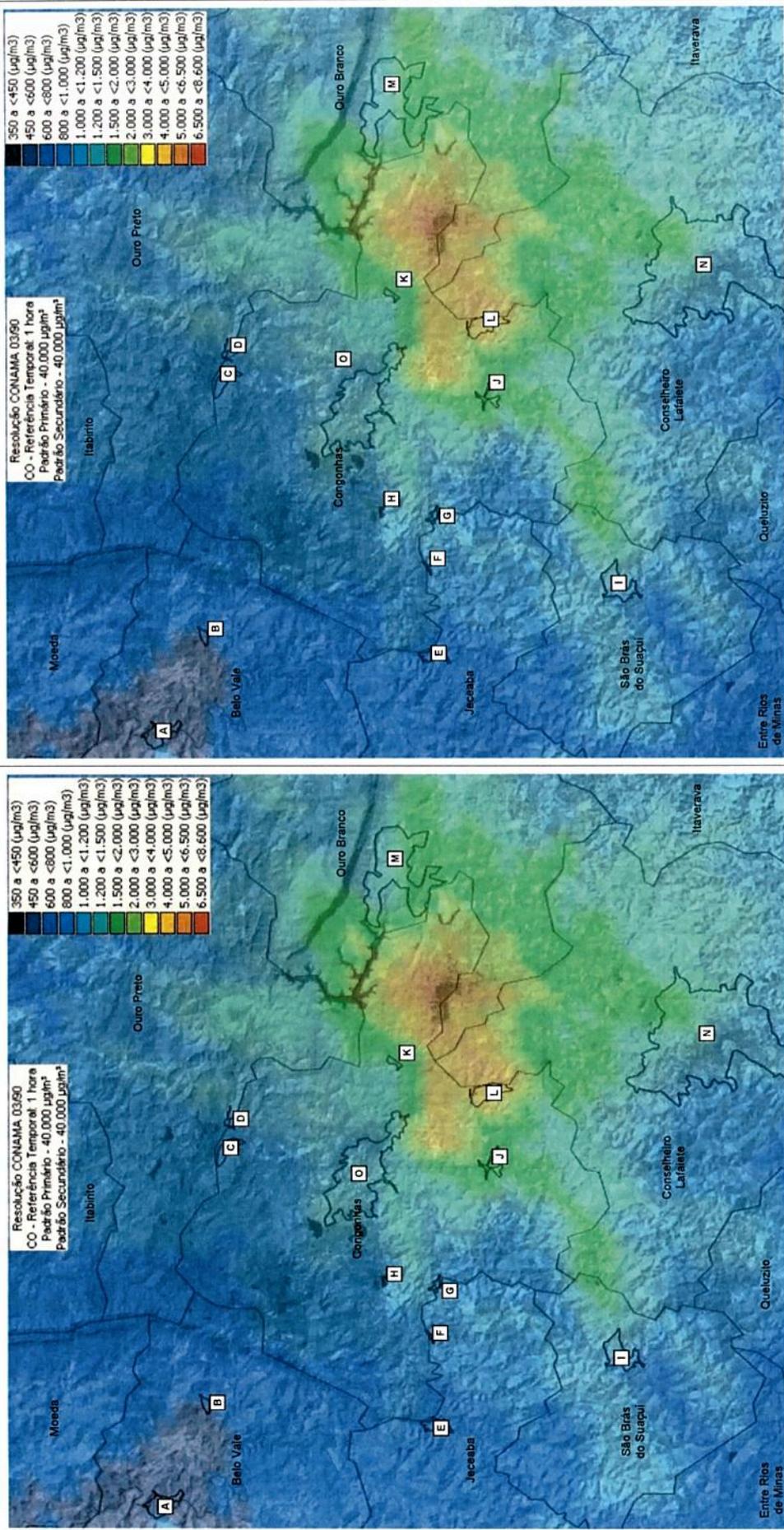


Figura 4.5.2 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 8 horas de Monóxido de Carbono - Região de Congonhas, MG

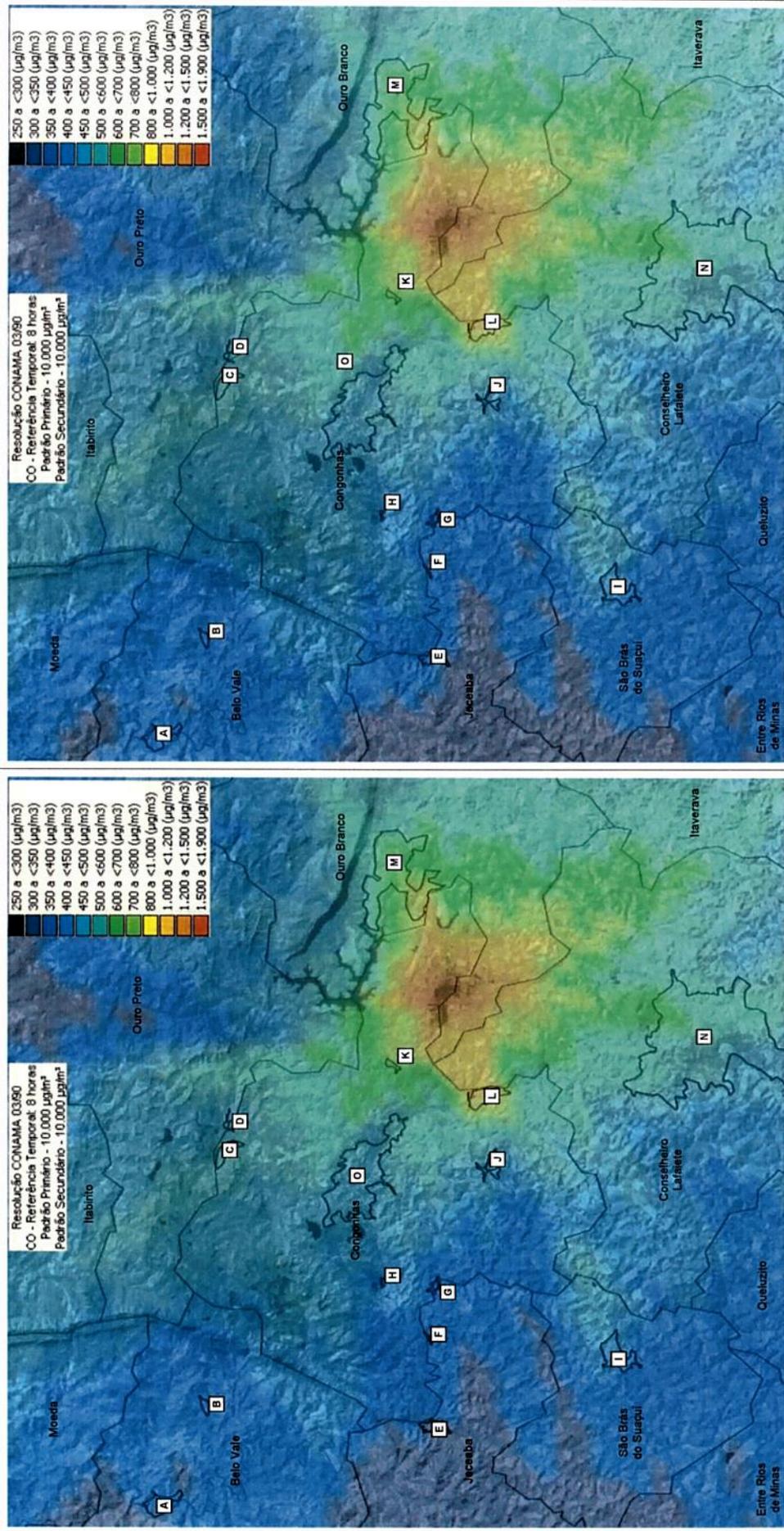
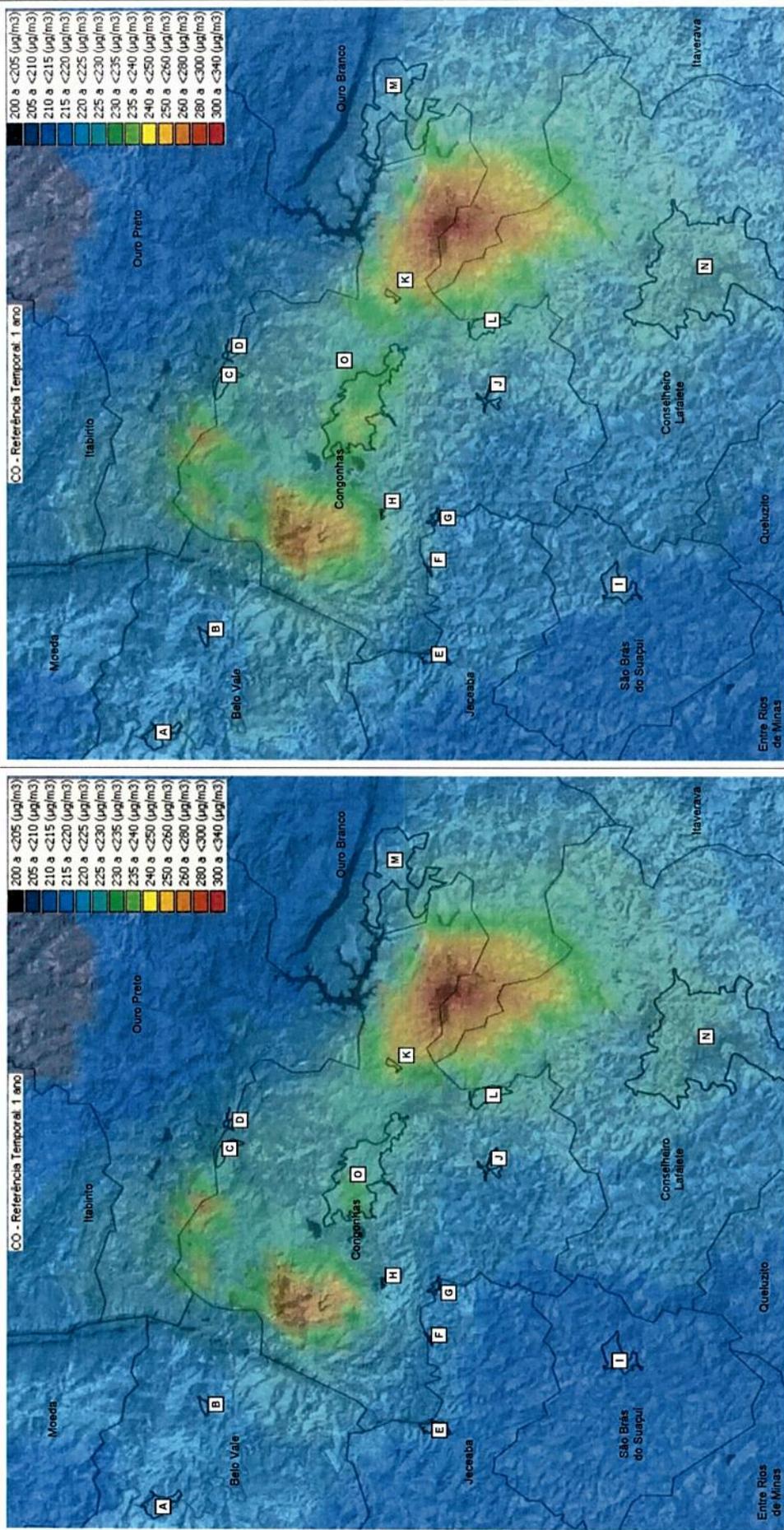


Figura 4.5.3 — Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de Monóxido de Carbono - Região de Congonhas, MG

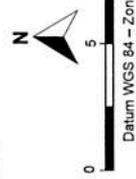


CENÁRIO DE REFERÊNCIA

CENÁRIO PROJETADO

Legenda:

- Ponto Receptor Discreto
- Limites dos Núcleos Urbanos
- Limites Municipais
- A Belo Vale
- B Boa Morte
- C Pires
- D Motas
- E Jezeaba
- F Caetano Lopes
- G Santa Quitéria
- H Bairro Plataforma
- I São Brás do Suaçuí
- J Alto Maranhão
- K Lobo Leite
- L Joaquim Murinho
- M Ouro Branco
- N Conselheiro Lafaiete
- O Congonhas



4.6 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂)

A Tabela 4.6.1 apresenta as concentrações de NO₂ máximas de 1 hora e as médias anuais avaliadas em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

Tabela 4.6.1 – Concentrações de NO₂ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Região de Congonhas

Local		Concentração (µg/m ³)			
		Cenário de Referência		Cenário Projetado	
		Máxima de 1 h	Média Anual	Máxima de 1 h	Média Anual
A	Belo Vale	70,3	10,7	80,7	12,9
B	Boa Morte	60,2	10,8	94,4	11,5
C	Pires	106,2	15,6	107,1	16,7
D	Motas	88,9	12,3	89,8	13,1
E	Jeceaba	69,0	11,6	125,4	14,9
F	Caetano Lopes	78,2	13,5	140,9	17,7
G	Santa Quitéria	78,7	13,1	126,1	17,3
H	Bairro Plataforma	99,2	17,8	127,5	23,7
I	São Brás do Suaçuí	90,0	9,4	90,3	12,4
J	Alto Maranhão	105,6	10,7	120,0	12,8
K	Lobo Leite	108,4	13,9	109,2	15,3
L	Joaquim Murtinho	129,2	12,4	129,3	14,6
M	Ouro Branco	113,6	10,3	114,4	11,2
N	Conselheiro Lafaiete	76,9	10,9	77,1	12,1
O	Congonhas - Setor 1	76,8	17,7	122,8	20,7
	Congonhas - Setor 2	94,8	16,5	108,8	19,5
	Congonhas - Setor 3	82,2	15,5	103,3	18,3
	Congonhas - Setor 4	82,9	14,5	97,9	16,8
	Congonhas - Setor 5	76,5	16	125,4	20,1
	Congonhas - Setor 6	106,3	15,2	106,9	18,8
	Congonhas - Setor 7	98,3	14,8	99,2	18,1
	Congonhas - Setor 8	83,3	14,3	96,7	17,1
	Congonhas - Setor 9	97,5	13,3	98,1	15,8
Padrão de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		320	100	320	100

As Figuras 4.6.1 e 4.6.2 apresentam, respectivamente, os cenários de qualidade do ar que contém as concentrações de NO₂ máximas de 1 hora e médias anuais. Em ambas as figuras apresentadas podem ser verificadas as concentrações de NO₂ calculadas para os cenários de referência e projetado.

Figura 4.6.1 — Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 hora de Dióxido de Nitrogênio - Região de Congonhas, MG

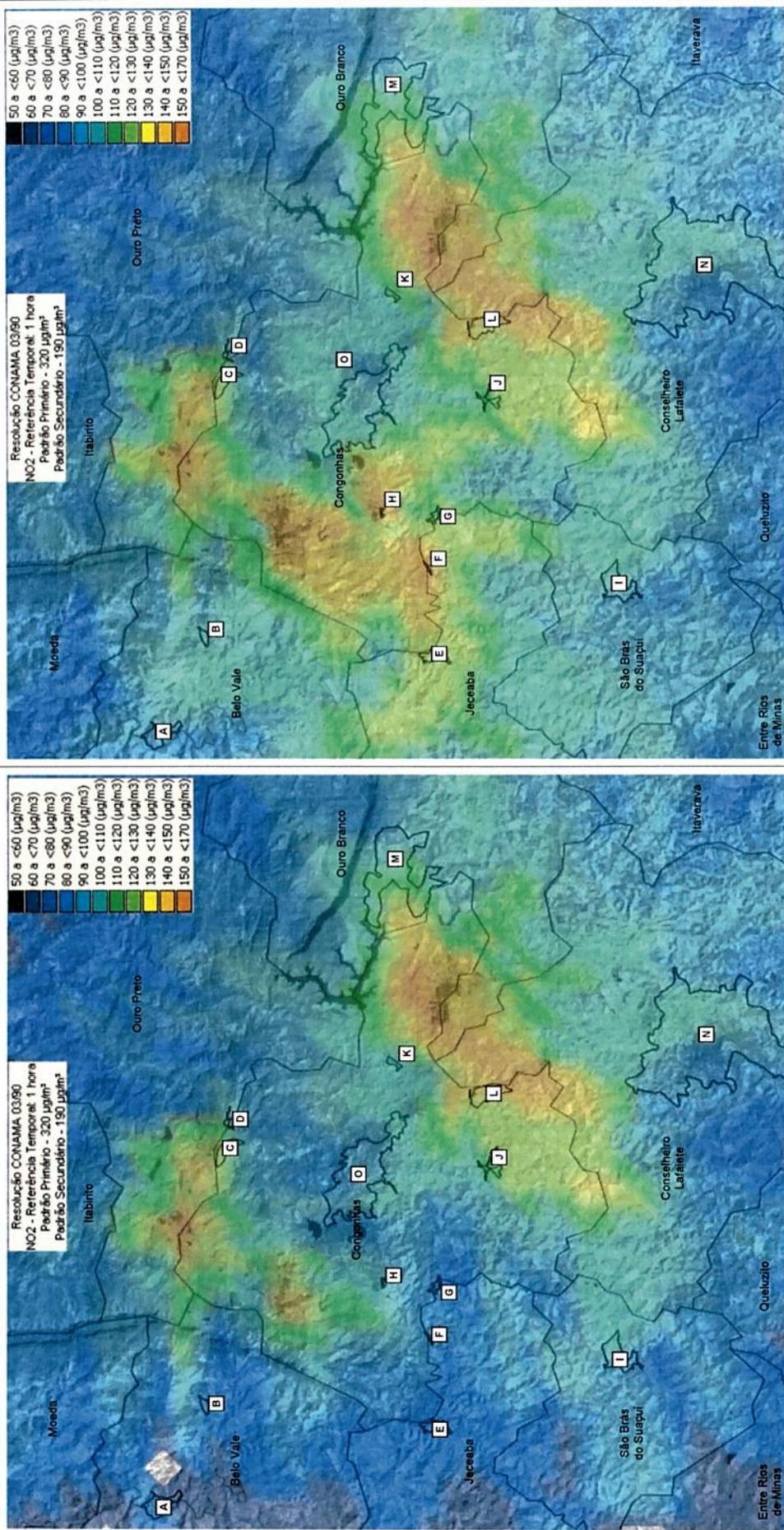
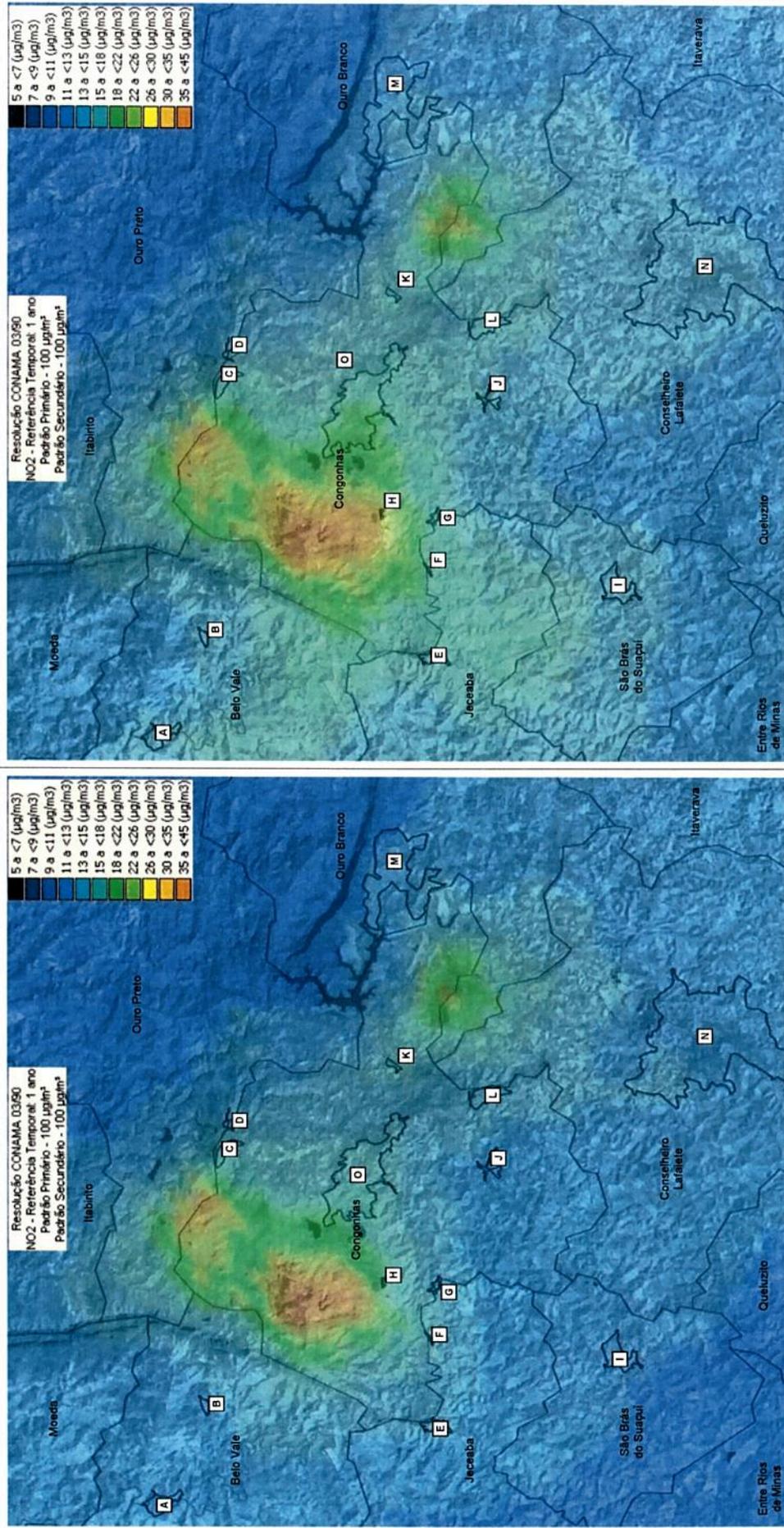


Figura 4.6.2 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de Dióxido de Nitrogênio - Região de Congonhas, MG



As principais conclusões acerca das concentrações de NO₂ calculadas com a aplicação do modelo CMAQ são descritas a seguir:

- Magnitude das Concentrações: as concentrações de NO₂ analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam moderada magnitude. Os níveis de NO₂ obtidos com a simulação CMAQ são similares em ambos os cenários de desenvolvimento analisados (de referência e projetado). Os níveis de NO₂ analisados foram identificados com valores sempre inferiores a 50% da concentração limite estipulada pelo padrão primário de qualidade do ar (PQAr).

No cenário de referência são identificados nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 1 hora) que variam desde 60,2 µg/m³ (19% do PQAr), em Boa Morte, até 129,2 µg/m³ (40% do PQAr), em Joaquim Murtinho. Para as médias de longo período (média anual) a faixa de concentrações analisadas vai de 9,4 µg/m³ (9% do PQAr), em São Brás do Suaçuí, até 17,8 µg/m³ (18% do PQAr), no Bairro Plataforma.

No cenário projetado são identificados nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 1 hora) que variam desde 77,1 µg/m³ (24% do PQAr), em Conselheiro Lafaiete, até 140,9 µg/m³ (44% do PQAr), em Caetano Lopes. Para as médias de longo período (média anual) a faixa de concentrações analisadas parte de 11,2 µg/m³ (11% do PQAr), em Ouro Branco, alcançando até 23,7 µg/m³ (24% do PQAr), no Bairro Plataforma.

No caso do NO₂ identifica-se que os níveis relativamente mais elevados² de concentrações ocorrem para as máximas médias de uma hora, ou seja, ocorrem no curto período.

- Evolução dos Níveis de NO₂ no Cenário Projetado: os incrementos de emissões de NO_x previstas com o cenário projetado resultam em incrementos de concentrações de NO₂ na área de estudo.

Nos pontos receptores analisados os incrementos de concentrações de NO₂ variam de 0 a 86%. Os maiores incrementos de concentrações estão associados aos impactos proporcionados (áreas de influência) pelos novos empreendimentos previstos no cenário projetado.

Os maiores incrementos de concentrações médias horárias de NO₂ são identificados para as localidades de Jeceaba, Santa Quitéria e Caetano Lopes, com incrementos superiores a 60% em relação aos níveis identificados no cenário de referência.

² Mais elevados quando comparados com os respectivos padrões de qualidade do ar.

4.7 OZÔNIO (O₃)

A Tabela 4.7.1 apresenta as concentrações de O₃ máximas de 1 hora e as médias anuais avaliadas em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

Tabela 4.7.1 – Concentrações de O₃ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Região de Congonhas

Local		Concentração (µg/m ³)			
		Cenário de Referência		Cenário Projetado	
		Máxima de 1 h	Média Anual	Máxima de 1 h	Média Anual
A	Belo Vale	134,7	60,5	144,9	58,5
B	Boa Morte	135,8	61,5	137,9	61,0
C	Pires	142,3	56,3	156,6	55,4
D	Motas	143,6	59,5	157,3	58,8
E	Jeceaba	183,9	59,3	171,5	56,5
F	Caetano Lopes	143,6	57,6	154,0	53,8
G	Santa Quitéria	141,7	58,1	156,1	54,3
H	Bairro Plataforma	140,9	54,0	148,8	48,8
I	São Brás do Suaçuí	143,7	61,0	150,4	58,4
J	Alto Maranhão	139,8	61,0	155,6	59,2
K	Lobo Leite	149,7	58,7	156,0	57,5
L	Joaquim Murtinho	140,8	59,1	148,1	57,2
M	Ouro Branco	152,0	60,7	152,2	59,9
N	Conselheiro Lafaiete	147,4	61,3	149,3	60,4
O	Congonhas - Setor 1	140,6	54,8	154,7	52,1
	Congonhas - Setor 2	155,4	55,9	157,2	53,3
	Congonhas - Setor 3	141,2	56,8	156,8	54,4
	Congonhas - Setor 4	142,3	57,8	157,3	55,8
	Congonhas - Setor 5	140,3	55,9	157,2	52,2
	Congonhas - Setor 6	139,7	56,8	156,7	53,6
	Congonhas - Setor 7	140,5	57,5	158,0	54,6
	Congonhas - Setor 8	140,0	58,0	157,6	55,5
	Congonhas - Setor 9	139,6	58,9	154,0	56,7
Padrão de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/1990)		160	NA	160	NA

Nota:

NA = não aplicável.

As Figuras 4.7.1 e 4.7.2 apresentam, respectivamente, os cenários de qualidade do ar que contém as concentrações de O₃ máximas de 1 hora e médias anuais. Em ambas as figuras apresentadas podem ser verificadas as concentrações de O₃ calculadas para os cenários de referência e projetado.

Figura 4.7.1 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 hora de Ozônio - Região de Congonhas, MG

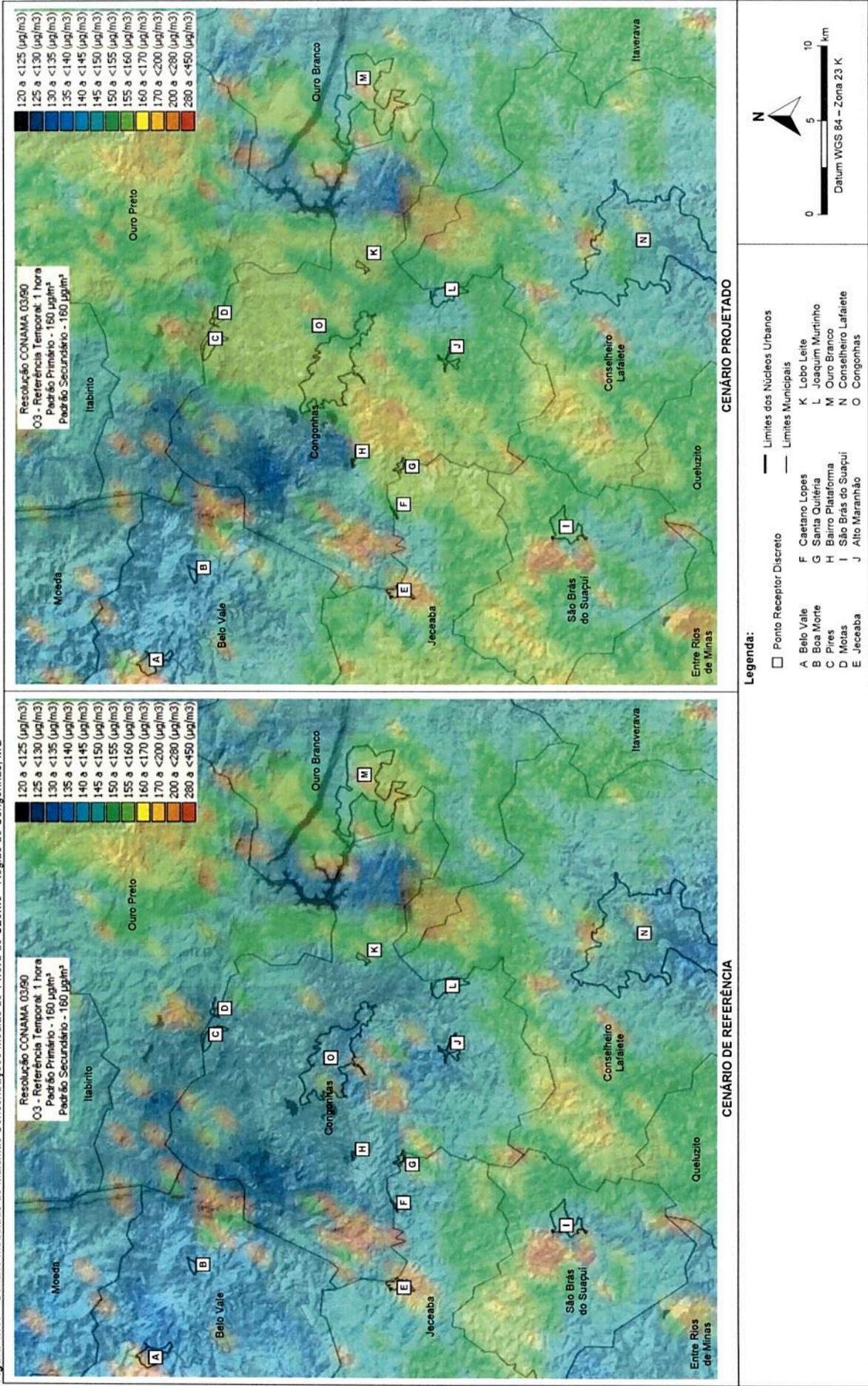
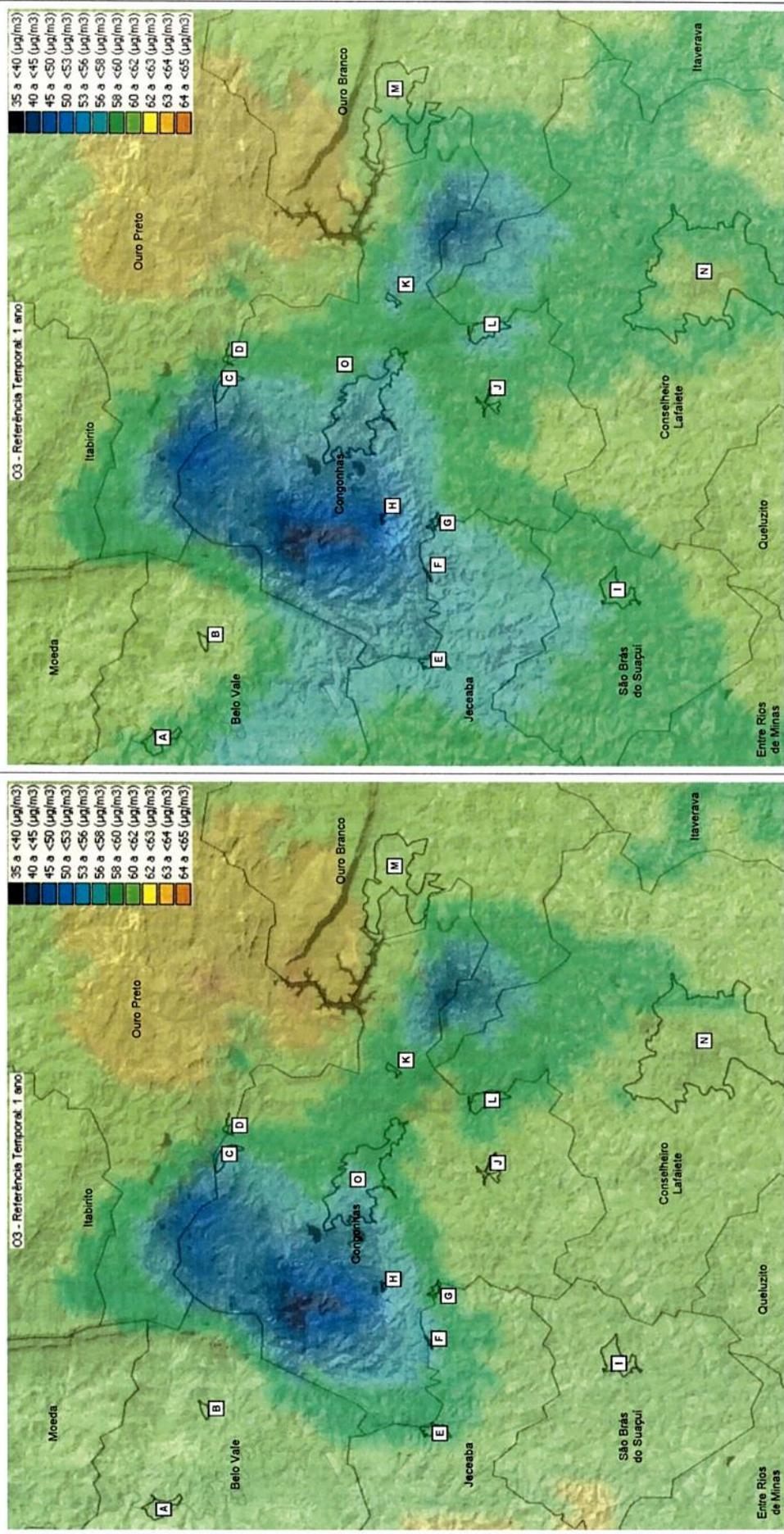


Figura 4.7.2 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de Ozônio - Região de Congonhas, MG



O ozônio (O_3) é um forte oxidante que, dependendo de sua concentração na atmosfera, pode causar danos à saúde humana, aos ecossistemas e aos materiais.

O O_3 é classificado como um poluente atmosférico secundário por não ser diretamente emitido pelas indústrias e veículos, sendo formado na baixa atmosfera (troposfera) por reações fotoquímicas de óxidos de nitrogênio (NO e NO_2 , referidos como NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV), na presença de luz solar. A relação entre O_3 , NO_x e COV é governada por uma complexa cadeia não linear de reações fotoquímicas.

A formação do O_3 foi inicialmente reconhecida como um problema de poluição atmosférica em Los Angeles, EUA, na metade do século 20. Atualmente, a poluição devido ao ozônio é um problema mundial e particularmente preocupante nas conurbações ou metrópoles, onde as emissões de poluentes precursores (COV e NO_x) é substancial.

O O_3 possui um considerável tempo de vida na atmosfera, podendo ser transportado para longas distâncias em relação às regiões onde foram emitidos seus precursores. A remoção do ozônio da troposfera ocorre por processos via fotólise, reação com radicais HO_x e através de deposição na superfície da Terra.

As maiores e mais comuns fontes dos poluentes precursores de O_3 (NO_x e VOC) são o tráfego de veículos e os processos industriais (combustão e evaporativos). A quantidade de O_3 formado depende da intensidade de luz solar, da concentração e da proporção $[VOC]/[NO_x]$ no ar ambiente. Segundo Monks et al. (2007), valores desta relação entre 4 e 10 são favoráveis para a formação de ozônio sob condições adequadas de radiação solar. No centro das conurbações e próximo às fontes emissoras, as concentrações de NO_x são em geral mais elevadas e portanto, pouco ozônio normalmente é formado; e parte do ozônio formado é consumido pelo NO emitido nas proximidades. Entretanto, quando a massa de ar se desloca e se afasta das regiões mais ricas em NO_x , ampliam-se as chances de formação de O_3 .

Devido às características de sua formação, as maiores concentrações de O_3 usualmente não ocorrem nos locais onde intuitivamente seriam esperadas, nos centros das cidades, áreas industriais, ou seja, próximo às maiores fontes emissoras de poluentes. As maiores concentrações de ozônio em geral são verificadas em subúrbios, áreas rurais e/ou áreas menos habitadas na periferia e a sotavento das grandes cidades. Este é um exemplo prático do efeito da não-linearidade do processo de formação do O_3 e sua remoção, que juntamente com seu transporte atmosférico, torna a compreensão da ocorrência de ozônio um problema extremamente complexo (Monks et al., 2007).

As principais conclusões acerca das concentrações de O_3 calculadas com a aplicação do modelo CMAQ são descritas a seguir:

- **Magnitude das Concentrações:** as concentrações de O_3 analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam elevada magnitude, inclusive com a identificação da potencialidade de extrapolação dos padrões de qualidade do ar (CONAMA, 1990) em locais específicos da área de estudo. Os níveis de O_3 obtidos com a simulação CMAQ são similares em ambos os cenários de desenvolvimento analisados (de referência e projetado). Os níveis de O_3 analisados nos pontos receptores discretos foram identificados com valores de pelo menos 80% da concentração limite estipulada pelo padrão de qualidade do ar.

No cenário de referência são identificados, nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 1 hora) que variam desde

134,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (84% do PQAr), em Belo Vale, até 183,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (115% do PQAr), em Jeceaba.

No cenário projetado são identificados, nos pontos receptores analisados, concentrações de curto período (máximas médias de 1 hora) que variam desde 137,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (86% do PQAr), em Boa Morte, até 171,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (107% do PQAr), em Jeceaba.

- *Evolução dos Níveis de O_3 no Cenário Projetado*: por se tratar de um poluente secundário, formado por reações fotoquímicas na atmosfera, a partir dos poluentes precursores (NO_x e COV) a evolução das concentrações de O_3 calculadas entre o cenário de referência e o cenário projetado, não se manifesta de forma linear. No caso do ozônio, conforme descrito, as concentrações são o resultado de uma complexa cadeia de reações fotoquímicas e a sua formação ou consumo depende de diversas variáveis.

Assim, diferentemente dos demais poluentes primários, o incremento das emissões dos poluentes precursores não implica diretamente no incremento de concentrações de O_3 na área de estudo.

Em geral, as magnitudes de concentrações de O_3 apresentadas no cenário projetado são similares em magnitude às observadas no cenário de referência.

4.8 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)

A Tabela 4.8.1 apresenta as concentrações de COV máximas médias de 1 hora e as médias anuais avaliadas em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

Tabela 4.8.1 – Concentrações de COV Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Região de Congonhas

Local		Concentração (ppm)			
		Cenário de Referência		Cenário Projetado	
		Máxima de 1 h	Média Anual	Máxima de 1 h	Média Anual
A	Belo Vale	0,2	0,1	0,1	0,1
B	Boa Morte	0,1	0,1	0,1	0,1
C	Pires	0,1	0,1	0,1	0,1
D	Motas	0,2	0,1	0,1	0,1
E	Jeceaba	0,2	0,1	0,1	0,1
F	Caetano Lopes	0,2	0,1	0,1	0,1
G	Santa Quitéria	0,2	0,1	0,1	0,1
H	Bairro Plataforma	0,2	0,1	0,1	0,1
I	São Brás do Suaçuí	0,2	0,1	0,1	0,1
J	Alto Maranhão	0,2	0,1	0,2	0,1
K	Lobo Leite	0,4	0,1	0,3	0,1
L	Joaquim Murtinho	0,3	0,1	0,2	0,1
M	Ouro Branco	0,2	0,1	0,2	0,1
N	Conselheiro Lafaiete	0,2	0,1	0,2	0,1
O	Congonhas - Setor 1	0,2	0,1	0,2	0,1
	Congonhas - Setor 2	0,2	0,1	0,2	0,1
	Congonhas - Setor 3	0,2	0,1	0,2	0,1
	Congonhas - Setor 4	0,2	0,1	0,2	0,1
	Congonhas - Setor 5	0,2	0,1	0,1	0,1
	Congonhas - Setor 6	0,2	0,1	0,2	0,1
	Congonhas - Setor 7	0,2	0,1	0,2	0,1
	Congonhas - Setor 8	0,2	0,1	0,2	0,1
	Congonhas - Setor 9	0,2	0,1	0,2	0,1

As Figuras 4.8.1 e 4.8.2 apresentam, respectivamente, os cenários de qualidade do ar que contém as concentrações de COV máximas de 1 hora e médias anuais. Em ambas as figuras apresentadas podem ser verificadas as concentrações de COV calculadas para os cenários de referência e projetado.

As concentrações de COV analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam baixa magnitude. As máximas concentrações observadas são sempre inferiores a 0,2 ppm.

A Resolução CONAMA 03/1990 não estabelece padrões de qualidade do ar para os compostos orgânicos voláteis.

Figura 4.8.1 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 hora de Compostos Orgânicos Voláteis - Região de Congonhas, MG

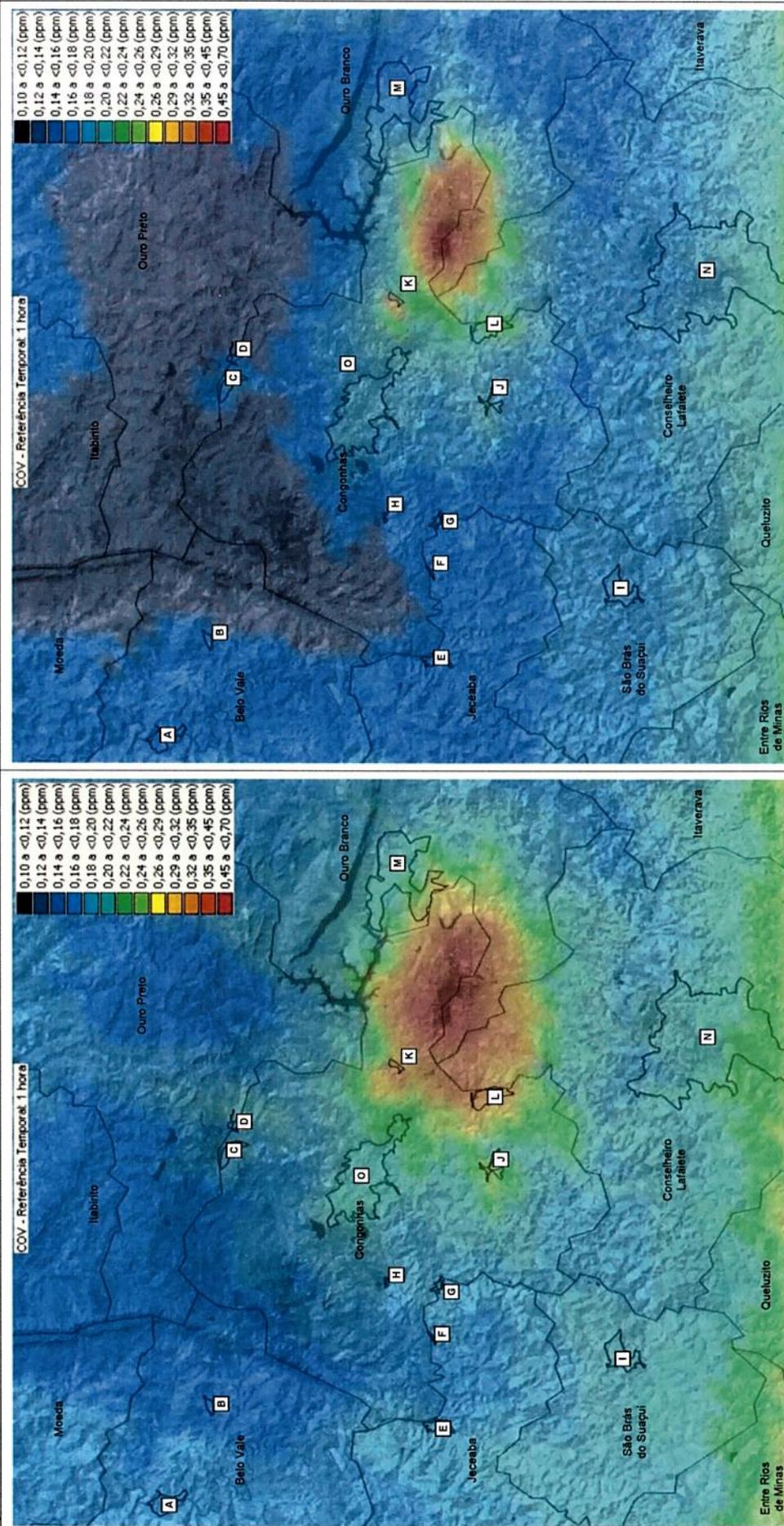
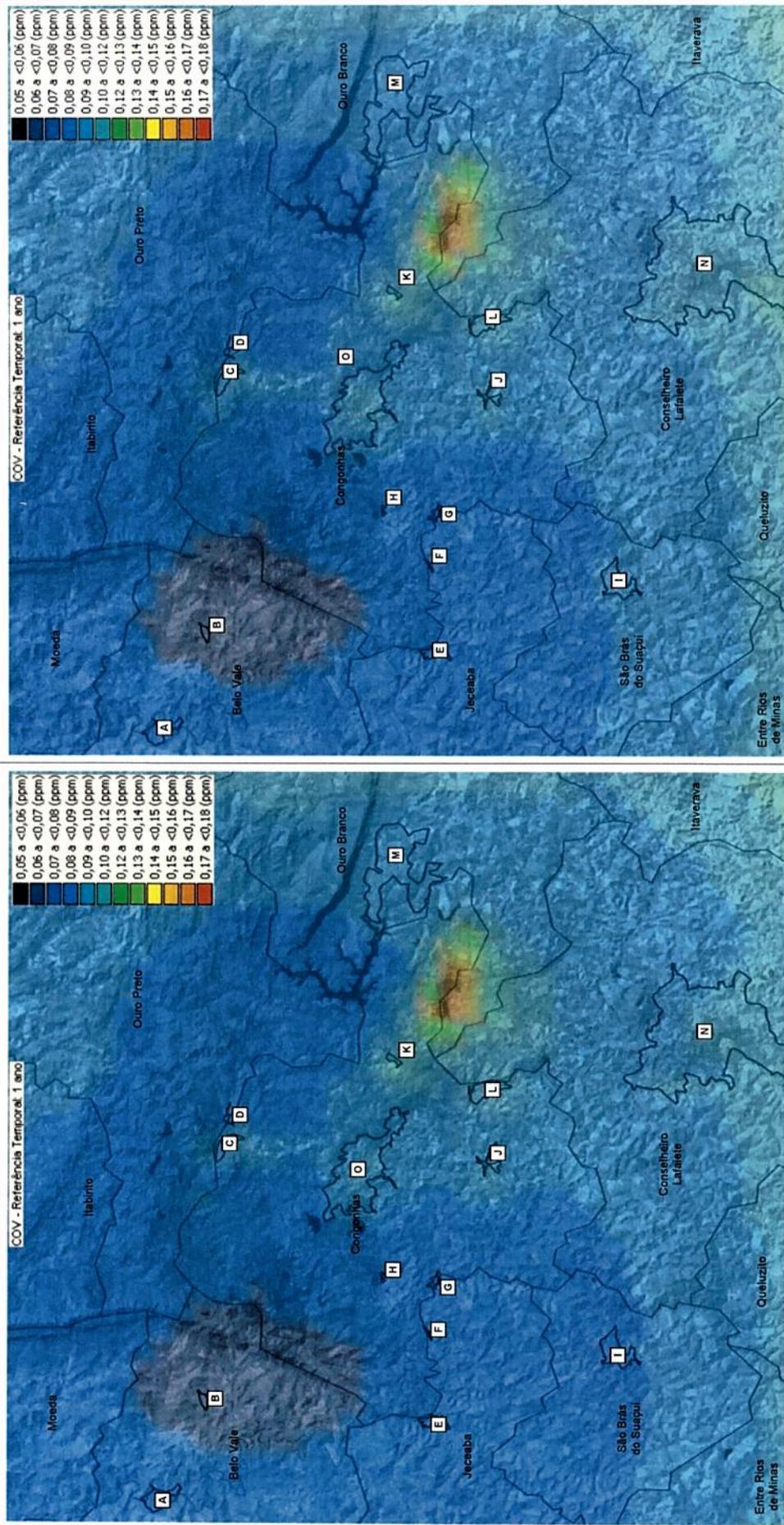


Figura 4.8.2 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de Compostos Orgânicos Voláteis – Região de Congonhas, MG



4.9 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS ATIVIDADES INVENTARIADAS PARA A ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA ÁREA DE ESTUDO

Nas seções anteriores foram apresentados os efeitos sinérgicos (conjuntos) das emissões atmosféricas das atividades inventariadas neste estudo. Dentre os poluentes analisados, destaca-se o material particulado, que é emitido em larga escala pelas atividades inventariadas, causando impactos atmosféricos traduzidos como concentrações de PTS e PI na área de estudo.

A percepção ambiental da população de Região de Congonhas indica os poluentes da classe das partículas como os que causam os maiores incômodos. Esta percepção intuitiva é corroborada pelos resultados apresentados com o auxílio do modelo CMAQ, que indicam níveis de PTS e PI de elevada magnitude, inclusive com a potencialidade de extrapolação do padrão primário de qualidade do ar em locais específicos da área de estudo.

Nas seções anteriores os resultados de concentrações de poluentes foram analisados considerando o efeito global das emissões atmosféricas inventariadas. Nesta seção, por sua vez, objetiva-se apresentar a contribuição relativa das atividades inventariadas, para a alteração da qualidade do ar da região de Congonhas, traduzida em termos das concentrações de PTS acarretadas por cada atividade específica (ou grupo de empresas).

O poluente PTS foi escolhido como indicador para esta análise por estar diretamente relacionado aos principais eventos de alteração da qualidade do ar da área de estudo (analisados sob condições crônicas e agudas).

O cômputo das concentrações de PTS foi realizado com a aplicação do modelo CMAQ, da mesma forma como utilizado para produzir os cenários de efeitos sinérgicos de todas as fontes emissoras em conjunto e considerando o cenário projetado.

Os cenários de qualidade do ar resultantes desta modelagem da qualidade do ar representam então a *Contribuição Incremental* de cada atividade inventariada para a alteração da qualidade do ar da área de estudo, calculada em termos das concentrações de Partículas Totais em Suspensão.

A Tabela 4.9.1 apresenta os incrementos de concentrações médios anuais de PTS proporcionados pelas atividades inventariadas em cada ponto receptor discreto selecionado na área de estudo. Os cenários de Contribuição Incremental de PTS decorrentes das atividades emissoras de poluentes inventariadas neste estudo são apresentados nas Figuras 4.9.1 a 4.9.11.

Tabela 4.9.1 – Contribuições Incrementais Médias Anuais de PTS das Atividades Emissoras Inventariadas Analisadas nos Pontos Receptores Discretos – Concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ponto Receptor	CSN - Casa de Pedra	Emissões Urbanas	Ferro +	Ferrous	Gerdau - Açominas	Gerdau - Miguel Burnier	Namisa ^b	Nogueira Duarte e Polaris	Vale - Complexo Fábrica	VSB	Outras Atividades ^a
A Belo Vale	3,5	3,6	<0,1	0,6	0,5	<0,1	0,7	0,1	1,5	<0,1	<0,1
B Boa Morte	4,3	0,3	<0,1	0,2	0,4	<0,1	0,6	<0,1	4,4	<0,1	<0,1
C Pires	1,9	2,2	1,2	0,3	1,5	0,6	5,2	<0,1	36,6	<0,1	1,1
D Motas	1,4	1,1	0,4	0,3	1,4	1,2	2,3	<0,1	11,2	<0,1	0,9
E Jeceaba	5,1	5,1	0,1	2,3	0,4	<0,1	1,9	0,1	3,4	<0,1	<0,1
F Caetano Lopes	9,5	0,9	0,3	4,5	0,6	0,1	4,4	0,2	7,0	0,2	0,1
G Santa Quitéria	8,1	1,2	0,3	3,3	0,7	0,2	5,2	0,2	8,3	0,1	0,2
H Bairro Plataforma	19,8	1,2	0,3	11,3	1,0	0,2	7,8	0,3	9,9	0,1	0,2
I São Brás do Suaçuí	1,2	2,1	0,1	0,4	0,4	0,2	1,0	<0,1	3,4	0,6	<0,1
J Alto Maranhão	2,0	3,0	0,1	0,7	1,0	0,5	1,0	<0,1	2,4	<0,1	0,6
K Lobo Leite	1,0	2,4	0,1	0,3	6,0	1,4	0,6	<0,1	2,4	<0,1	0,3
L Joaquim Murinho	1,3	4,2	<0,1	0,4	2,6	0,7	0,7	<0,1	1,6	<0,1	2,5
M Ouro Branco	0,3	6,3	<0,1	<0,1	0,8	0,2	0,2	<0,1	0,6	<0,1	<0,1
N Conselheiro Lafaete	0,3	5,7	<0,1	0,2	1,5	0,2	0,2	<0,1	0,6	<0,1	0,1
O Congonhas – Setor 1	11,0	9,8	0,8	3,1	1,7	0,3	8,8	0,1	13,1	<0,1	0,3
Congonhas – Setor 2	6,8	15,3	0,7	2,0	1,9	0,4	4,8	<0,1	10,8	<0,1	0,3
Congonhas – Setor 3	4,7	16,0	0,3	1,4	2,2	0,6	3,2	<0,1	8,7	<0,1	0,4
Congonhas – Setor 4	3,4	12,2	0,2	1,0	2,5	0,6	2,3	<0,1	6,5	<0,1	0,5
Congonhas – Setor 5	9,3	7,6	0,6	2,7	1,6	0,3	5,7	0,1	10,9	<0,1	0,3
Congonhas – Setor 6	6,0	7,6	0,5	1,8	1,8	0,4	3,8	<0,1	8,9	<0,1	0,4
Congonhas – Setor 7	4,3	13,9	0,3	1,3	1,8	0,6	2,8	<0,1	7,1	<0,1	0,4
Congonhas – Setor 8	3,2	12,9	0,2	0,9	2,5	0,8	2,1	<0,1	5,4	<0,1	0,5
Congonhas – Setor 9	2,3	10,0	0,1	0,7	2,7	1,0	1,5	<0,1	3,5	<0,1	0,4
Total	110,7	144,6	6,9	39,8	37,5	10,6	66,8	2,0	168,2	1,7	9,7

Notas:

a. Central Betom, Concretomix, Global, LGA, LS Metais, MPC, MRS, Monteminas e Precai;

b. inclui a atividade de Pelotização.

Figura 4.9.2 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões das Emissões Urbanas para a Alteração da Qualidade do Ar

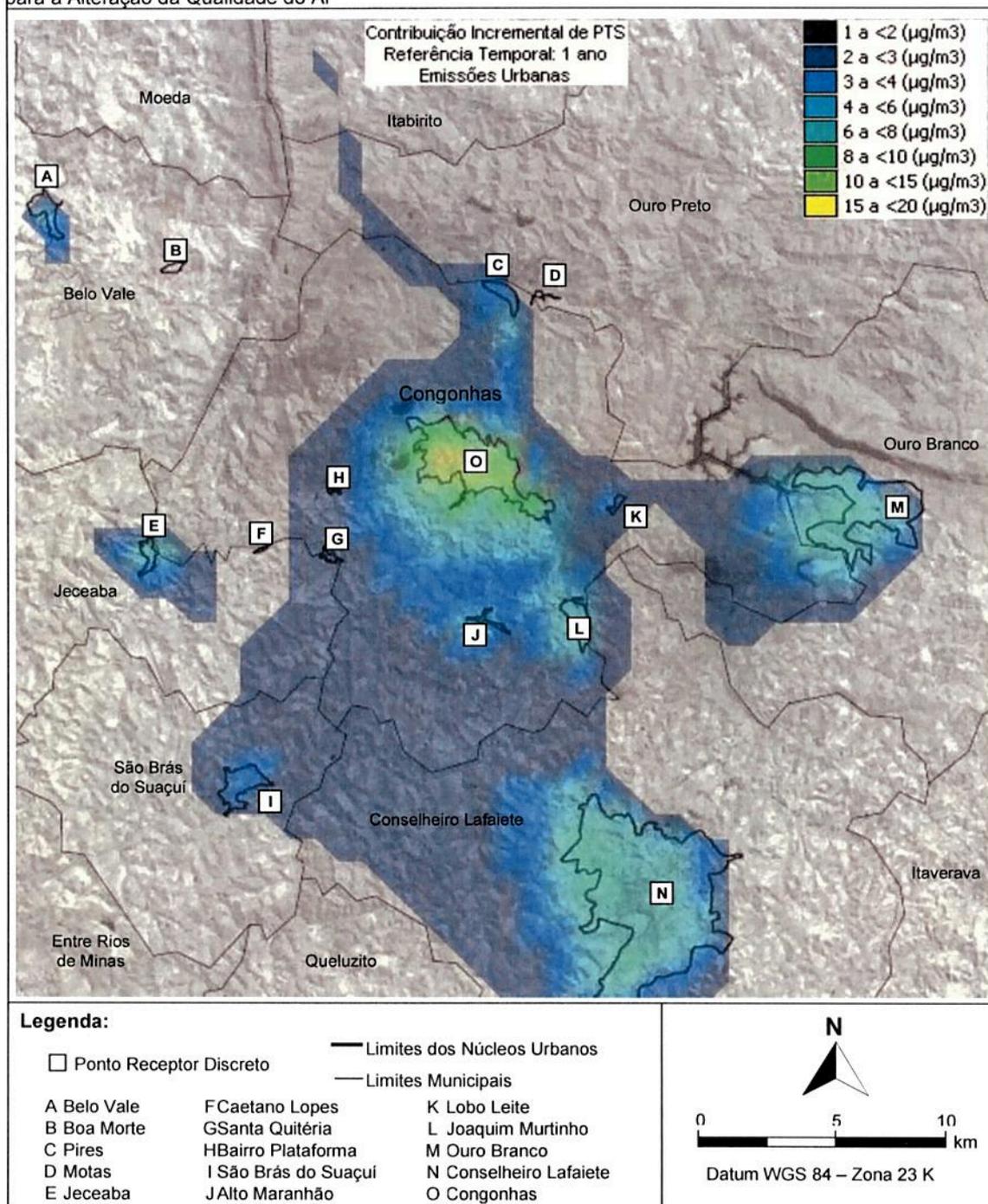


Figura 4.9.3 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da Ferro + para a Alteração da Qualidade do Ar

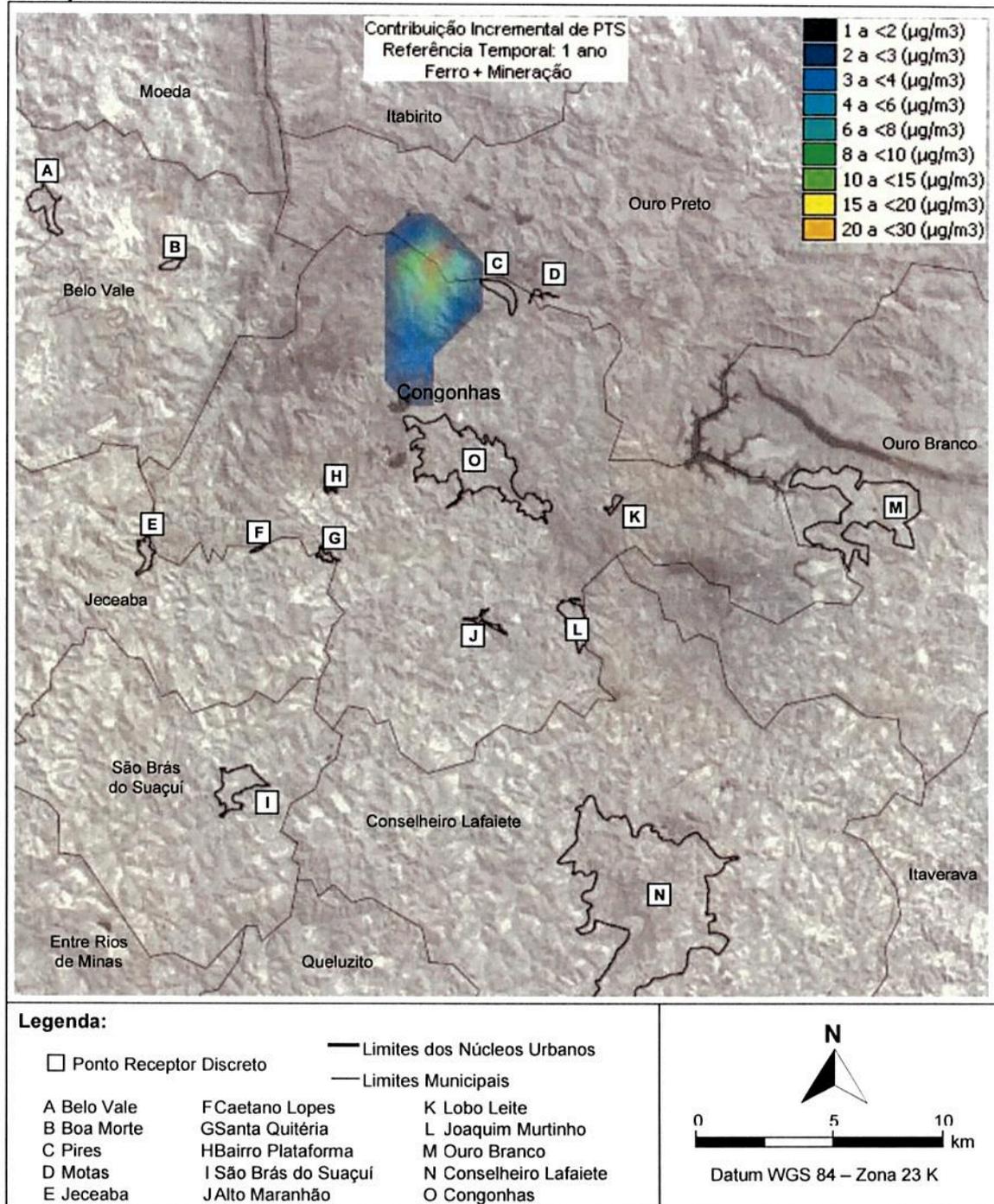


Figura 4.9.4 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da Ferrous para a Alteração da Qualidade do Ar

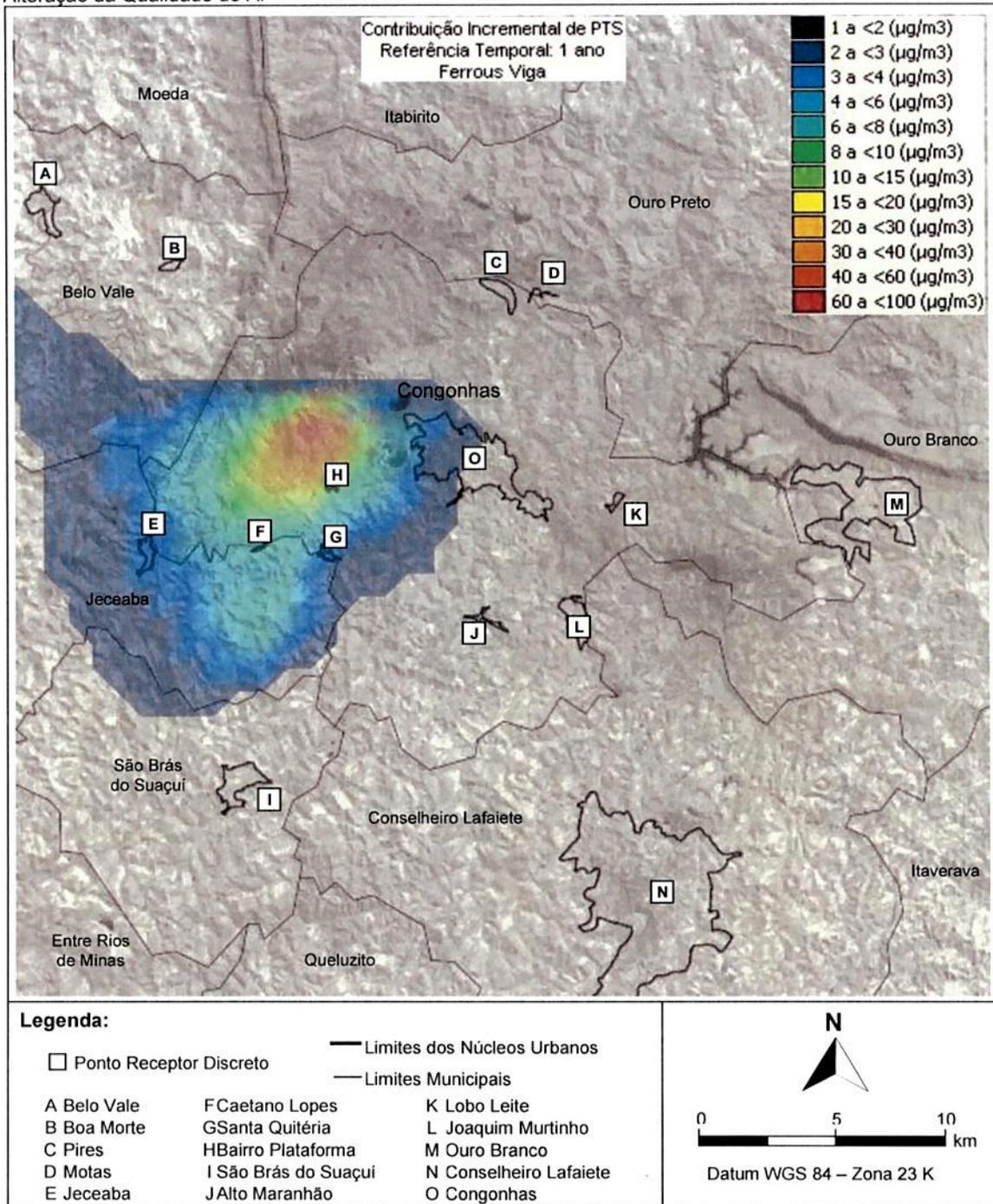


Figura 4.9.5 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da Gerdau – Açominas para a Alteração da Qualidade do Ar

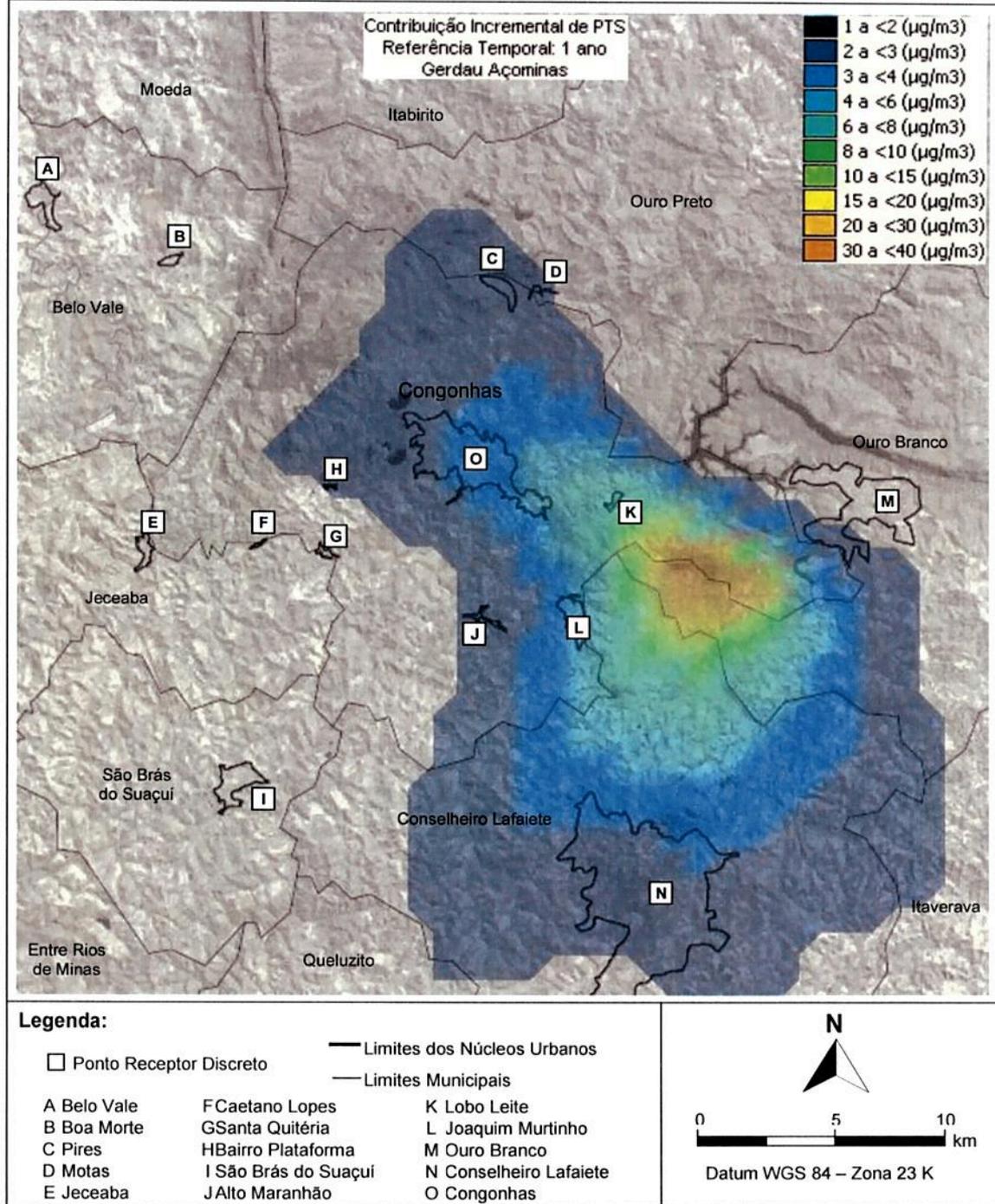


Figura 4.9.6 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da Gerdau - Miguel Burnier para a Alteração da Qualidade do Ar

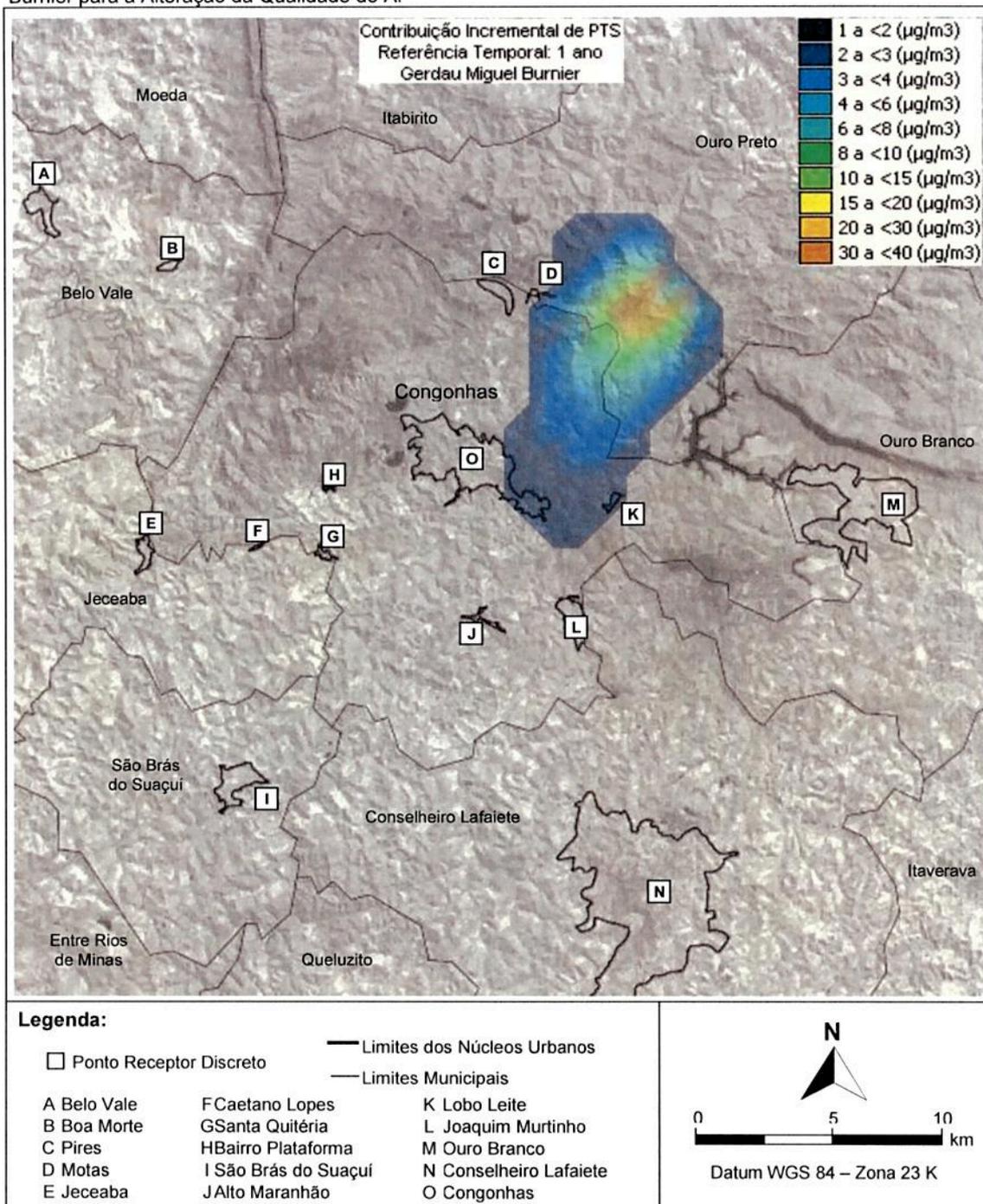


Figura 4.9.7 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da Namisa para a Alteração da Qualidade do Ar

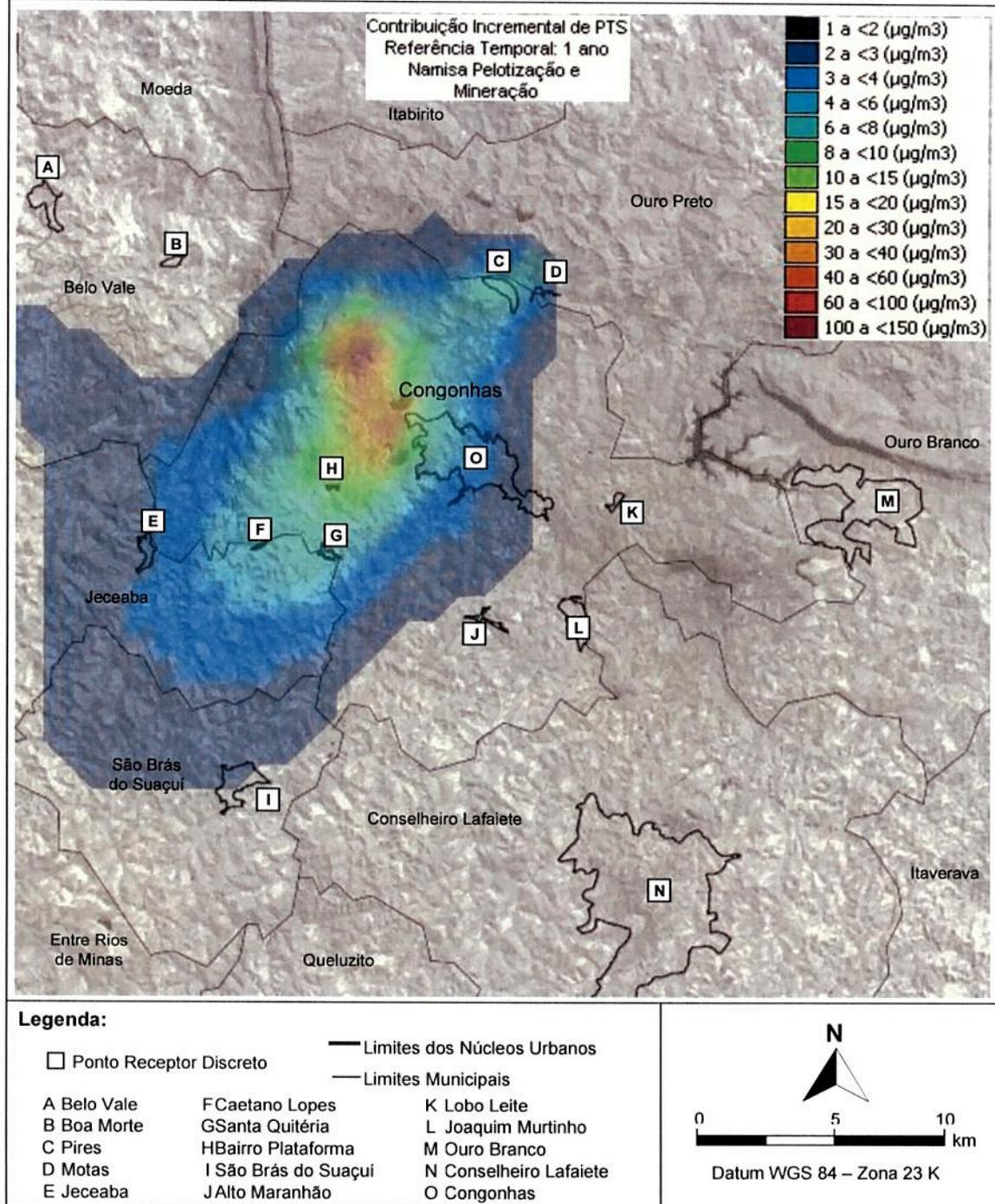


Figura 4.9.8 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da Nogueira Duarte e Polaris para a Alteração da Qualidade do Ar

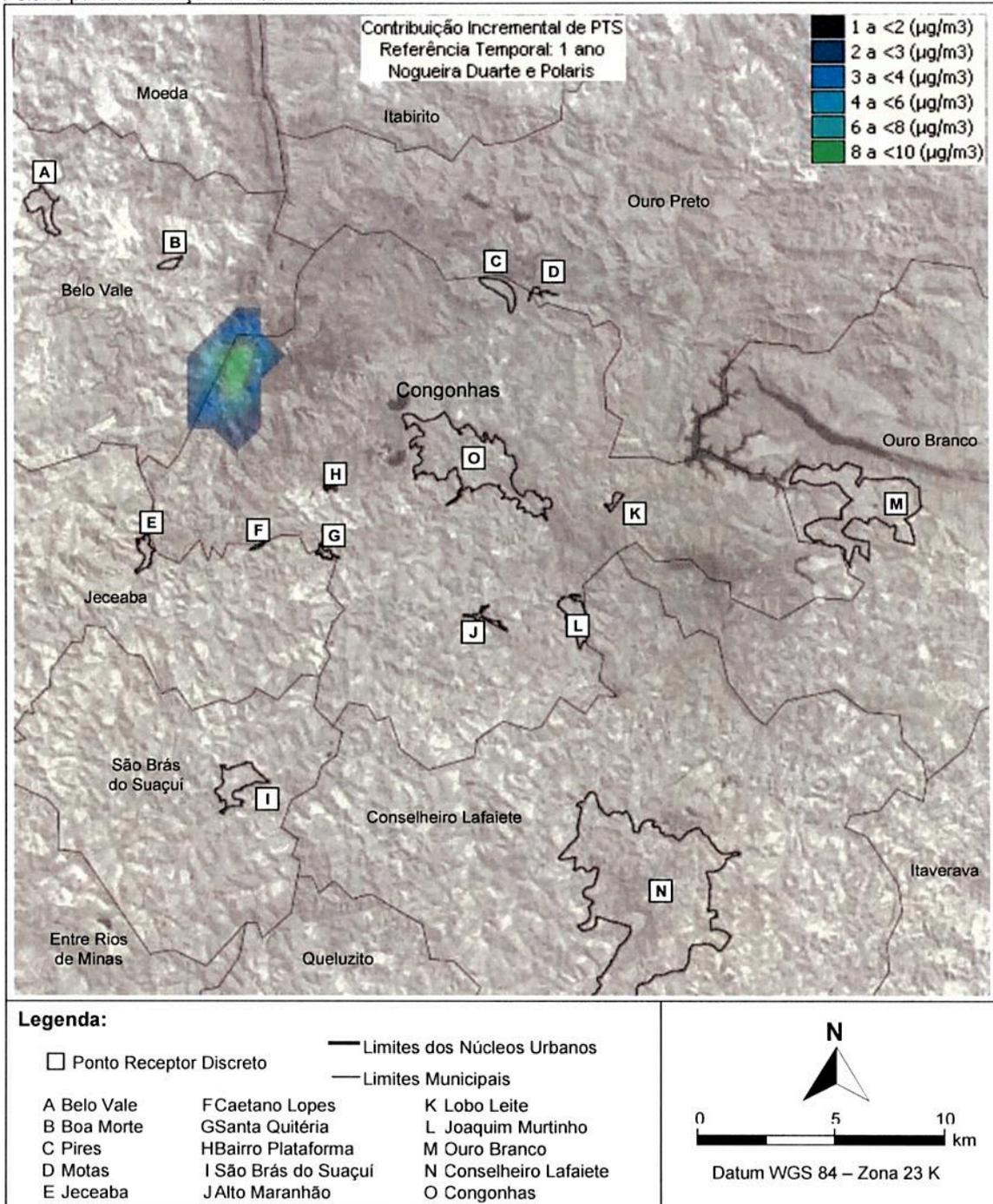


Figura 4.9.9 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da Vale - Complexo Fábrica para a Alteração da Qualidade do Ar

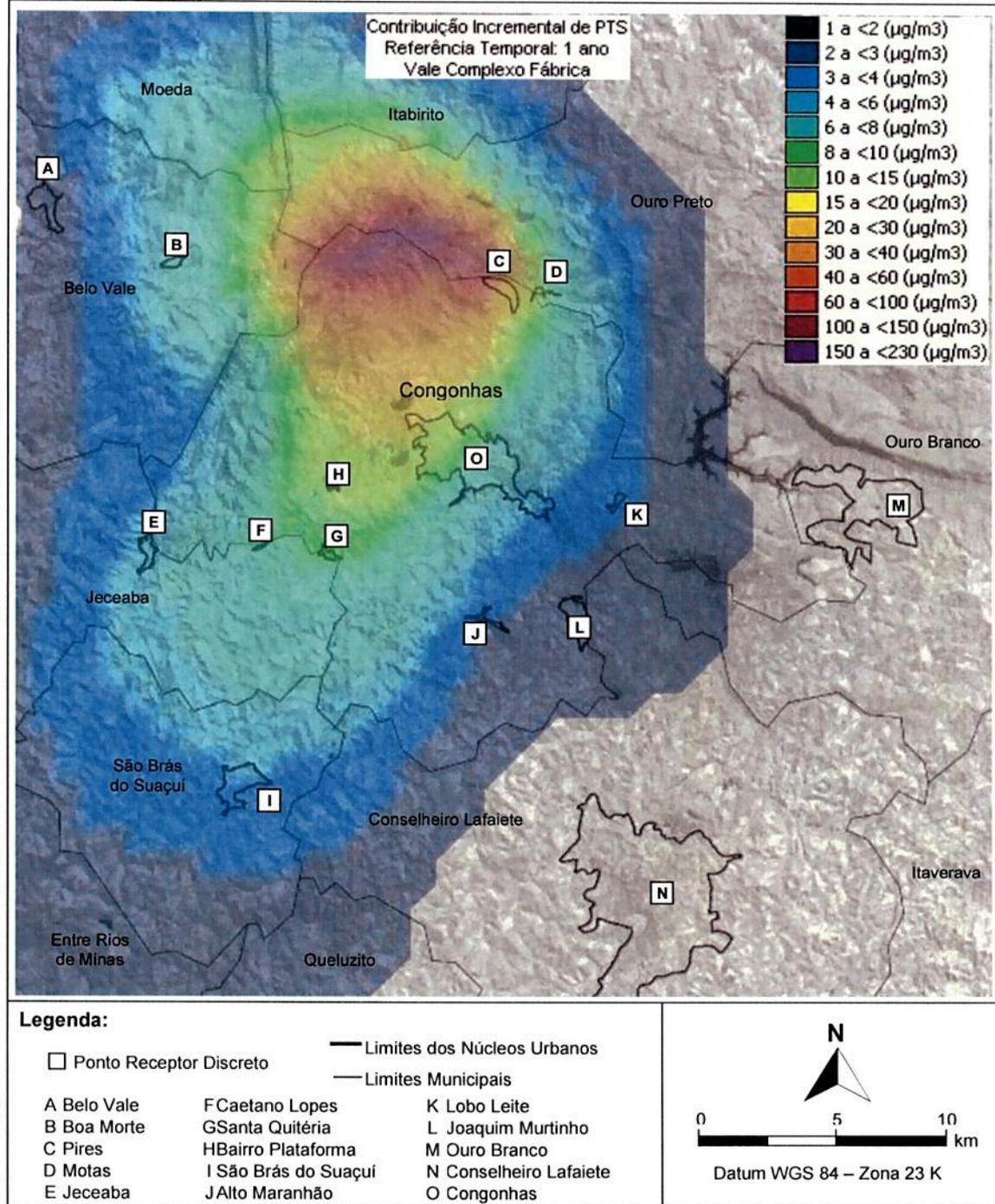


Figura 4.9.10 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões da VSB para a Alteração da Qualidade do Ar

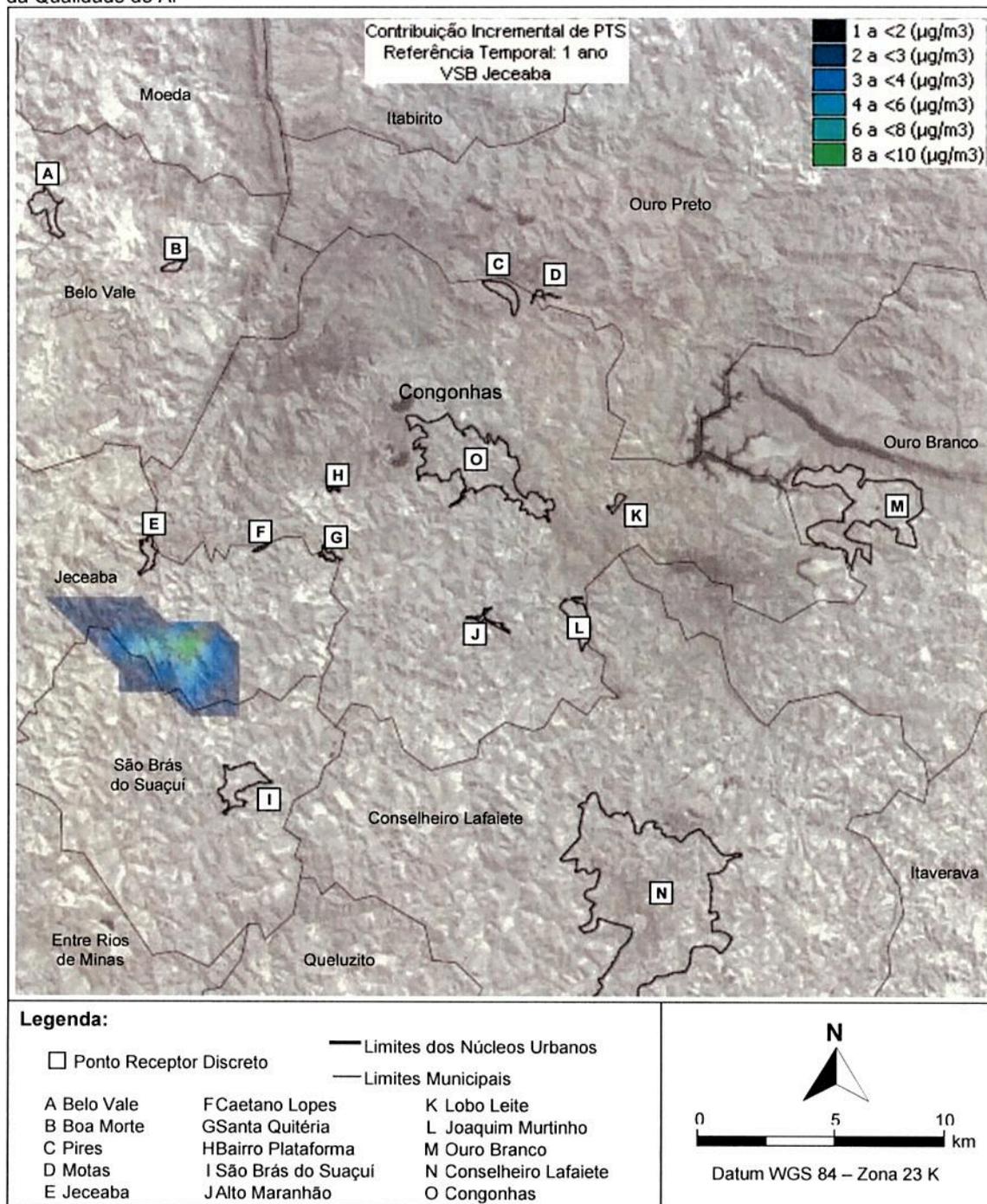
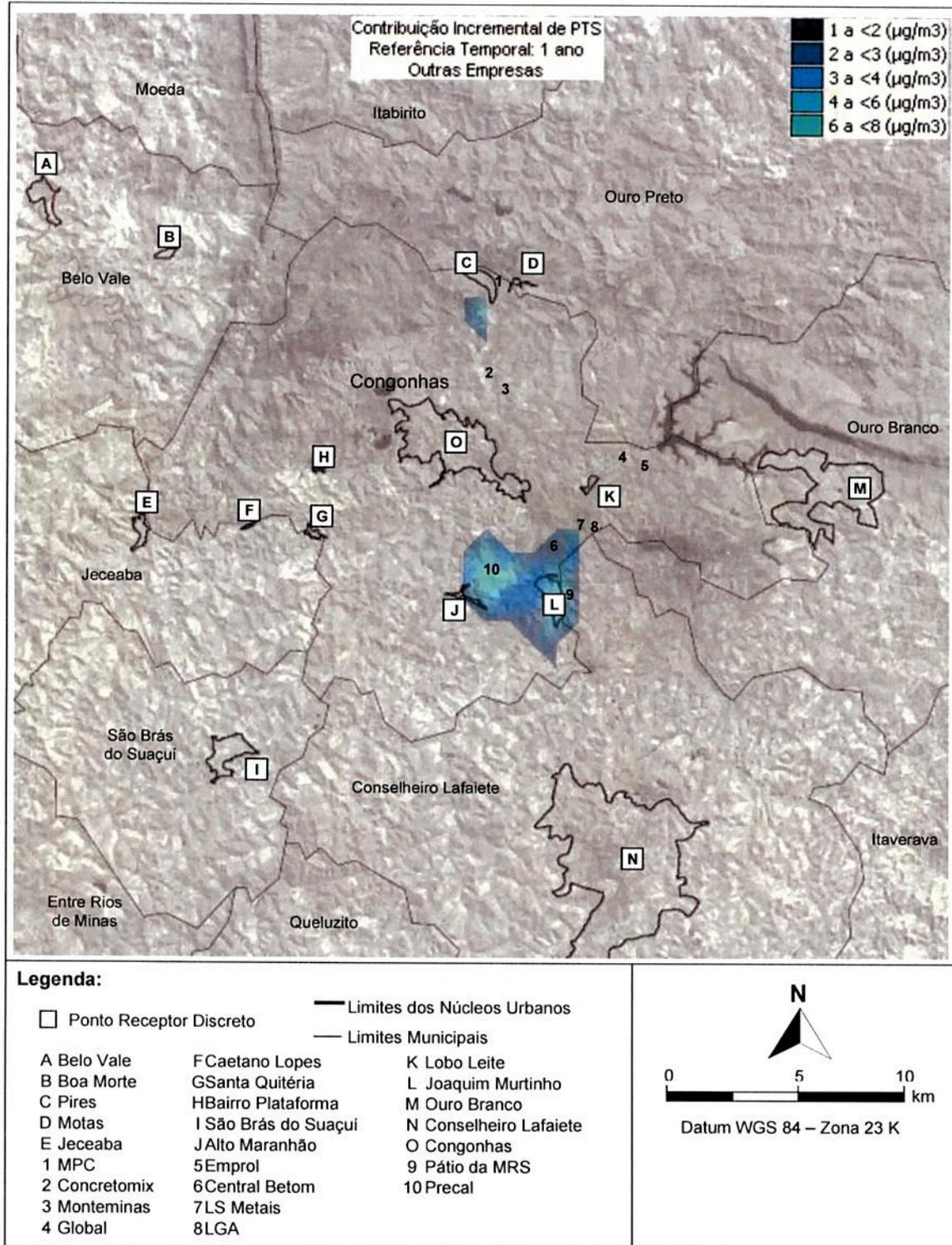


Figura 4.9.11 – Contribuição Incremental Média Anual de PTS – Efeito das Emissões de Outras Atividades: Central Betom, Concretomix, Global, LGA, LS Metais, MPC, MRS, Monteminas e Precal para a Alteração da Qualidade do Ar



Os efeitos das emissões inventariadas manifestam-se de diferentes formas nos diferentes pontos receptores analisados, com distintas magnitudes de concentrações.

Cada empreendimento (ou atividade emissora) possui sua própria área de influência direta, como pode ser observado nos cenários de qualidade do ar apresentados. Naturalmente, os receptores inseridos nas respectivas áreas de influência direta (AID) recebem os maiores efeitos das emissões de cada atividade emissora inventariada.

Observa-se ainda que alguns pontos receptores estão contidos em mais de uma AID passando então pelo efeito sinérgico e cumulativo das emissões de diferentes atividades emissoras.

Outro fator importante a ser destacado é que a contribuição relativa das emissões inventariadas não depende somente das quantidades de poluentes emitidas, mas sim de todo um arcabouço de características que descrevem as emissões e sua dispersão na atmosfera, conforme já informado anteriormente.

Em especial, identifica-se que as emissões urbanas (menores em quantidades em relação às emissões industriais) exercem uma importante parcela de contribuição para a alteração da qualidade do ar nos pontos receptores analisados. Esta importância relativa das emissões atmosféricas urbanas relaciona-se ao fato de sua localização geográfica coincidir com os principais pontos receptores discretos (localizados em áreas urbanas), ou seja, com a maior proximidade são identificados maiores efeitos.

5. DIMENSIONAMENTO DA REDE OTIMIZADA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA

5.1 METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO EMPREGADA NO PROJETO DA REDE OTIMIZADA

O monitoramento do grau de exposição de uma população à poluição atmosférica deve ser realizado através de uma rede de medição projetada para tal fim, garantindo a representatividade dos resultados e o conhecimento da área de cobertura e eficiência da rede.

A metodologia utilizada para o dimensionamento da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da Região de Congonhas-MG (ROMQAM/Congonhas) utiliza um modelo matemático aderente à região de estudo para a geração de cenários representativos de qualidade do ar, a partir do inventário de emissões atmosféricas e de cenários meteorológicos característicos.

A partir dos cenários de qualidade do ar gerados para cada parâmetro (cenários de concentrações médias anuais), são definidas as áreas mais frequentemente impactadas, associadas aos locais com maior interesse para o monitoramento, como as áreas habitadas, gerando-se as Figuras de Mérito (FOM).

A estrutura de covariância espacial dos cenários de qualidade do ar é usada na delimitação das áreas de influência ao redor de cada estação, denominadas de Esferas de Influência (SOI). A esfera de influência de cada estação é determinada separadamente para cada parâmetro a ser monitorado, considerando-se uma eficiência de cobertura pré-definida para a rede de medição que se deseja construir.

No presente estudo, foram simulados cenários de concentrações médias horárias de cada parâmetro de interesse, totalizando 61.320 (8.760 horas x 1 ano x 7 parâmetros) cenários para o intervalo modelado, constituindo-se numa base estatisticamente consistente e representativa para o projeto pretendido.

A metodologia de projeto da rede adotada requer um prévio levantamento de campo de locais candidatos a sediarem uma estação de monitoramento, possibilitando a escolha de sítios de medição dotados de condições de infraestrutura, segurança, circulação atmosférica e afastamento de interferências locais, garantindo a maior representatividade possível para a rede de monitoramento.

A partir desse levantamento, as estações candidatas, uma a uma, são testadas quanto à sua eficiência de cobertura espacial, sendo identificadas e eliminadas aquelas redundantes ou pouco eficientes, de maneira a restar um número mínimo de monitores capazes de promover a cobertura desejada da área a ser monitorada. Ao final desse processo, a rede de monitoramento projetada é caracterizada como otimizada.

Estudos sobre a localização de estações de medição da qualidade do ar em áreas urbanas têm sido amplamente abordados na literatura, sobretudo no que diz respeito à localização otimizada desses monitores. Dentre as técnicas mais utilizadas, merece destaque a minimização da função erro de interpolação (sendo tal função determinada pelo objetivo da rede de monitoramento); a técnica de minimização do limite superior da covariância do erro mínimo estimado; e a de seleção por tentativas, na qual são escolhidas as estações que apresentam maior sensibilidade na concentração medida, devido a perturbações na taxa de emissão das fontes poluidoras.

O método utilizado neste estudo utiliza o conceito de Figuras de Mérito e de Esferas de Influência das estações, e baseia-se em uma proposta pragmática inicialmente desenvolvida por Langstaff (1987) e modificada por Santolim (1991). Este método se mostrou eficaz no projeto de redes de monitoramento da qualidade do ar nos Estados Unidos e na Europa, tendo sido utilizado com sucesso também no Brasil nas redes de Vitória-ES, Rio de Janeiro-RJ, São Luís-MA, Belo Horizonte-MG, Itabira-MG, Ipatinga-MG, Ouro Branco-MG, Província Mineral de Carajás-PA, Barra Mansa-RJ, Pólo Gás Químico (Duque de Caxias-RJ), Volta Redonda-RJ, dentre várias outras localidades.

O método proposto utiliza-se de um modelo de dispersão para gerar cenários representativos da qualidade do ar na região proposta, para a obtenção de padrões típicos de níveis de exposição da população da área, gerando-se Figuras de Mérito, ou seja, um ordenamento de locais prioritários ou estratégicos para medição. Além disso, as regiões habitadas e áreas de influência das emissões atmosféricas são consideradas para escolha dos locais prioritários e estratégicos da rede de monitoramento da qualidade do ar.

Outro grau de liberdade na seleção das localizações é a possibilidade de se escolher estações em função do tamanho das áreas que elas representam. Se a sua área de abrangência, ou Esfera de Influência, é pequena, pode não ser conveniente manter-se uma estação de medição em operação nesse local.

Uma vez selecionadas as estações com base nos critérios mencionados, torna-se necessário analisar a cobertura total proporcionada pelas mesmas. Novos ajustes podem ser efetuados, eliminando-se estações redundantes ou acrescentando-se novas estações, se necessário.

5.1.1 Figuras de Mérito

O objetivo do monitoramento da qualidade do ar para acompanhamento do índice de exposição da população não deve se limitar apenas à avaliação de concentrações máximas e médias, mas também à avaliação da variação espacial da concentração dos poluentes (gradientes) na área de interesse.

O grau de exposição para uma pessoa é definido como a concentração de poluente a que esse indivíduo tem contato. A dose, ou índice de exposição, é então relacionada à concentração e ao tempo de exposição do indivíduo. O índice de exposição à poluição atmosférica é uma medida do grau de risco a que um indivíduo é submetido devido à exposição a um poluente específico durante determinado intervalo de tempo.

A formulação exata da função risco envolve muitas variáveis e muitas vezes não é conhecida para alguns poluentes de interesse. Sendo assim, neste trabalho, a função risco é aproximada por um modelo linear sem preocupação com valores limiares, ou seja, o índice de exposição é dado pela integral da concentração de poluente variando no tempo.

$$I_E = \int_0^t C(t) dt$$

(5.1.1.1)

onde:

I_E = índice de exposição;
 C = concentração de poluente;

t = tempo de exposição ao poluente.

Aplicando a Equação 5.1.1.1 ao universo de cenários de qualidade do ar obtidos neste estudo podemos obter a equação básica para o cálculo da Figura de Mérito de uma célula da malha de modelagem:

$$F_{ij} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T C_{ijt} \quad (5.1.1.2)$$

onde:

F_{ij} = figuras de mérito;

T = duração de um cenário meteorológico;

C_{ijt} = concentração do poluente na célula (i,j) no tempo t;

Deve ser observado que a equação 5.1.1.2 aplicada a todo o universo de cenários de qualidade do ar se resume às médias do período modelado para cada um dos poluentes de interesse. Assim, as figuras de mérito são representadas pelos cenários de qualidade do ar de médias anuais apresentados no Capítulo 4.

As Figuras de Mérito são obtidas inicialmente para cada um dos poluentes de interesse, inclusive como forma de determinar aqueles mais relevantes para a atmosfera da região. Com uma dada distribuição de FOM, os picos não contínuos de concentração de poluentes podem ser facilmente identificados, sendo ordenados por prioridade decrescente, gerando um número fixo de prováveis candidatos a abrigar estações de medição.

5.1.2 Esferas de Influência

As Esferas de Influência das estações são as áreas representadas (cobertas) por cada estação de monitoramento, com relação a um grupo pré-definido de fontes emissoras. O que se busca avaliar na determinação da esfera de influência é a área cujo comportamento de concentrações se apresente correlato aos registros avaliados em uma estação específica.

O rigoroso estabelecimento dessas áreas, ou seja, a definição das Esferas de Influência é uma tarefa complexa. Ele depende do método de reconstrução e interpolação utilizados e do campo de concentração dos poluentes de interesse.

Diferentes métodos de interpolação geram diferentes Esferas de Influência. Então, o método a ser usado no projeto da rede de medição deve ser compatível com o procedimento de interpolação a ser usado para a rede em operação.

A definição da SOI, apresentada a seguir, é baseada no limite superior do erro de interpolação esperado, calculado a partir da estrutura de covariância espacial prevista para a região a ser monitorada.

A função do limite superior para o erro quadrático médio esperado da interpolação ótima é definido por:

$$E_u = \sigma_y \left[1 - \delta_{xy}^2 (1 + K)^{-1} \right]^{1/2} \quad (5.1.2.1)$$

onde:

δ_{xy} = correlação espacial entre a concentração no ponto previsto y e ponto previsor x ;

σ_y = desvio padrão da concentração no ponto previsto y ;

K = variância normalizada dos erros observacionais no ponto previsor x .

Da Equação 5.1.2.1 temos uma expressão para o limite inferior da variância total em y explicada pelo procedimento de interpolação em x , como mostra a Equação 5.1.2.2:

$$\phi_{xy} = 1 - \frac{E_u^2}{\sigma_y^2} = \delta_{xy}^2 (1 + K)^{-1} \quad (5.1.2.2)$$

Para o caso de não existirem erros observacionais, $k=0$, a variância se iguala ao quadrado da correlação.

Define-se a Esfera de Influência de uma estação localizada em x , com um nível de eficiência (α), como sendo a área contínua ao redor de x que contém pontos y para os quais a variância da concentração é explicada pela concentração de x , ou seja, o conjunto contínuo de pontos y tais que $\phi_{xy} \geq \alpha$.

A variância explicada, ϕ_{xy} , é igual ao quadrado da função de correlação espacial, δ_{xy}^2 , multiplicada por uma constante. A função correlação espacial tipicamente decresce desde o valor 1, em $y = x$, com o aumento da distância entre x e y . Por essas razões, ϕ_{xy} corresponde a uma medida natural para a determinação da SOI para um dado local de monitoramento.

É importante notar que, por ser uma grandeza estatística, a análise da estimativa de δ_{xy} depende do tamanho da amostra. Conseqüentemente, os níveis de confiança baseados no tamanho da amostra deverão ser considerados.

Se superestimarmos δ_{xy} , as Esferas de Influência obtidas também deverão cobrir grandes áreas e, no final, a rede de medição não será densa o suficiente. Isto é levado em conta através do uso de limites inferiores de confiança para uma correlação estimada. O limite de confiança estipulado neste trabalho foi de 80% para os poluentes selecionados. Esse valor é considerado como nível de eficiência satisfatório (o valor mínimo recomendado é de 50%), proporcionando uma densa rede amostral, com capacidade de reconstrução do campo de medição com a qualidade necessária à Região de Congonhas.

Se a distribuição básica de amostras desvia significativamente da normalidade e o número de amostras é pequeno, então um método auxiliar deve ser usado para calcular o limite de confiança.

Esses limites de confiança para o coeficiente de correlação são usados da seguinte forma: assume-se que o critério para o projeto ótimo de uma rede de monitoramento é a capacidade de capturar mais de α por cento das variações de concentração e que existem L amostras para estimar a correlação. Necessita-se então que $\phi_{xy} \geq \alpha$, da Equação 5.1.2.3 vem:

$$\delta_{xy} \geq [\alpha(1+K)]^{1/2} \quad (5.1.2.3)$$

Das cartas estatísticas de David (1938) determina-se o valor limite do coeficiente de correlação amostral, r_c , para o limite inferior da correlação de $[\alpha(1+K)]^{1/2}$ com 80% de nível de confiança e tamanho da amostra L .

Este leva a um valor de secção, ϕ_c , de ϕ_{xy} , onde $\phi_{xy} \geq \alpha$ com 80% de confiabilidade, representada na Equação 5.1.2.4:

$$\phi_c = r_c^2(1+K)^{-1} \quad (5.1.2.4)$$

Nesta metodologia de projeto utilizada, a função ϕ_{xy} ao redor de cada uma das N estações selecionadas é computada ao longo de todas as direções radiais até que o valor ϕ_c seja excedido.

Uma vez que o valor de secção é determinado, a SOI pode ser definida para cada uma das estações candidatas como sendo os pontos da malha que formam uma área ininterrupta ao redor de cada estação definidos por $\phi_{xy} \geq \phi_c$. A área total coberta pela rede de monitoramento para todas as N estações é dada pela combinação das esferas de influência de cada estação escolhida.

5.2 REDES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA PROJETADAS NA REGIÃO DE CONGONHAS

Conforme descrito anteriormente, a região de estudo é desprovida de uma rede integrada que propicie o acompanhamento sistemático das condições de qualidade do ar e meteorologia.

Contudo, iniciativas na busca de melhorias nos sistemas de monitoramento atmosférico têm sido desenvolvidos por empresas instaladas na região. Assim, é necessário registrar que recentemente foram desenvolvidos pela EcoSoft, aplicando a mesma metodologia utilizada neste projeto (Figuras de Mérito e Esferas de Influência), os projetos das redes automáticas de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia das seguintes empresas:

- Gerdau - Açominas;
- Namisa;
- CSN – Casa de Pedra.

Sobre a rede de monitoramento da Gerdau – Açominas, durante o decurso deste trabalho, foi verificado que a rede de monitoramento entrou em operação com as estações localizadas em Carreiras, Fundação Ouro Branco³ e a estação Lobo Leite⁴, localizada no município de Congonhas.

³ localizadas no município de Ouro Branco, MG.

⁴ Localizada no município de Congonhas, MG.

A estação de Lobo Leite, conforme o projeto desenvolvido para a ROMQAM/Congonhas (apresentado na seção 5.4) está localizada em sítio estratégico para o monitoramento do efeito sinérgico das emissões da Gerdau – Açominas e das emissões das demais fontes emissoras inventariadas neste estudo. A recomendação é que esta estação seja compartilhada e integrada pela ROMQAM/Congonhas. As demais estações localizadas em Ouro Branco não estão inseridas na área de cobertura alvo para o projeto da ROMQAM/Congonhas.

Quanto aos projetos das redes automáticas de monitoramento da Namisa e CSN – Casa de Pedra, cabe ressaltar que todas as estações propostas estariam inseridas na área de cobertura alvo da ROMQAM/Congonhas. Isto significa que a implementação da ROMQAM/Congonhas, da forma como apresentada na seção 5.4, suprime a necessidade de instalação das estações de monitoramento propostas nestes 2 projetos citados.

5.3 LOCAIS CANDIDATOS A ESTAÇÕES DA ROMQAM/CONGONHAS

O levantamento dos locais candidatos a sediarem estações da ROMQAM/Congonhas foi realizado com base em pesquisa de campo, abrangendo a área de estudo, com foco nas localidades habitadas com maior potencial de serem afetadas em relação à qualidade do ar.

Em cada localidade considerada, foram identificados sítios de medição potenciais, dotados de condições mínimas de infraestrutura, como área física, rede de energia elétrica e telefônica próxima, segurança (possibilidade de restrição de acesso ao local), ambiente aberto e ventilado (representativo da região no entorno), desprovido de fontes poluidoras interferentes localizadas nas proximidades ou interferências físicas.

Na Tabela 5.3.1 são apresentados os 40 locais candidatos identificados na área de estudo, dotados de características compatíveis com as necessidades citadas para uma estação de medição, juntamente com suas respectivas coordenadas (UTM, WGS84). A Figura 5.3.1 apresenta a localização espacial e a Figura 5.3.2 o registro fotográfico com a vista atual dos locais candidatos considerados.

Figura 5.3.1 – Locais Candidatos a Receberem Estações da ROMQAM/Congonhas

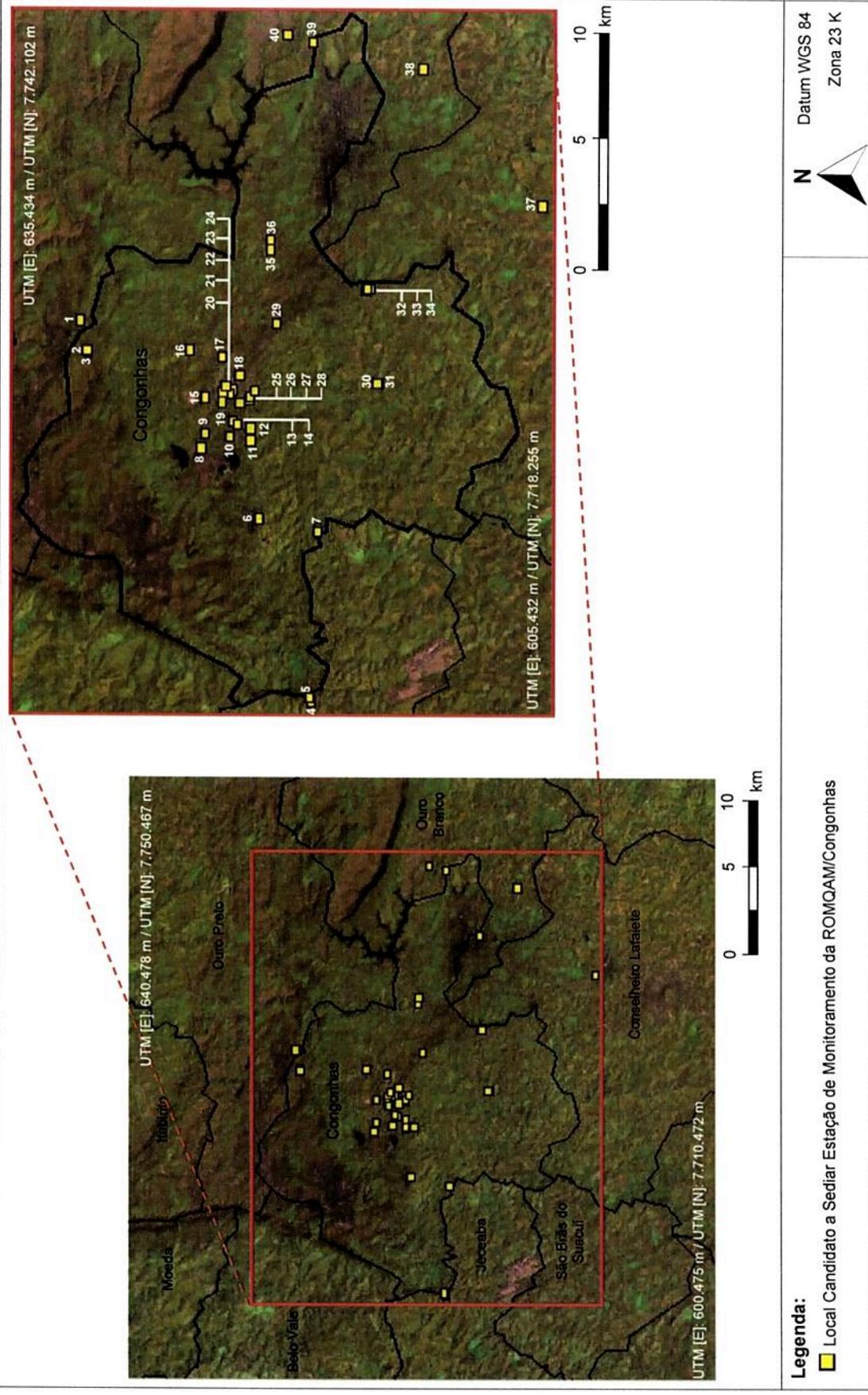
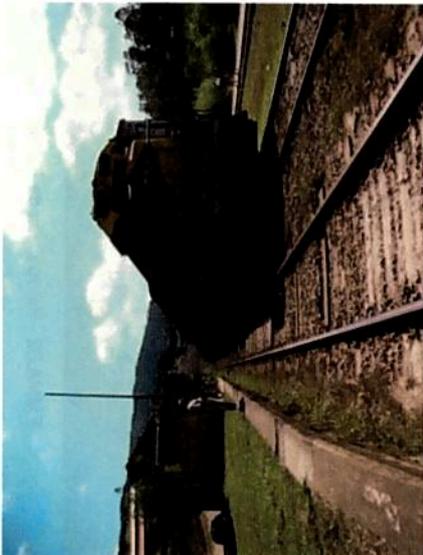
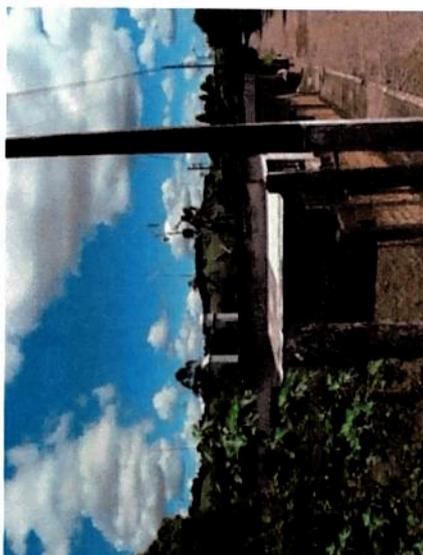


Tabela 5.3.1 - Locais Candidatos para Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas

Nº	Estação	Região	UTM [E]	UTM [N]
1	Escola Municipal Prof. ^a Celina Cruz	Motas	622.216	7.739.219
2	Unidade de Atenção Primária de Saúde (UAPS) - Pires	Pires	620.944	7.738.921
3	Escola Municipal Sr. Odorico Martinho da Silva	Pires	620.862	7.738.864
4	Praça de Jeceaba	Centro	605.983	7.728.982
5	Estação Ferroviária	Jeceaba	606.160	7.729.056
6	EMMA 01 - Bairro Plataforma	Plataforma	613.795	7.731.293
7	Distrito de Santa Quitéria	Santa Quitéria	613.205	7.728.686
8	EMMA 02 - Bairro Casa de Pedra	Casa de Pedra	616.796	7.733.855
9	UBS Primavera	Casa de Pedra	617.395	7.733.666
10	EMMA 03 - Bairro Cristo Rei	Cristo Rei	617.252	7.732.563
11	Escola Municipal Conceição Lima Guimarães	Residencial Gualter Monteiro	617.089	7.731.634
12	ETA COPASA	Faz. Barro Preto	617.606	7.731.636
13	Unidade de Atenção Primária de Saúde (UAPS) - D. Oscar	Dom Oscar	617.911	7.732.415
14	Escola Municipal Judith Augusta Ferreira	Dom Oscar	617.797	7.732.225
15	Clube Astra	Tijucal	618.927	7.733.665
16	IFES - Congonhas	Mineirinha	620.928	7.734.352
17	Escola Municipal Rosália Andrade da Glória	Alvorada	620.620	7.732.903
18	Escola Estadual Barão de Paraopeba	Vila São Vicente	619.861	7.732.116
19	Escola Municipal Michael Pereira de Souza	Gran Park	618.487	7.732.820
20	Fundação Municipal de Saúde - Policlínica	Praia	618.726	7.732.908
21	Escola Municipal Engenheiro Oscar Weinschenck	Matriz	619.114	7.732.883
22	COPASA - Companhia Saneamento de Minas Gerais	Matriz	619.091	7.732.588
23	Prefeitura Municipal de Congonhas	Matriz	619.405	7.732.724
24	Câmara Municipal de Congonhas	Centro	619.244	7.732.449
25	Romaria	Basilica	618.673	7.732.114
26	Escola Municipal Fortunata de Freitas Junqueira	Basilica	618.819	7.731.717
27	Escola Municipal José Cardoso Osório	Basilica	618.952	7.731.652
28	Morro do Cruzeiro	Alto do Cruzeiro	619.200	7.731.441
29	Escola Municipal Dom João Muniz	Jardim. Profeta	622.031	7.730.458
30	Igreja Nossa Senhora da Ajuda	Alto Maranhão	619.478	7.725.988
31	Escola Municipal Dona Caetana P. Trindade	Alto Maranhão	619.499	7.725.886
32	Escola Municipal João Narciso	Joaquim Murinho	623.513	7.726.300
33	Lagoa do Murinho	Joaquim Murinho	623.470	7.726.426
34	Unidade de Atenção Primária de Saúde (UAPS) - J. Murinho	Joaquim Murinho	623.502	7.726.411
35	Escola Municipal Amynthas Jacques de Moraes	Lobo Leite	625.196	7.730.746
36	Lobo Leite	Lobo Leite	625.617	7.730.710
37	Faculdade e Colégio Santa Rita - FASAR	Cons. Lafaiete	626.977	7.718.555
38	Estação Carreiras	Ouro Branco	632.784	7.723.800
39	Clube 1º de Maio	Ouro Branco	633.984	7.728.806
40	Fundação Ouro Branco	Ouro Branco	634.314	7.729.922

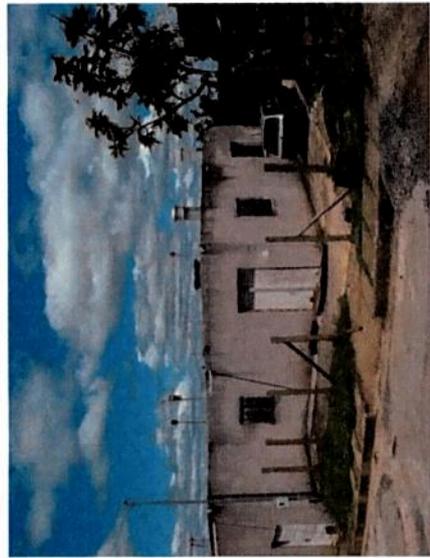
Figura 5.3.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas

		
<p>Escola Municipal Prof.ª Celina Cruz</p>	<p>UAPS (Unidade de Atenção Primária de Saúde) - Pires</p>	<p>Escola Municipal Sr. Odoirico Martinho da Silva</p>
		
<p>Praça de Jecceaba</p>	<p>Estação Ferroviária</p>	<p>EMMA 01 - Bairro Plataforma</p>

Continuação da Figura 5.3.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas



Distrito de Santa Quitéria



EMMA 02 - Bairro Casa de Pedra



UBS Primavera



EMMA 03 - Bairro Cristo Rei



Escola Municipal Conceição Lima Guimarães



ETA COPASA

EcoSoft

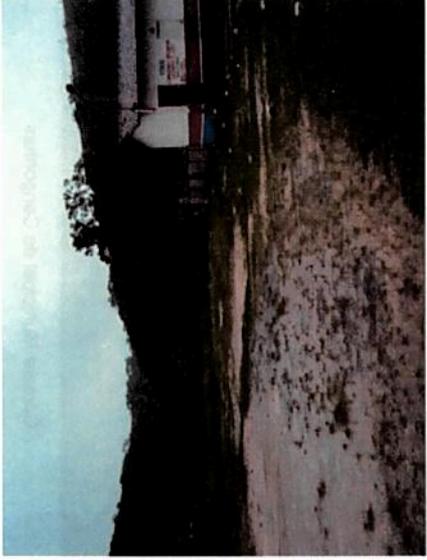
Continuação da Figura 5.3.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sediar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas



Escola Municipal Judith Augusta Ferreira



UAPS - Dom Oscar



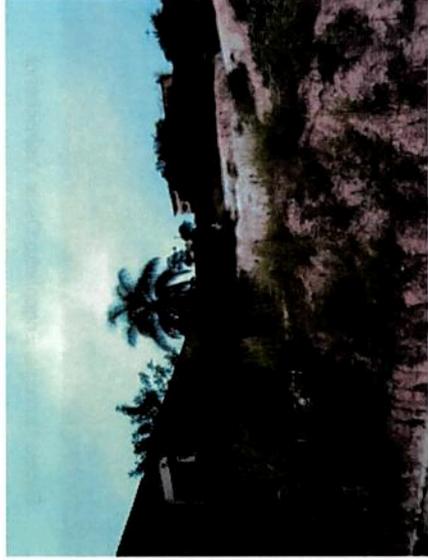
Clube Astra



IFES - Congonhas



Escola Municipal Rosália Andrade da Glória



Escola Estadual Barão de Paraopeba

EcoSoft

Continuação da Figura 5.3.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas



Escola Municipal Michael Pereira de Souza



Fundação Municipal de Saúde - Policlínica



Escola Municipal Engenheiro Oscar Weinschenck



Prefeitura Municipal de Congonhas



COPASA - Companhia Saneamento de Minas Gerais



Câmara Municipal de Congonhas

EcoSoft

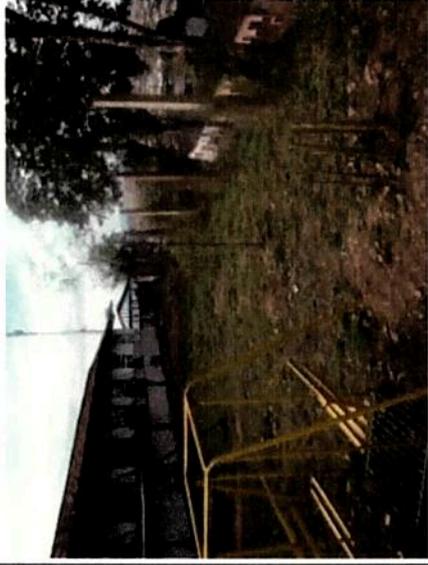
Continuação da Figura 5.3.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas



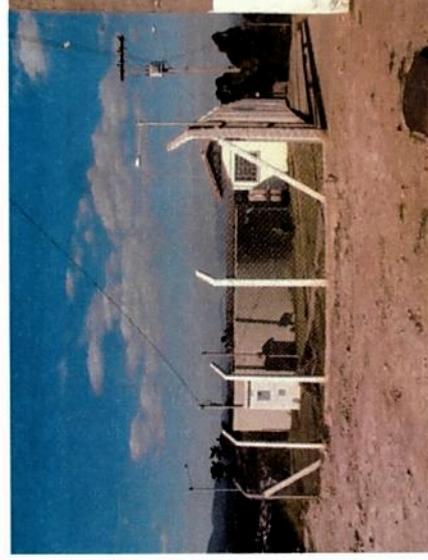
Romaria



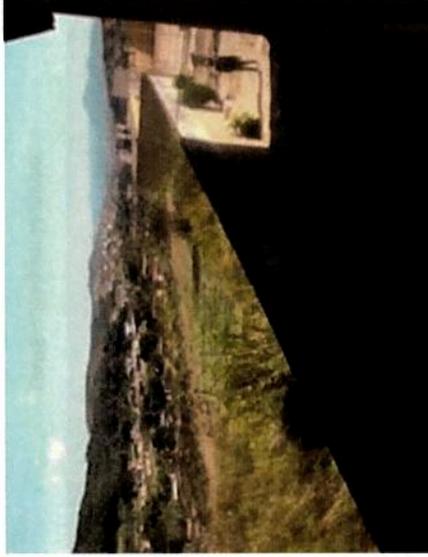
Escola Municipal Fortunata de Freitas Junqueira



Escola Municipal José Cardoso Osório



Morro do Cruzeiro

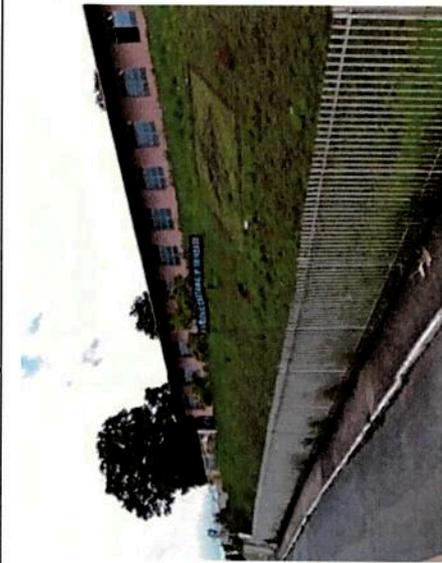


Escola Municipal Dom João Muniz

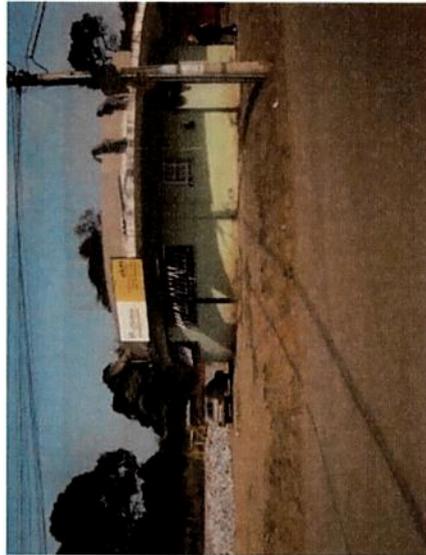


Igreja Nossa Senhora da Ajuda

Continuação da Figura 5.3.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas



Escola Municipal Dona Caetana P. Trindade



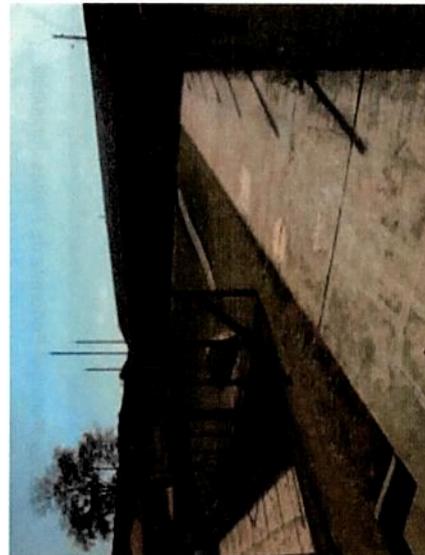
UAPS - Joaquim Murтинho



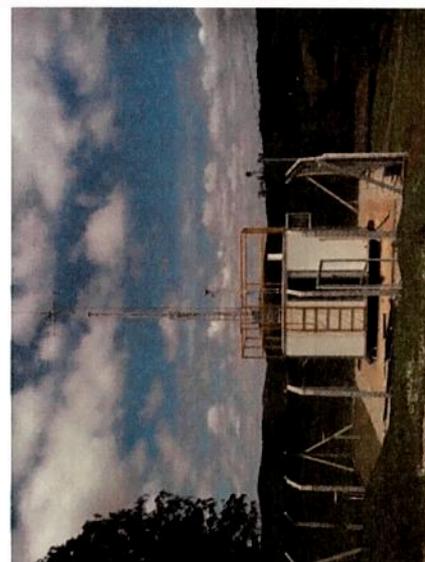
Escola Municipal João Narciso



Lagoa do Murтинho



Escola Municipal Arnythas Jacques de Moraes



Lobo Leite

ECOSOFT

Continuação da Figura 5.3.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas



Faculdade e Colégio Santa Rita - FASAR



Estação Carreiras



Clube 1° de Maio



Fundação Ouro Branco

5.4 PROPOSTA DE CONFIGURAÇÃO DA ROMQAM/CONGONHAS

A ROMQAM/Congonhas foi dimensionada visando possibilitar o acompanhamento dos níveis de poluentes atmosféricos decorrentes das emissões de partículas e gases oriundas das principais atividades poluidoras existentes na área de estudo. A partir da análise do inventário de emissões atmosféricas realizado, bem como dos cenários de qualidade do ar gerados por modelagem matemática com o modelo CMAQ, observa-se a necessidade de monitoramento das concentrações de PTS e PI de maneira extensiva, pelo fato das partículas (poeira) serem caracterizadas como o principal poluente atmosférico da área de estudo, além do monitoramento dos poluentes SO₂, NO_x e O₃ em locais específicos.

Os locais escolhidos para o monitoramento dos gases SO₂, NO_x e O₃ foram Lobo Leite, devido à influência específica das emissões da Gerdau – Açominas, e a estação Basílica, cuja posição estratégica servirá de referência para a determinação da qualidade do ar com vistas à saúde da comunidade e, ao mesmo tempo, relacionada ao patrimônio histórico e artístico do município de Congonhas.

Para possibilitar uma gestão atmosférica efetiva, as condições meteorológicas da região deverão ser monitoradas de forma sistemática e contínua, incluindo os seguintes parâmetros:

- direção e velocidade do vento;
- temperatura do ar;
- radiação solar global;
- precipitação pluviométrica;
- umidade relativa do ar;
- pressão atmosférica.

De acordo com a metodologia de dimensionamento utilizada, as Figuras de Mérito também podem ser entendidas como uma medida da ordem de grandeza da necessidade de determinada área ser monitorada, levando-se em consideração os níveis de poluentes nela incidentes, conjuntamente com outras temáticas relevantes a serem consideradas, destacando-se a densidade populacional da região.

Neste estudo, a densidade populacional foi levada em consideração qualitativamente, observando-se as distribuições de poluentes (observadas nas médias anuais) e a sua sobreposição às áreas urbanas. Assim, têm-se como variáveis numéricas de decisão, as concentrações médias anuais⁵ dos poluentes atmosféricos modelados (conforme Capítulo 4) para a área de estudo.

Combinando-se as esferas de influência das estações candidatas entre si, foi configurado o arranjo que acarreta a melhor relação de custo x cobertura espacial na região. Para isso foram considerados 8 locais prioritários para o monitoramento da qualidade do ar. Ressalta-se, que nesse total está considerada uma estação de monitoramento da atual RAMQAM / Gerdau, situada em Lobo Leite.

A Tabela 5.4.1 apresenta a proposta de configuração ROMQAM/Congonhas, indicando as estações e os parâmetros de qualidade do ar e meteorológicos a serem monitorados em cada uma das 8 estações indicadas.

⁵ As médias anuais de concentrações dos poluentes analisados representam as Figuras de Mérito para o monitoramento.

Tabela 5.4.1 – Configuração da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Congonhas-MG

Estação ^f	Qualidade do Ar									Meteorologia						
	PTS	PI	CO	HCT ^a	NO _x ^b	SO ₂	O ₃	BTX	DV	VV	PP	PA	RS	TA	UR	
VALE → Pires (2)	X	X							X	X	X	X	X	X	X	
VALE → Motas (1)	X	X														
CSN → Casa de Pedra (9)	X	X							X	X						
CSN → Basilica (25)	X	X			X	X	X		X	X						
CSN → Plataforma (6)	X	X														
GERDAU → Lobo Leite (36) ^c	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X		
VALE → Matriz (22)	X	X														
FERROUS → Jardim Profeta (29)	X	X														
CSN → CSN – Casa de Pedra									X	X	X	X	X	X	X	
FERROUS → Ferro +									X	X	X	X	X	X	X	
FERROUS → Ferrous									X	X	X	X	X	X	X	
GERDAU → Gerdau – Açominas ^d									X	X	X	X	X	X	X	
GERDAU → Gerdau – Miguel Burnier									X	X	X	X	X	X	X	
CSN → Namisa									X	X	X	X	X	X	X	
VALE → Vale – Complexo Fábrica									X	X	X	X	X	X	X	
VALE → VSB ^e									X	X	X	X	X	X	X	

INSTALADA
A 3 ANOS
PELA GERDAU

Nota:

- A medição de HCT é realizada por um analisador automático que mede as concentrações de HCT, HCnM e CH₄;
- A medição de NO_x recomendada é realizada por um analisador automático que mede NO_x, NO e NO₂;
- Estação existente, componente da RAMQAM/Gerdau;
- Estação existente, localizada na área da Gerdau - Açominas e operada pelo INMET;
- Estação existente, operada pela VSB;
- Os números entre parênteses correspondem aos locais candidatos escolhidos para as estações (conforme Tabela 5.3.1).

Legenda:

- | | | |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|
| PTS – partículas totais em suspensão | SO ₂ – dióxido de enxofre | PP – precipitação pluviométrica |
| PI – partículas inaláveis (menor que 10 µm) | CO – monóxido de carbono | PA – pressão atmosférica |
| NO _x – óxidos de nitrogênio | O ₃ – ozônio | RS – radiação solar global |
| HCT – hidrocarbonetos totais | DV – direção do vento | TA – temperatura do ar |
| BTX – benzeno, tolueno e xileno | VV – velocidade do vento | UR – umidade relativa do ar |

Além dos parâmetros da qualidade do ar, as estações também deverão monitorar parâmetros meteorológicos relevantes à gestão atmosférica, de alta variabilidade espacial. A escolha das variáveis meteorológicas a serem medidas em cada estação segue regras de viabilidade técnica relacionados à localização de cada estação.

Recomenda-se a instalação de estações meteorológicas de superfície associadas às localizações dos principais empreendimentos industriais da região, que deverão integrar a base de dados de gestão atmosférica da ROMQAM/Congonhas. O monitoramento meteorológico é fundamental para o entendimento da dinâmica atmosférica da região, o que contribuirá sobremaneira para o estabelecimento da relação causa-efeito (emissões x alteração da qualidade do ar), contribuindo para a prevenção da ocorrência de episódios críticos de alteração das concentrações de partículas na área de estudo.

Além da cobertura espacial mais adequada que será proporcionada pela rede otimizada de monitoramento proposta, é altamente recomendada a utilização de equipamentos automatizados e que proporcionam medição contínua, 24 horas por dia e 7 dias por semana, gerando registros horários das variáveis monitoradas. Desta forma, a

ROMQAM/Congonhas também proporcionará uma cobertura temporal adequada de monitoramento, tornando-se uma rede moderna e finamente ajustada aos requisitos do contexto avaliado.

Os locais de monitoramento propostos para integrarem a ROMQAM/Congonhas foram escolhidos dentre aqueles para os quais foram identificadas as condições de infraestrutura, segurança, ausência de interferências e circulação aérea adequadas ao monitoramento da qualidade do ar.

No entanto, mesmo com o desenvolvimento destas ações na fase de projeto, podem ocorrer necessidades de revisões de posicionamento das estações propostas na fase de implantação da rede, devido a alterações imprevistas dos locais de monitoramento propostos, que os tornem inadequados ao monitoramento, ou mesmo quando detectada a impossibilidade de instalação da estação por motivos alheios às questões de projeto.

Neste caso, a rede proposta é passível de alteração, com modificação do arranjo originalmente indicados. Esta modificação deve priorizar a possibilidade de substituição de um local por outro de modo que proporcione cobertura espacial equivalente, mantendo a qualidade e abrangência da ROMQAM/Congonhas originalmente proposta.

Ressalta-se que esta operação de substituição pode acarretar em modificações do campo amostral da rede de monitoramento proposta, podendo desencadear a necessidade de revisão de outros pontos de monitoramento para garantir uma cobertura similar à originalmente abrangida pela rede otimizada.

As Figuras 5.4.1 a 5.4.7 apresentam, respectivamente, a composição e cobertura espacial da rede proposta, para os poluentes estudados PTS, PI, SO₂, NO₂, CO, O₃ e COV. O arranjo geral das estações de monitoramento da ROMQAM/Congonhas é apresentado na Figura 5.4.8.

A Figura 5.4.9 apresenta a vista atual dos locais escolhidos para sediarem as estações de qualidade do ar da ROMQAM/Congonhas.

Figura 5.4.1 – Arranjo e Cobertura Espacial da ROMQAM/Congonhas – Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão – Eficiência de Cobertura de 80%

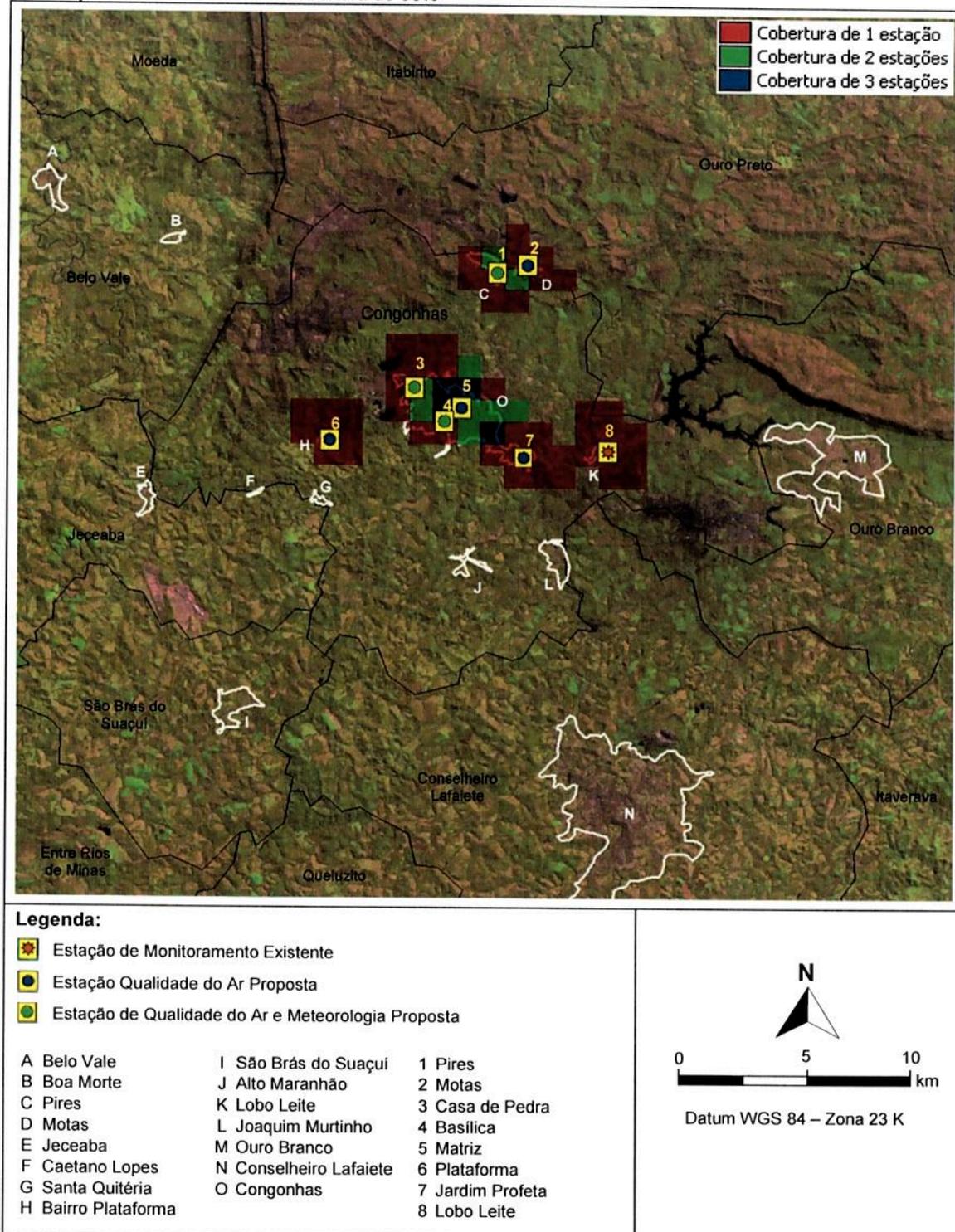


Figura 5.4.2 – Arranjo e Cobertura Espacial da ROMQAM/Congonhas – Monitoramento de Partículas Inaláveis Menores que 10 µm – Eficiência de Cobertura de 80%

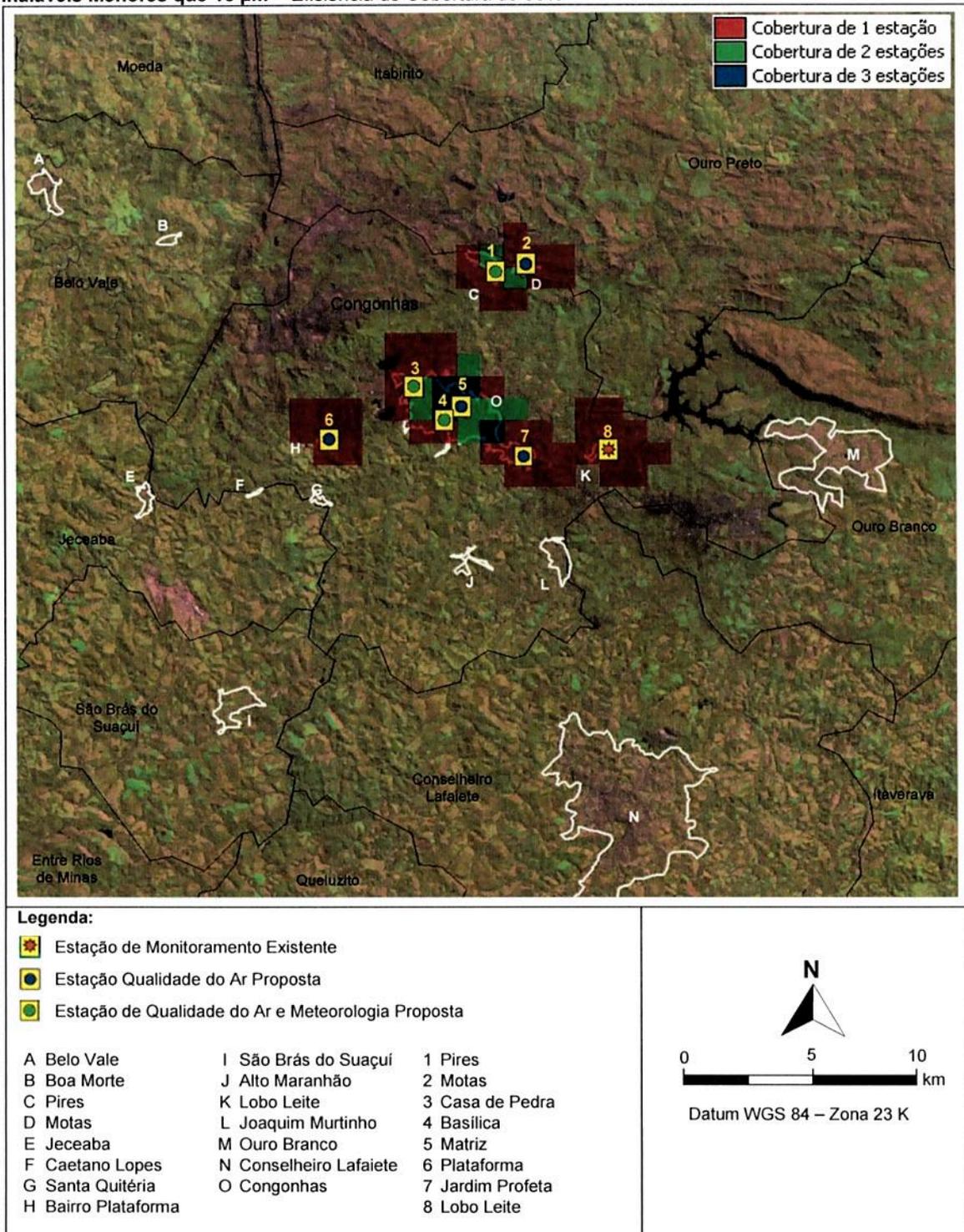


Figura 5.4.3 – Arranjo e Cobertura Espacial da ROMQAM/Congonhas – Monitoramento de Dióxido de Enxofre – Eficiência de Cobertura de 80%

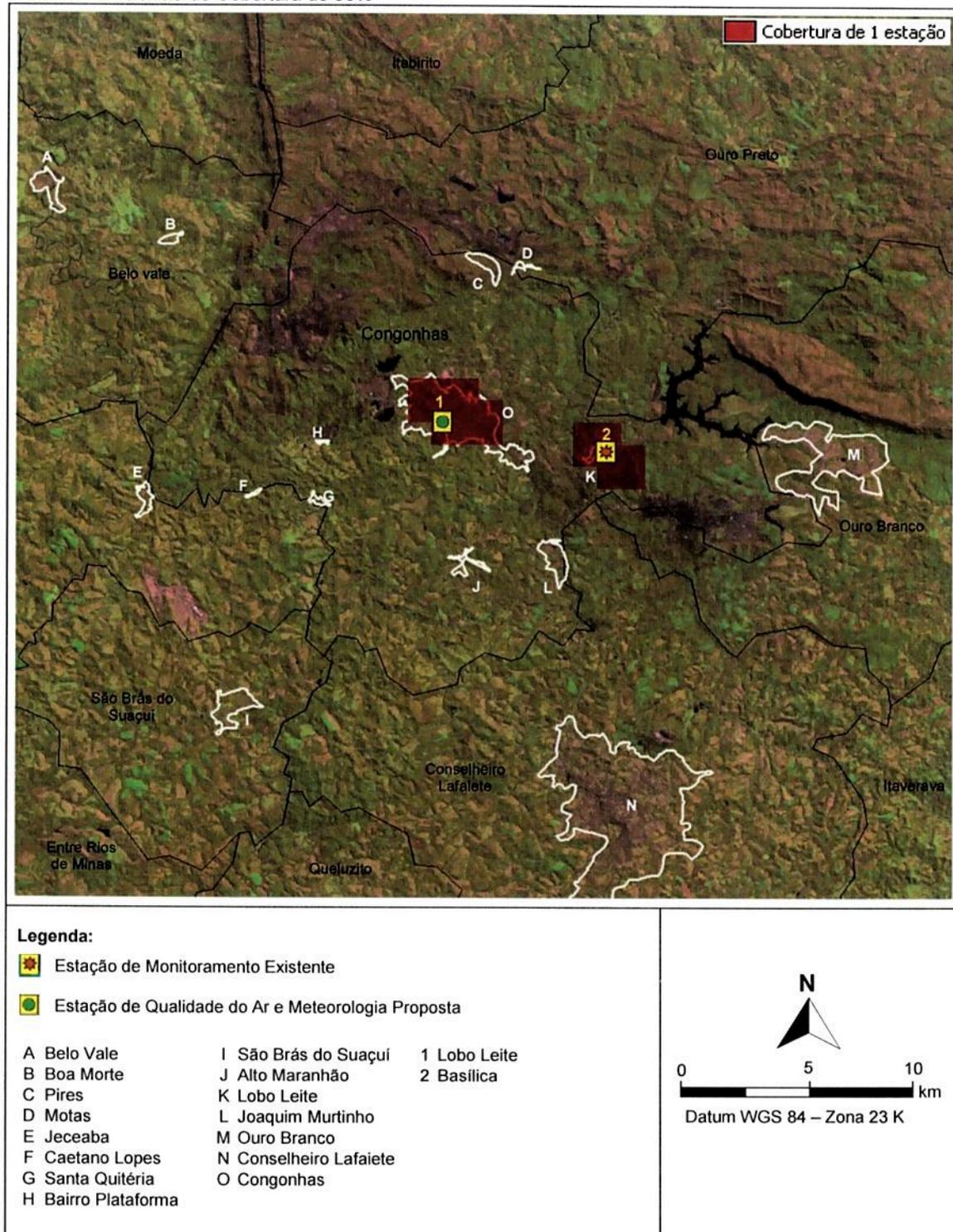


Figura 5.4.4 – Arranjo e Cobertura Espacial da ROMQAM/Congonhas – Monitoramento de Dióxido de Nitrogênio – Eficiência de Cobertura de 80%

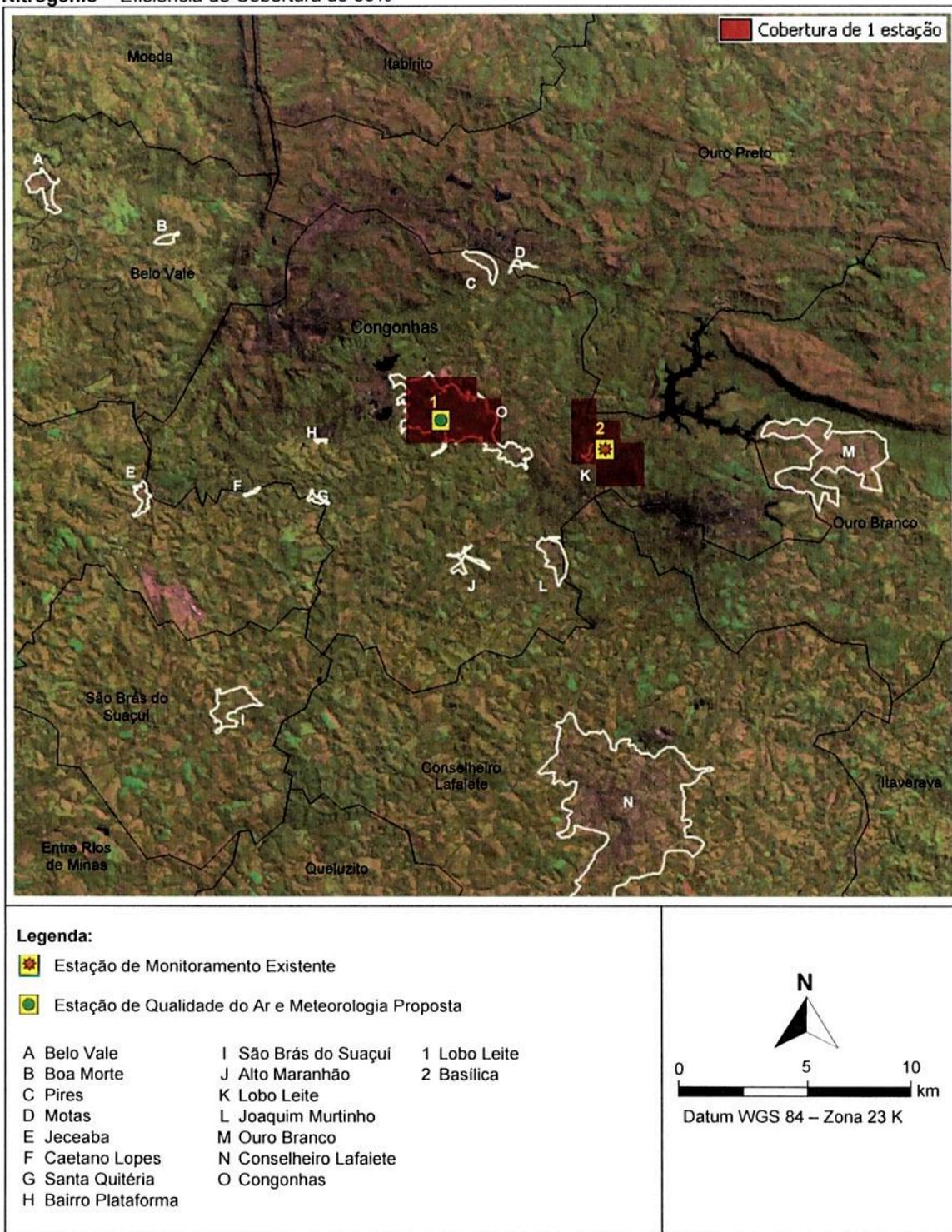


Figura 5.4.5 – Arranjo e Cobertura Espacial da ROMQAM/Congonhas – Monitoramento de Monóxido de Carbono – Eficiência de Cobertura de 80%

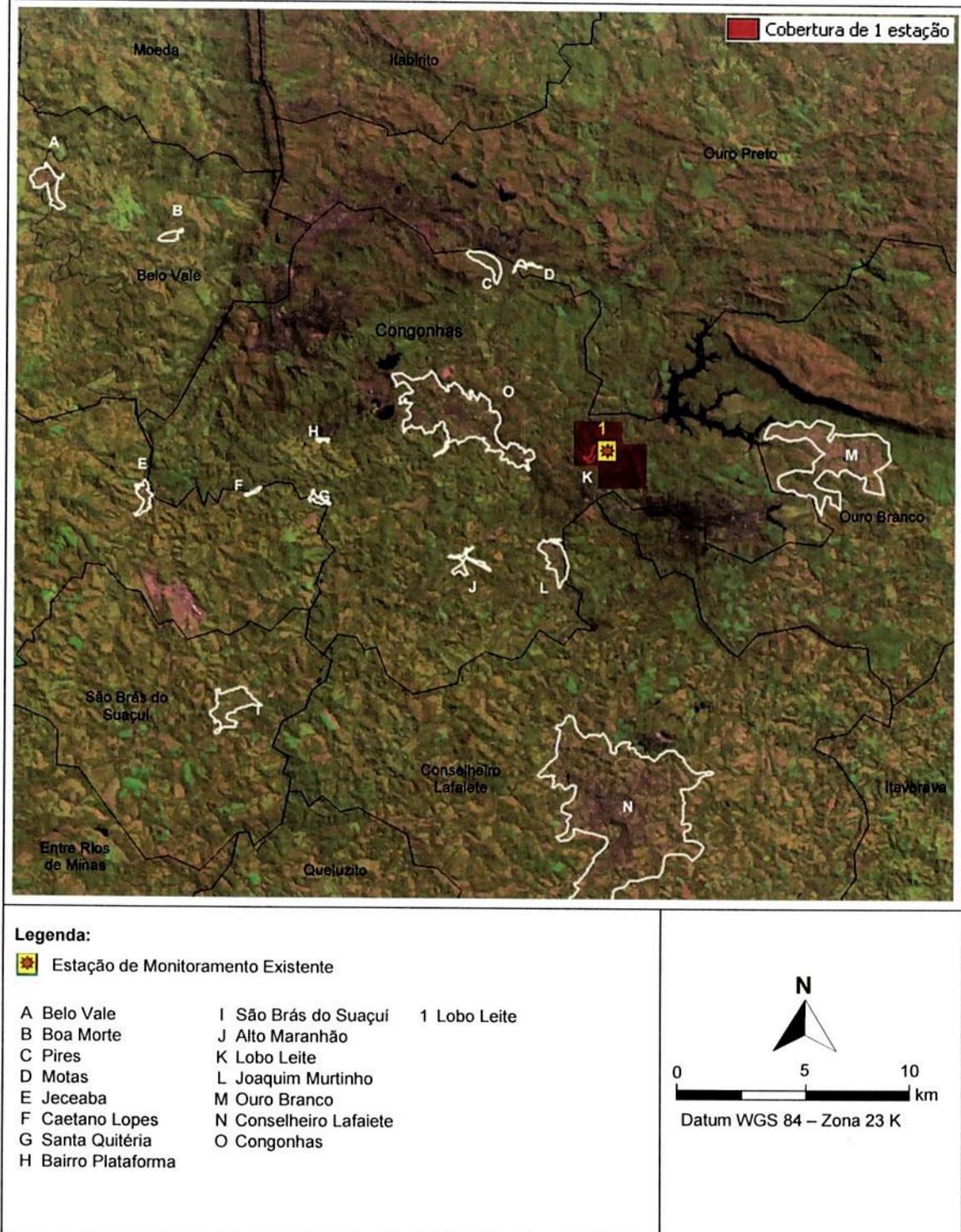


Figura 5.4.6 – Arranjo e Cobertura Espacial da ROMQAM/Congonhas – Monitoramento de Ozônio – Eficiência de Cobertura de 80%

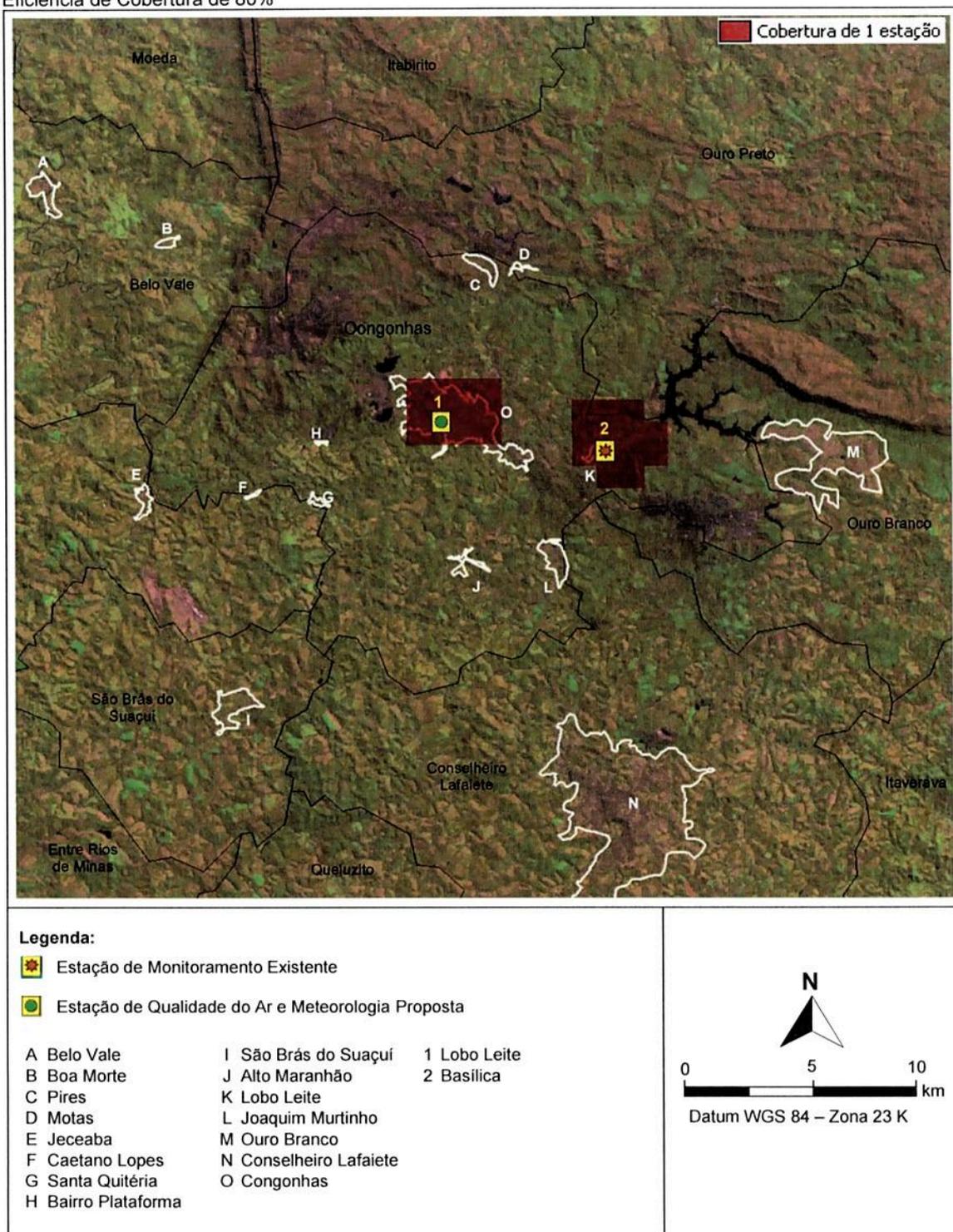


Figura 5.4.7 – Arranjo e Cobertura Espacial da ROMQAM/Congonhas – Monitoramento dos Compostos Orgânicos Voláteis – Eficiência de Cobertura de 80%

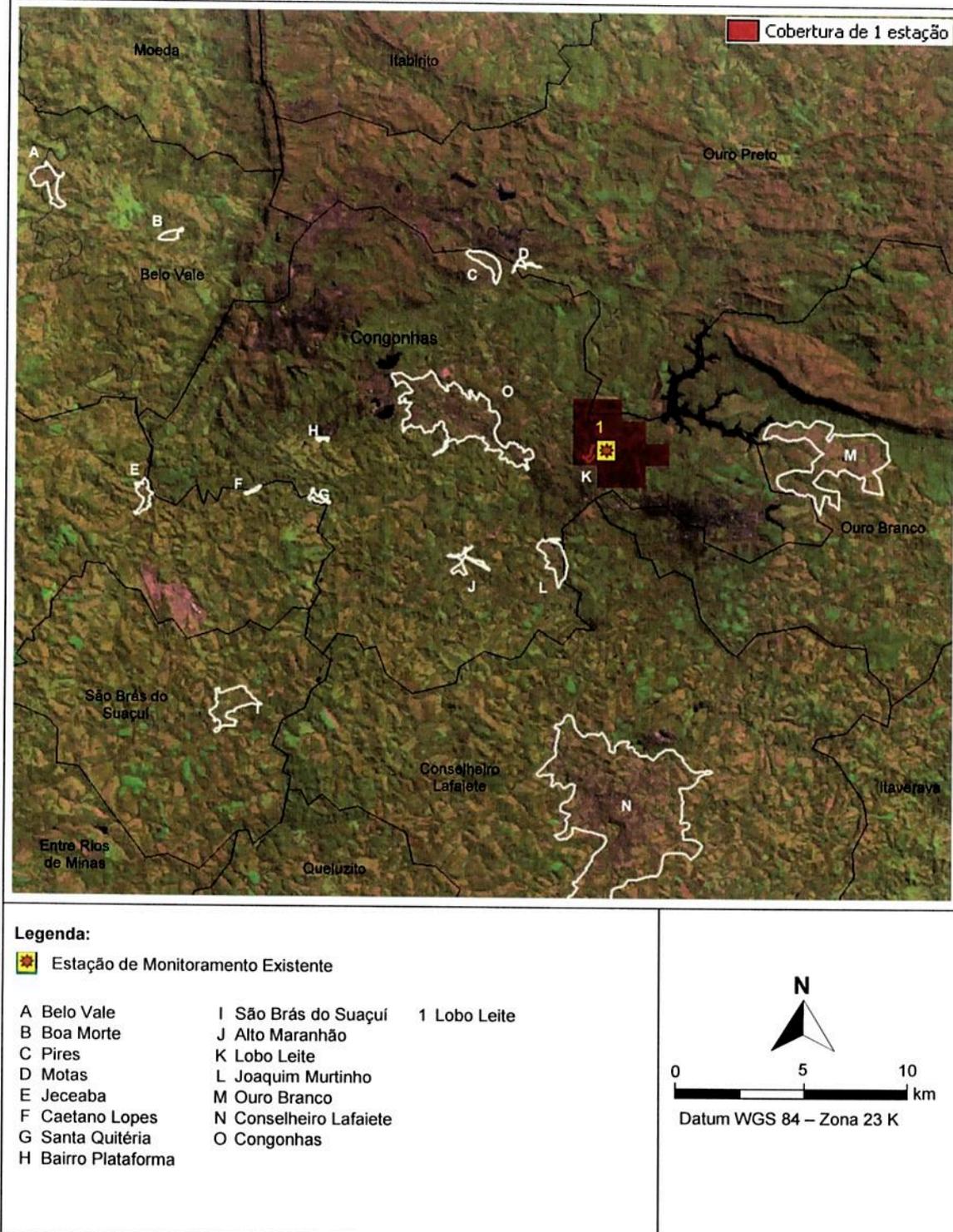


Figura 5.6.8 – Arranjo Geral da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Congonhas (ROMQAM/Congonhas)



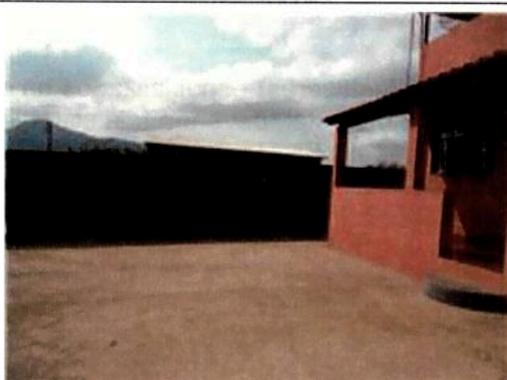
Figura 5.4.9 – Vista Atual dos Locais Selecionados para Sediarem Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da ROMQAM/Congonhas



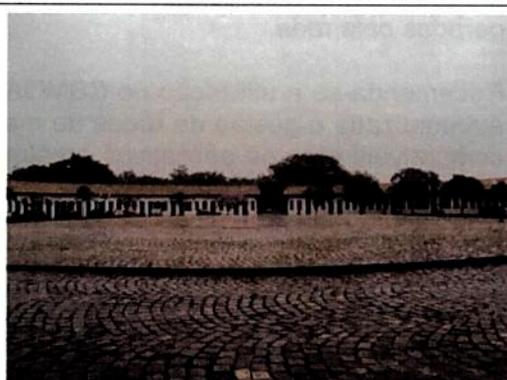
Pires - UAPS



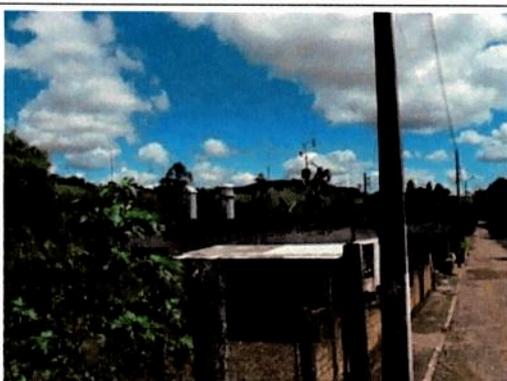
Motas - Escola Municipal Profª Celina Cruz



Casa de Pedra – UBS Primavera



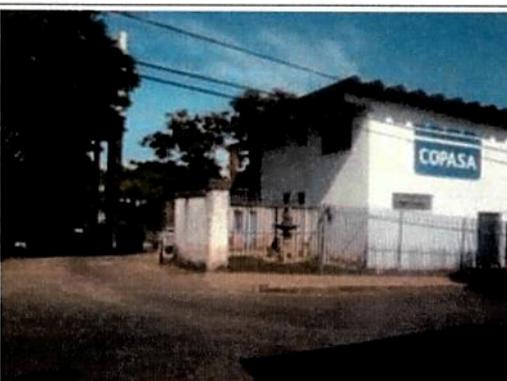
Basílica – Romaria



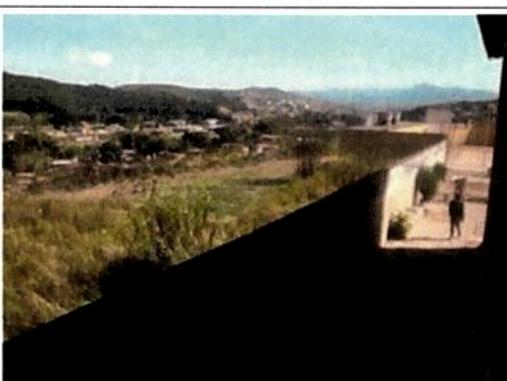
Plataforma – EMMA 01



Lobo Leite



Matriz - COPASA



Jardim Profeta - Escola Municipal Dom João Muniz

A tecnologia de medição recomendada para cada parâmetro é apresentada na seção 5.5, com destaque para metodologias automatizadas e intensivas (contínuas). A ROMQAM/Congonhas proposta irá proporcionar o monitoramento contínuo dos níveis de concentração de poluentes na área de estudo. Como nas redes automáticas de outras regiões brasileiras e conforme recomendações da EPA e também adotadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, as medições devem ser integradas e armazenadas como médias horárias em coletores de dados (dataloggers) existentes em cada estação de medição.

A partir dos coletores de dados (dataloggers) das estações de medição, os dados devem ser automaticamente transferidos a cada hora para um Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar (CSMQA). Este centro deverá manter um banco de dados das informações atuais e históricas obtidas pelas estações, proporcionando a análise integrada no espaço e no tempo, bem como a validação de todas as informações geradas pela rede.

Recomenda-se a utilização no CSMQA de sistemas (softwares) especializados na coleta automatizada e gestão de redes de monitoramento ambiental, devendo tais sistemas ser compatíveis com os aplicativos atualmente instalados na FEAM-BH, possibilitando uma integração facilitada com o órgão ambiental e o pleno aproveitamento dos dados gerados pela ROMQAM/Congonhas na gestão da qualidade do ar.

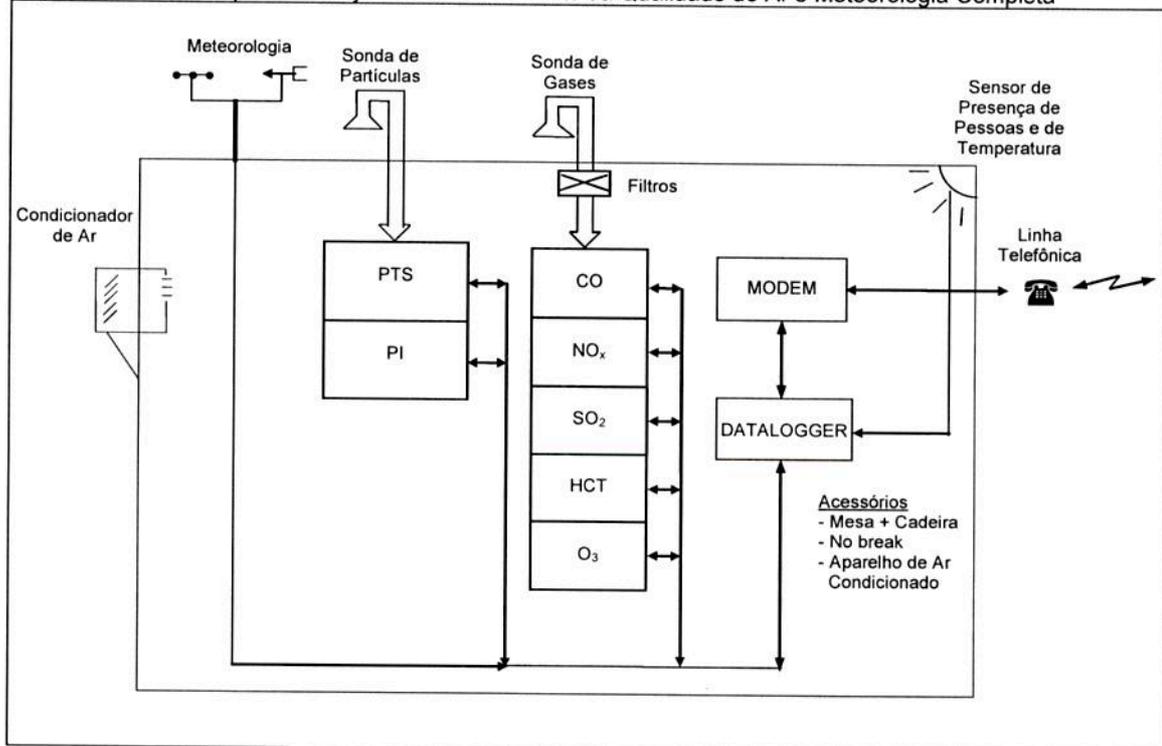
5.5 ESPECIFICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS DOS EQUIPAMENTOS DA REDE DE MONITORAMENTO

Nesta seção são apresentadas as especificações básicas para nortear o processo de aquisição dos equipamentos necessários para a operacionalização da ROMQAM/Congonhas.

As especificações dos analisadores de concentrações de poluentes atmosféricos e acessórios descritas a seguir, foram elaboradas com base nas tecnologias de medição disponíveis no mercado mundial de fabricantes de equipamentos de monitoramento da qualidade do ar e condições meteorológicas, devendo ser consideradas como requisitos mínimos a serem observados no momento da aquisição dos mesmos.

A Figura 5.5.1 ilustra o exemplo esquemático de configuração para uma estação de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia. Nesta figura é apresentada uma estação típica, incluindo analisadores de qualidade do ar e sensores meteorológicos.

Figura 5.5.1 – Exemplo de Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia Completa



5.5.1 Analisadores de Qualidade do Ar e Acessórios

5.5.1.1 PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO

Princípios de Medição Recomendados: (i) absorção de raios β ou (ii) microbalança.

i) Monitor Beta: a absorção de raios β que passam através da matéria depende, sobretudo, da massa analisada. Uma amostra de ar contendo partículas totais em suspensão é forçada a passar por um determinado período através de um filtro limpo a uma vazão controlada. A leitura de absorção de raios β é feita no início e no fim de cada

ciclo de medição, sendo a diferença de leitura proporcional à massa de partículas retidas no material filtrante.

Faixa de Medição: 0 - 0,25 / 0,5 mg/m³;

Limite Inferior de Detecção: máximo de 10 µg/m³ para ciclo de 60 min;

Ciclos de Medição: 30 min / 1 / 3 / 12 / 24 h;

Exatidão: ± 10,0 % da leitura para ciclo de 60 min;

Radiação Máxima da Fonte de Raios Beta: 100 µCi;

Alarmes: para todas as falhas de funcionamento de funções vitais do monitor;

Saídas Analógicas: 4 - 20 mA;

Porta de Comunicação: serial, padrão RS 232;

Temperatura de Operação: 0 - 40° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Display: digital.

Acessórios Obrigatórios: Sonda amostradora protegida contra condensação de umidade e padrões para calibração do monitor.

Deverão ser adquiridos juntamente com os equipamentos de amostragem sistemas completos de calibração dos medidores de Partículas Totais em Suspensão.

ii) Microbalança: o princípio de medição utilizado nesse método baseia-se na avaliação contínua da frequência de vibração do conjunto filtrante, o que está diretamente relacionado à massa de partículas depositada sobre um elemento filtrante intercambiável. Então, uma amostra de ar contendo partículas totais em suspensão é forçada a passar através de um elemento filtrante a uma vazão controlada, retendo as partículas contidas no fluxo de ar. A frequência de vibração de um corpo é igual à raiz quadrada de uma constante (de mola) dividida pela massa desse corpo. A leitura de massa do filtro é feita continuamente pela variação da frequência de vibração do conjunto filtrante, sendo que quanto maior for a massa de poeira coletada no filtro, menor será a frequência do conjunto.

Faixa de Medição: 0 - 1,0 mg/m³;

Limite Inferior de Detecção: máximo de 5 µg/m³ para ciclo de 60 min;

Ciclos de Medição: 30 min / 1 / 3 / 12 / 24 h;

Exatidão: ± 2,0 µg/m³ para ciclo de 60 min;

Alarmes: para todas as falhas de funcionamento de funções vitais do monitor;

Saídas Analógicas: 4 - 20 mA;

Porta de Comunicação: serial, padrão RS 232;

Temperatura de Operação: 0 - 60° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Display: digital.

Acessórios Obrigatórios: Sonda amostradora protegida contra condensação de umidade, e padrões para calibração do monitor.

Deverão ser adquiridos juntamente com os equipamentos de amostragem sistemas completos de calibração dos medidores de Partículas Totais em Suspensão. Para os monitores beta são utilizadas placas ou pastilhas de calibração que simulam determinada concentração de partículas, que devem ser providas pelo mesmo fabricante do monitor. Para monitores de microbalança, são providos pelo fabricante elementos filtrantes com massas conhecidas para a calibração do instrumento.

5.5.1.2 PARTÍCULAS INALÁVEIS MENORES QUE 10 µm

Princípio de Medição Recomendado: absorção de raios β ou microbalança.

O monitoramento de partículas inaláveis menores que 10 µm deve ser realizado utilizando os mesmos princípios de medição recomendados para Partículas Totais em Suspensão (PTS), ou seja, absorção de raios beta ou microbalança. A diferença entre os instrumentos é que, para a medição de PM₁₀, é necessária a instalação de uma sonda com fracionador para triagem da fração fina (< 10 µm) das partículas existentes no ar ambiente.

Acessórios Obrigatórios: Sonda amostradora com fracionador para partículas menores que 10 µm protegida contra condensação de umidade, e padrões para calibração do monitor.

5.5.1.3 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂)

Princípio de Medição Recomendado: fluorescência ao ultravioleta.

O método de fluorescência ao ultravioleta baseia-se no fato de que as moléculas de SO₂ presentes em uma amostra de ar, quando bombardeadas com radiação luminosa ultravioleta, são excitadas a SO₂^{*}, apresentando fluorescência característica ao retornar ao estado não excitado (SO₂). A concentração de SO₂ na amostra é então medida através das mudanças da fluorescência captadas por sensores.

Faixa de Medição: 0 - 0,1 / 0,25 / 0,5 / 1 ppm;

Limite Inferior de Detecção: 1,0 ppb;

Repetibilidade: ± 1,0 % FS (*full scale*);

Linearidade: ± 1,0 % FS;

Desvio do zero: ± 2,0 ppb/semana;

Desvio do SPAN: ± 2,0 % FS/semana;

Tempo de Resposta: 180 segundos (máximo);

Alarmes: para todas as falhas de funcionamento de funções vitais do monitor;

Saídas Analógicas: 4 - 20 mA;

Porta de Comunicação: padrão RS 232;

Temperatura de Operação: 0 - 40° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Display: digital.

Possíveis Acessórios: dependendo do fabricante do equipamento, pode ser necessária a aquisição adicional de uma unidade de geração de ar zero (livre de contaminantes) para o monitor de SO₂, sendo que a maioria dos fabricantes já inclui esse dispositivo internamente em seus aparelhos.

5.5.1.4 ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NO_x, NO, NO₂)

Princípio de Medição Recomendado: quimiluminescência.

O princípio de medição citado baseia-se na luminescência gerada pela reação química do NO (monóxido de nitrogênio) com o O₃ (ozônio) injetado juntamente com a amostra, resultando em NO₂ + O₂. Uma porção de NO₂ (dióxido de nitrogênio) gerada nessa reação atinge o estado excitado NO₂^{*} (dióxido de nitrogênio + energia). Essas moléculas de NO₂^{*} retornam ao estado básico, liberando energia luminosa. A intensidade de luz

gerada é proporcional à concentração de moléculas de NO contidas na amostra. Após análise do NO a amostra é passada em um dispositivo que promove a desoxidação do NO₂ novamente a NO e a amostra é reanalisada. A concentração de NO₂ é obtida por diferença entre as 2 leituras.

Faixa de Medição: 0 - 0,1 / 0,25 / 0,5 / 1 ppm;

Limite Inferior de Detecção: 0,5 ppb;

Repetibilidade: ± 1,0 % FS;

Linearidade: ± 1,0 % FS;

Desvio do zero: ± 0,2 ppb/semana;

Desvio do SPAN: ± 2,0 % FS/semana;

Tempo de Resposta: 120 segundos (máximo);

Alarmes: para todas as falhas de funcionamento de funções vitais do monitor;

Saídas Analógicas: 4 - 20 mA;

Porta de Comunicação: padrão RS 232;

Temperatura de Operação: 0 - 40° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Display: digital.

Possíveis Acessórios: dependendo do fabricante do equipamento, pode ser necessária a aquisição adicional de uma unidade de geração de ar zero para o monitor de NO_x, sendo que a maioria dos fabricantes já inclui esse dispositivo internamente em seus aparelhos. Outro dispositivo adicional que pode ser necessário é a unidade de geração de O₃, caso o monitor já não disponha do mesmo internamente.

5.5.1.5 OZÔNIO (O₃)

Princípio de Medição Recomendado: absorção de ultravioleta.

A medição de ozônio pelo princípio citado baseia-se no fato de que o mesmo absorve energia luminosa ultravioleta. Então é possível medir a concentração de O₃ presente em uma amostra de ar ambiente pela diferença entre a quantidade de energia luminosa específica emitida por uma fonte e recebida por um sensor localizado em extremidade oposta ao caminho ótico atravessado que contém a amostra de ar.

Faixa de Medição: 0 - 0,1 / 0,25 / 0,5 / 1 ppm;

Limite Inferior de Detecção: 1,0 ppb;

Repetibilidade: ± 1,0 % FS;

Linearidade: ± 2,0 % FS;

Desvio do zero: ± 2,0 ppb/semana;

Desvio do SPAN: ± 2,0 % FS/semana;

Tempo de Resposta: 120 s (máximo);

Alarmes: para todas as falhas de funcionamento de funções vitais do monitor;

Saídas Analógicas: 4 - 20 mA;

Porta de Comunicação: padrão RS 232;

Temperatura de Operação: 0 - 40° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Display: digital.

Acessório Obrigatório: recomenda-se que o monitor de O₃ disponha internamente de uma unidade de geração de O₃ para permitir a autogeração de gás padrão usada na calibração e aferição do monitor.

Possíveis Acessórios: dependendo do fabricante do equipamento, pode ser necessária a aquisição adicional de uma unidade de geração de ar zero para o monitor de O₃, sendo que a maioria dos fabricantes já inclui esse dispositivo internamente em seus aparelhos.

5.5.1.6 SONDA AMOSTRADORA DE GASES

Utilizada para captar e condicionar continuamente amostra externa de ar e conduzir aos monitores de gases para análise, evitando a entrada de corpos estranhos nos instrumentos de medição. Deve ser revestida internamente de material inerte (relativo aos gases amostrados), evitando interferências na medição. Deve ser dotada ainda de pelo menos 8 saídas de conexão com as tomadas de amostra dos monitores, ter dispositivos que permitam a fácil limpeza periódica manual da mesma e dispor de sistema de aquecimento ou outro dispositivo capaz de evitar a condensação de umidade nas paredes da sonda.

5.5.1.7 RACK DE SUPORTE DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

É recomendada a utilização de rack para a instalação adequada de um ou mais monitores no interior de uma estação, racionalizando o espaço interno da mesma, facilitando a montagem e a manutenção dos aparelhos de medição e ainda oferecendo proteção adicional aos mesmos. Recomenda-se a aquisição desses suportes principalmente no caso de estações com maior número de monitores instalados.

5.5.1.8 UNIDADE DE CALIBRAÇÃO MULTIGÁS

Para garantir o funcionamento adequado dos monitores automáticos de gases citados acima é fundamental que os mesmos sejam sistematicamente calibrados e aferidos, através da injeção de gás correspondente a concentrações conhecidas na unidade amostradora, denominado gás padrão ou span. Essa amostra de gás padrão deve ser gerada com concentrações dentro da escala de leitura dos monitores e com exatidão compatível com a do monitor, de modo a permitir a obtenção das especificações de desempenho de funcionamento previstas para a unidade medidora. É muito interessante que esse tipo de dispositivo permita ainda a geração de gás padrão em múltiplas concentrações a partir de um único cilindro do gás padrão concentrado. Isto permitirá a calibração eventual da curva de resposta do monitor à calibração multiponto, permitindo a verificação da linearidade da mesma, o que não pode ser checado na calibração com um único ponto.

Alguns fabricantes, em caráter opcional ou obrigatório, já incluem internamente em seus monitores de gases unidades de geração de gás padrão (tubos de permeação), eliminando a necessidade de cilindros de gás e unidades de diluição para calibração remota ou local do monitor. No entanto, a configuração mais usualmente empregada e recomendada é aquela constituída de cilindros de gás padrão concentrados, que são diluídos com ar zero para uma ou mais concentrações pré-especificadas, utilizando-se uma unidade de diluição semi-automática ou automática.

Outra opção aceitável que elimina a necessidade do uso de unidades de calibração é a utilização de cilindros de gás padrão já na concentração de span. Essa opção, apesar de mais econômica inicialmente, em geral, mostra-se mais onerosa com o passar do tempo, pois o consumo de gás padrão sem diluição é bem maior que no caso concentrado e o preço da recarga do cilindro é similar para o gás diluído ou concentrado. Além do mais, gases diluídos tendem a ser mais instáveis que os concentrados, apresentando eventuais deteriorações ao longo do tempo, ou seja, menor prazo de validade.

Aplicações: gases CO, SO₂, NO, CH₄ (HCT) com vazão de ar de diluição regulável de 30 a 300 l/h, ou razão de diluição de 1:12 a 1:9.000;

Exatidão de Ajuste de Diluição: ±1%;

Repetibilidade: ± 0,2 %;

Tempo de Resposta: 120 segundos (máximo);

Temperatura de Operação: 10 - 40° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Unidade de Geração de Ar Zero: incluída internamente no aparelho;

Unidade de Geração de Ozônio: incluída internamente no aparelho (opcional);

Nota: para os monitores automáticos de PTS e PI são utilizados placas ou pastilhas de calibração que simulam determinada concentração de poluente, que devem ser providas pelo mesmo fabricante do monitor.

5.5.2 Equipamentos para a Medição de Variáveis Meteorológicas

5.5.2.1 DIREÇÃO DO VENTO

Princípio de Medição Recomendado: biruta (vane) com pás balanceadas;

Faixa de Medição: 0 - 360°;

Limite Inferior de Detecção: 0,5 m/s (ponto de partida);

Exatidão: ± 5° para velocidade acima de 3 m/s;

Temperatura de Operação: 0 - 50 °C;

Acessório Obrigatório: torre basculante ou telescópica para fixação do anemômetro.

Altura de Medição: 10 m acima do solo;

5.5.2.2 VELOCIDADE DO VENTO

Princípio de Medição Recomendado: anemômetro de conchas;

Faixa de Medição: 0 - 45 m/s;

Limite Inferior de Detecção: 0,5 m/s (ponto de partida);

Exatidão: ± 0,25 m/s para faixa de 0,5 a 5 m/s e ± 2% FS para velocidade acima de 5 m/s;

Temperatura de Operação: 0 - 50° C;

Acessório Obrigatório: torre basculante ou telescópica para fixação do anemômetro (mesma do sensor de velocidade do vento);

Altura de Medição: 10 m acima do solo;

5.5.2.3 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Princípio de Medição Recomendado: pluviômetro de gangorra;

Faixa de Medição: 0 - 100 mm/h;

Exatidão: ± 1% da leitura;

Acessório Obrigatório: base de sustentação do pluviômetro.

5.5.2.4 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Princípio de Medição Recomendado: transdutor estável de pressão;

Faixa de Medição: 26 a 32" Hg;

Exatidão: +/- 0,04 Hg (+/- 1,35 mb) ou +/- 0,125 % FS;

Temperatura: - 40 °C a + 50 °C;

Montagem: Montado a 1,50 m de altura em torre telescópica

5.5.2.5 RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

Princípio de Medição Recomendado: piranômetro (espectro na faixa de 400 a 1.100 nm)

Faixa de Medição: 0 – 1.400 W/m²

Exatidão: ± 5% FS

Acessório Obrigatório: base de sustentação do piranômetro.

5.5.2.6 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

Princípio de Medição Recomendado: termistor e sensor capacitivo;

Faixa de Medição: -20 a 50 °C e 0 a 100%;

Exatidão: ± 0,35 °C e ± 3%;

Acessório Obrigatório: base de sustentação e abrigo para o sensor;

Altura de Medição: 3 m e 10 m acima do solo.

5.5.3 Equipamentos para a Aquisição e Telemetria de Dados de Qualidade do Ar e Meteorologia

Todos os dados gerados nas estações de monitoramento pelos monitores contínuos de qualidade do ar e meteorologia serão medidos como médias horárias e deverão ser armazenados temporariamente na estação por um período mínimo de 30 dias. Além disso, as estações deverão ser dotadas de sistemas que permitam o envio de dados para o Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar (CSMQA) a ser instalado.

Para tanto, cada estação de monitoramento deverá dispor de sistemas de aquisição de dados compatíveis com o tipo e número de sinais gerados pelos monitores de qualidade do ar e meteorologia instalados, e sistema de comunicação digital quase simultânea com o CSMQA.

Os dados coletados nas estações de monitoramento poderão ser enviados ao CSMQA por diferentes tecnologias de comunicação, destacando-se:

- GSM (GPRS);
- Linha telefônica convencional discada;
- Internet (linha convencional + ADSL);
- Rádio;
- Redes locais (fibra ótica, wireless, etc.).

5.5.3.1 REQUISITOS DAS ESTAÇÕES

Sistema de Aquisição de Dados: constituído de coletor de dados (datalogger) com entradas analógicas e/ou digitais (número de entradas variável de acordo com o número de sinais de cada estação), cujas características principais são:

- intervalo de aquisição de dados máximo de 10 s;
- cálculo interno e armazenamento automático de médias horárias para cada parâmetro registrado;
- entradas lógicas para aquisição e registro de estado dos monitores (alarmes de falhas de funcionamento e calibração);
- capacidade de armazenamento das médias horárias medidas nos últimos 30 dias ou mais;
- dispositivo para comunicação com CSMQA (modem, GPRS, placa de rede, etc);

- ❑ Alimentação 127 V, 60 Hz.
- ❑ Este sistema deve ser compatível com o software de coleta de dados adotado, de modo que permita a busca remota dos dados na estação pelo CSMQA.

No Break Estabilizado: para alimentação contínua do Sistema de Aquisição de Dados; 127 V, 60 Hz, 1 kVA; com autonomia mínima de 30 min, com 100 % da carga.

Linha Telefônica: terminal de linha telefônica fixa para conexão e telemetria de dados até o CSMQA, usando ligações discadas com modem ou conexão de internet com modem ADSL.

A linha telefônica pode ser substituída por outro meio que possibilite a comunicação de dados com as estações, por exemplo, rede local, rádio ou telefonia celular (GSM/GPRS).

Sensores de Temperatura Interna da Estação e Presença de Pessoas: os sinais coletados por estes sensores devem ser transmitidos através do datalogger ao CSMQA, o qual deve dispor de alarme de aviso ao operador quando limites pré-estabelecidos destes parâmetros forem atingidos ou quando houver a presença de pessoas na estação.

5.5.3.2 REQUISITOS DO CENTRO SUPERVISÓRIO

Computador 1: tipo PC, dedicado exclusivamente à conexão sistemática com as estações de monitoramento da rede via linha discada, rádio, internet, rede local ou outro meio de comunicação para aquisição de dados gerados, validação automática de dados, transmissão automática dos dados válidos recebidos ao banco de dados e retransmissão até a Central de Dados da FEAM, cujos requisitos mínimos são:

- ❑ processador Pentium Core 2 Duo ou posterior;
- ❑ HD 500 GB;
- ❑ monitor colorido 19" SVGA;
- ❑ 3 GB memória RAM;
- ❑ modem 56 kbps V90 (se utilizada comunicação por modem);
- ❑ placa de rede padrão Ethernet 1Gbps;
- ❑ sistema operacional Windows XP Pro ou posterior;
- ❑ 127 V, 60 Hz;
- ❑ software para aquisição de dados das estações, envio de dados para a FEAM, validação primária e inserção automática dos mesmos no banco de dados da ROMQAM/Congonhas.

Computador 2: com a mesma configuração do computador 1, este computador será utilizado para a pós-validação manual de dados gerados pela rede, análise estatística de informações monitoradas pela rede, modelagem matemática da dispersão de poluentes na atmosfera, geração de relatórios de qualidade do ar, construção de campos de ventos, reconstrução do campo de poluentes, gestão de fontes emissoras de poluentes atmosféricos, dentre outras.

No Break Estabilizado: para alimentação contínua dos 2 computadores do Centro Supervisório; 127 V, 60 Hz, 2 kVA; com autonomia mínima de 30 minutos, com 100 % da carga.

Banco de Dados: o CSMQA deverá utilizar o banco de dados corporativo acessível pela rede local instalada, ou outro banco específico para o aplicativo de gestão e coleta de

dados, de forma a garantir o armazenamento adequado do volume de informações a ser gerado continuamente pela ROMQAM/Congonhas.

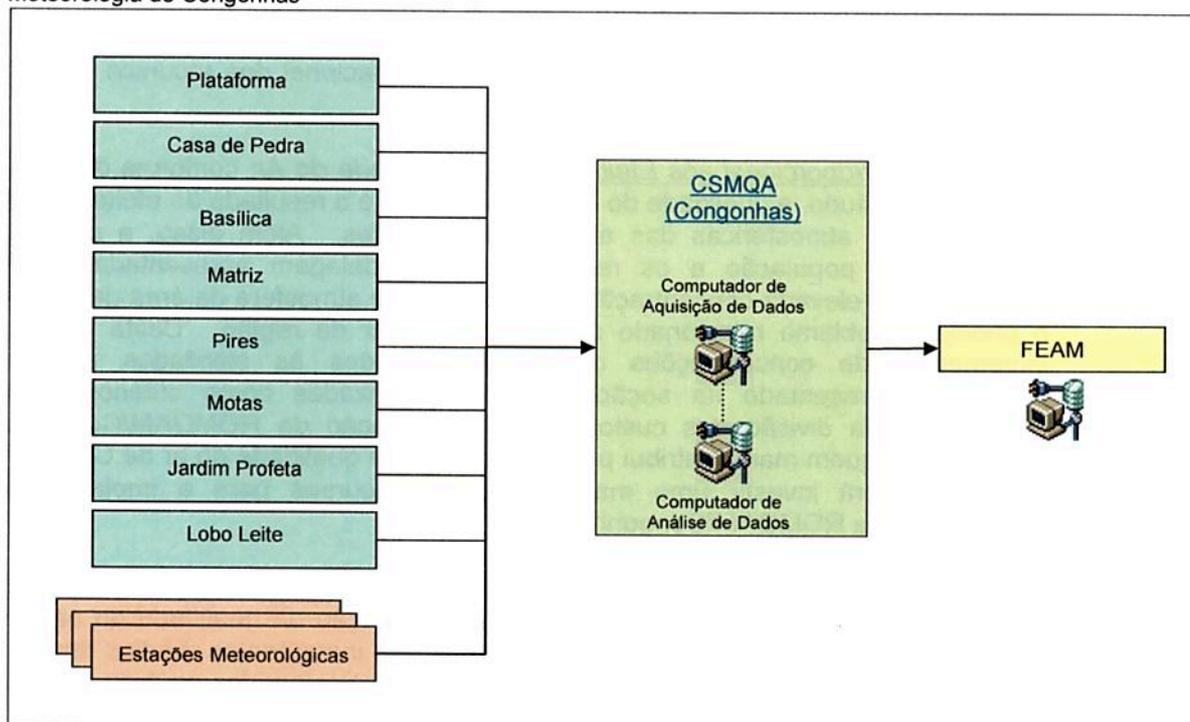
5.5.3.3 FLUXO DE DADOS

Conforme mencionado anteriormente, recomenda-se que a ROMQAM/Congonhas seja dotada de um Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar (CSMQA), que receberá 24 horas por dia, via telemetria, todos os resultados gerados pelos instrumentos de medição.

Simultaneamente, os dados de qualidade do ar e meteorologia medidos pela rede, poderão ser enviados via telemetria para a Central de Dados da FEAM, sendo então incorporados aos demais dados do monitoramento ambiental gerenciados por este órgão ambiental. Diariamente, os dados gerados pela rede no dia anterior serão validados no CSMQA e reenviados para a Central de Dados da FEAM para eventualmente substituir os dados brutos anteriormente enviados automaticamente.

O diagrama esquemático de fluxo de dados entre as estações de qualidade do ar, CSMQA e FEAM é apresentado na Figura 5.5.3.3.1.

Figura 5.5.3.3.1 – Diagrama Esquemático do Fluxo de Informações da Rede de Qualidade do Ar e Meteorologia de Congonhas



5.6 SUGESTÃO DE CRITÉRIOS DE DIVISÃO DOS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DA ROMQAM/CONGONHAS

A implementação da ROMQAM/Congonhas implicará em custos decorrentes da sua implantação (aquisição de equipamentos, materiais e softwares, preparação da infraestrutura dos locais das estações, serviços de instalação e configuração dos equipamentos) e da sua operação (peças sobressalentes e consumíveis, serviços de manutenção, calibração, tratamento e validação de dados).

As questões de custos permeiam as decisões acerca da efetiva implementação da ROMQAM/Congonhas e, naturalmente, vêm à tona questões relacionadas às responsabilidades e critérios para a divisão dos custos da implantação e operação da rede de monitoramento.

Neste estudo, visando viabilizar o processo de implementação da ROMQAM/Congonhas, e a título de sugestão, foi desenvolvida uma análise específica para os critérios de divisão dos custos da implementação da ROMQAM/Congonhas. Os critérios que nortearam os fatores de divisão dos custos são descritos a seguir:

- Consórcio: o estabelecimento de um consórcio entre as partes interessadas (FEAM, MPMG, Prefeituras e Empresas) possibilitará a implementação da ROMQAM/Congonhas de maneira isenta e imparcial, com a maximização dos benefícios com o compartilhamento dos dados gerados pela rede de monitoramento, ao mesmo tempo em que possibilitará o empenho racional dos recursos baseados em divisão dos custos operacionais comuns;
- Participação Proporcional aos Efeitos para a Qualidade do Ar: conforme descrito ao longo deste estudo, a qualidade do ar de uma região é o resultado do efeito sinérgico das emissões atmosféricas das atividades existentes. Além disso, a percepção ambiental da população e os resultados da modelagem apresentada (CMAQ) indicam que a elevada concentração de partículas na atmosfera da área de estudo é o principal problema relacionado à qualidade do ar da região. Desta forma, os incrementos de concentrações de PTS associados às atividades emissoras (conforme apresentado na seção 4.9) foram utilizados como critérios para a composição da divisão dos custos de implementação da ROMQAM/Congonhas. Desta forma, quem mais contribui para a alteração da qualidade do ar de Congonhas também deverá investir uma maior soma de recursos para a implantação e manutenção da ROMQAM/Congonhas.

A Tabela 5.6.1 (extrato da Tabela 4.9.1) apresenta a contribuição das atividades emissoras inventariadas na área de estudo para a alteração da qualidade do ar. Esta contribuição das atividades foi calculada em termos dos incrementos médios anuais de concentrações de PTS, nos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo (coincidentes com as áreas urbanas, seção 4.1).

Os resultados apresentados na Tabela 5.6.1 foram utilizados para estabelecer os critérios de divisão dos custos para a implementação da ROMQAM/Congonhas. A equação 5.6.1 apresenta a fórmula para o cálculo da participação de cada atividade no rateio dos custos para a implementação da ROMQAM/Congonhas.

$$P_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \times 100$$

(5.6.1)

onde:

- P_i = participação da atividade (empresa) para o custo de implementação da ROMQAM/Congonhas, [%];
- C_i = contribuição relativa da atividade (empresa) para o incremento das concentrações de PTS na área de estudo, calculado como o somatório dos efeitos da atividade nos pontos receptores discretos analisados (Tabela 5.6.1), [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
- i = índice da atividade, adimensional;
- n = total de atividades analisadas para compor os custos, adimensional.

Tabela 5.6.1 – Somatório das Contribuições Incrementais Médias Anuais de PTS das Atividades Emissoras Inventariadas Analisadas nos Pontos Receptores Discretos

Atividade	Somatório da Concentração de PTS nos Pontos Receptores [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
CSN - Casa de Pedra	110,7
Emissões Urbanas	144,6
Ferro +	6,9
Ferrous	39,8
Gerdau - Açominas	37,5
Gerdau - Miguel Burnier	10,6
Namisa ^b	66,8
Nogueira Duarte e Polaris	2,0
Vale - Complexo Fábrica	168,2
VSB	1,7
Outras Atividades ^a	9,7

Notas:

- Central Betom, Concretomix, Global, LGA, LS Metais, MPC, MRS, Monteminas e Precal;
- Inclui a atividade de Pelotização;
- Extrato da Tabela 4.9.1.

Com a aplicação da equação 5.6.1 aos resultados apresentados na Tabela 5.6.1 foi possível proceder à elaboração da Tabela 5.6.2, que contém o cômputo dos percentuais de participação das atividades inventariadas para a divisão dos custos de implementação da ROMQAM/Congonhas.

Tabela 5.6.2 – Sugestão de Divisão dos Custos Referentes à Implantação e Operação da ROMQAM/Congonhas

Atividade	Somatório da Concentração de PTS nos Pontos Receptores [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Participação [%]
Vale - Complexo Fábrica	168,2	37,1
CSN - Casa de Pedra	110,7	24,4
Namisa ^b	66,8	14,7
Ferrous	39,8	8,8
Gerdau - Açominas	37,5	8,3
Gerdau - Miguel Burnier	10,6	2,3
Ferro +	6,9	1,5
Nogueira Duarte e Polaris	2,0	0,4
VSB	1,7	0,4
Outras Atividades ^a	9,7	2,1

Notas:

a. Central Betom, Concretomix, Global, LGA, LS Metais, MPC, MRS, Monteminas e Precal;

b. Inclui a atividade de Pelotização.

Na passagem da Tabela 5.6.1 para a Tabela 5.6.2 foi excluída a linha referente às Emissões Urbanas.

As emissões urbanas são importantes no contexto da alteração da qualidade do ar, principalmente considerando os seus efeitos nos núcleos urbanos da área de estudo, conforme apresentado na Tabela 5.6.1.

As emissões de material particulado das emissões urbanas provêm, em sua quase totalidade, das emissões veiculares, provocadas pela ressuspensão das partículas depositadas nas superfícies das vias de tráfego.

As partículas que causam a sujidade das vias de tráfego, por sua vez, provêm de diferentes origens que incluem a atividade industrial, fontes naturais e as atividades urbanas em geral.

Estas partículas são trazidas para as vias urbanas aderidas aos veículos que trafegam em vias não pavimentadas, por processos erosivos naturais ou mesmo quando são depositadas na superfície das vias pelo efeito da dispersão e sedimentação dos poluentes advindos das outras fontes emissoras inventariadas.

Considerando a complexidade da origem das partículas depositadas nas vias de tráfego, e considerando que esta atividade emissora é compartilhada pelas atividades antropogênicas da área de estudo, as emissões urbanas foram excluídas do cômputo da divisão dos custos da ROMQAM/Congonhas.

6. CONTROLES DE EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO

A região de Congonhas contém em sua matriz produtiva um considerável parque de empreendimentos, principalmente relacionado à mineração e siderurgia, cujas atividades exercem pressão sobre o recurso ar, tendo as emissões de material particulado como um importante aspecto ambiental.

Em complemento às emissões originadas nas atividades da indústria, as vias de tráfego da região representam importante atividade emissora de material particulado⁶, que por suas características locais⁷ exercem grande influência para a alteração da qualidade do ar dos núcleos urbanos, onde existe maior densidade populacional.

Conforme descrito nas seções anteriores, a percepção ambiental da população da região e os resultados da modelagem de qualidade do ar realizada convergem no sentido de indicar as partículas (poeira) como o principal poluente atmosférico da região de estudo.

A ROMQAM/Congonhas, cujo dimensionamento é o objeto deste estudo, propiciará o acompanhamento das concentrações dos poluentes atmosféricos e das condições meteorológicas da atmosfera da área de estudo.

Assim, a implementação da ROMQAM/Congonhas possibilitará o conhecimento adequado das condições da atmosfera da região de Congonhas, inclusive com o devido estabelecimento do enquadramento dos níveis de poluentes perante os padrões de qualidade do ar vigentes. Neste termos, a ROMQAM/Congonhas é caracterizada como uma ação de conhecimento e monitoramento.

O pleno conhecimento do estado da atmosfera da região possibilitará a adequada avaliação da eficácia de medidas de controle das emissões a serem desenvolvidas, possibilitando acompanhamento da evolução histórica dos níveis de poluentes na atmosfera, e com isso propiciando o emprego adequado de recursos para o controle de emissões. Nesta linha de ação a ROMQAM/Congonhas cumprirá o papel de avaliação de resultados de um plano de controle e monitoramento da qualidade do ar da região.

No entanto, o adequado monitoramento da qualidade do ar obviamente não produzirá, sozinho, a redução dos atuais níveis de partículas presentes no ar da cidade. A melhoria da qualidade do ar da região de Congonhas, almejada pelas comunidades, estado e empresas, deve ser alvo do estabelecimento e implementação de um plano de ação de melhorias, capaz de controlar de forma mais eficaz a emissão de material particulado, tanto nos empreendimentos quanto nas vias de tráfego urbanas de Congonhas.

Nesta seção, em síntese, são apresentadas ações e oportunidades de melhoria nos controles de emissões de material particulado das principais fontes emissoras da região de Congonhas que, identificadas com base nos inventários de emissões atmosféricas e dos seus respectivos efeitos para a atmosfera, são:

- ❑ Emissões de MP provenientes de vias de tráfego não pavimentadas;
- ❑ Emissões de MP provenientes do arraste eólico de superfícies expostas;
- ❑ Emissões de MP provenientes da ressuspensão de partículas depositadas em vias de tráfego pavimentadas.

⁶ Proveniente em sua quase totalidade da ressuspensão de partículas depositadas nas vias de tráfego.

⁷ As vias de tráfego estão inseridas nos núcleos urbanos (áreas de maior densidade populacional). Esta característica acarreta em impactos majorados nos receptores localizados nas proximidades das vias.

Os resultados obtidos no inventário de emissões atmosféricas e nas modelagens de qualidade do ar realizadas indicam que estes 3 grupos de fontes emissoras são responsáveis pelas maiores emissões de material particulado na área de estudo e que seu efeito combinado, em geral, corresponde a mais de 95%⁸ da alteração da qualidade do ar causada por partículas (poeira) na área de estudo.

De um modo geral, as tecnologias de controle das emissões de material particulado em fontes difusas atuam no sentido de impedir o lançamento para o ar ambiente das partículas mais finas superficialmente disponíveis, potencialmente vulneráveis de serem capturadas pelo de vento e mantidas em suspensão pelo ar.

A fixação das partículas nas superfícies e a redução das emissões de MP podem ser obtidas de diferentes formas, dentre as quais se destacam: (1) alteração das propriedades físico-químicas das superfícies, como exemplo o aumento da umidade e coesão das partículas; (2) através da contenção das partículas nas superfícies com introdução de barreiras físicas que impeçam o arraste eólico; (3) através da remoção das partículas finas da superfície⁹; (4) evitando a deposição de partículas em superfícies pavimentadas.

Nas próximas seções são descritas as principais características dos 3 grupos de fontes emissoras citados e as respectivas oportunidades de melhoria relacionadas à redução das emissões de material particulado.

6.1 VIAS DE TRÁFEGO NÃO PAVIMENTADAS

Em linhas gerais, o processo de emissão de material particulado na superfície de uma via não pavimentada ocorre da seguinte maneira. Quando um veículo percorre uma via não pavimentada, a pressão das rodas sobre a superfície da via faz com que ocorra a pulverização do material. As partículas mais finas e soltas depositadas na superfície das vias são suspensas pelo atrito com os pneus e pelas correntes de ar formadas pela intensa turbulência causada pela movimentação do veículo. Mesmo após a passagem do veículo, a esteira turbulenta formada pelo seu deslocamento continua a agir provocando a suspensão de partículas finas e soltas na superfície da via.

A Figura 6.1.1 exemplifica a ocorrência da emissão de material particulado em uma via de tráfego não pavimentada utilizada para o transporte de minério.

⁸ A contribuição para a alteração da qualidade do ar varia em função da posição dos pontos receptores e localização das fontes emissoras. O valor de 95% é uma aproximação geral baseada nos resultados médios obtidos no inventário de emissões atmosféricas e pela modelagem dos efeitos para a alteração da qualidade do ar provocados pelas atividades inventariadas.

⁹ Aplicáveis às vias pavimentadas.

Figura 6.1.1 – Exemplo da Ocorrência de Emissão de Material Particulado Decorrente do Tráfego de Veículos em Vias Não Pavimentadas



As técnicas de controle indicadas para as vias de tráfego não pavimentadas baseiam-se no tratamento da superfície da via, de modo a manter níveis adequados de umidade e coesão das partículas da sua camada mais superficial.

Dentre as ações de controle recomendadas incluem-se:

1. UMECTAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS

A umectação das vias não pavimentadas é uma das técnicas mais difundidas e eficazes para o controle de emissões em vias de tráfego não pavimentadas. A aspersão de água na superfície desse tipo de via propicia o controle imediato das emissões de material particulado, mas com eficácia de curto prazo, enquanto perdurar a alta umidade da camada superficial da pista de rolamento.

A aplicação de água na superfície das vias não pavimentadas implica em um maior consumo de água para a unidade industrial. Assim, o benefício ambiental da redução da emissão de poeira com a umectação das vias provoca o incremento do uso consuntivo da água, que é um efeito colateral implicando em aumento da pressão sobre o recurso água, escasso em algumas localidades.

Para que esta medida de controle seja eficaz, os recursos utilizados para a umectação das vias de tráfego não pavimentadas precisam ser adequadamente empenhados. Em geral, a aplicação de água na superfície das vias pode ser realizada com a utilização de caminhões pipa equipados com aspersores ou mesmo sistemas fixos de aspersão.

Em geral, as vias perenes são aptas para a umectação com sistemas de aspersão fixos ou carros pipa, enquanto que em vias de menor porte e acessos temporários a aspersão com utilização de caminhões pipa apresenta maior flexibilidade e possibilidade de alcance e atuação.

2. TRATAMENTO DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS

Conforme descrito, a umectação das superfícies das vias não pavimentadas incrementa o consumo de água, porque grandes quantidades deste recurso são necessárias para a manutenção da umidade superficial das vias de tráfego não pavimentadas. Estas quantidades são majoradas nas épocas mais secas do ano, quando a eficiência de controle por umectação decai rapidamente devido à redução da umidade do ar e aumento da taxa de evaporação.

Adicionalmente à umectação das vias não pavimentadas, recomenda-se a implementação do tratamento das vias não pavimentadas, que proporcionam os seguintes benefícios: (1) a redução do consumo de água e (2) a redução do uso de recursos (pessoal, equipamento, energia e combustíveis) para o controle das emissões de material particulado.

Os principais tipos de tratamento para vias não pavimentadas são:

- Aplicação de Aditivos Químicos: esta ação relaciona-se à aplicação de aditivos químicos surfactantes e/ou de polimerização com objetivo de melhorar as propriedades da superfície da via, reduzindo seu potencial de emissão de material particulado.

Os aditivos surfactantes permitem a melhor penetração da água na superfície da via, enquanto os polímeros unem as partículas finas de poeira produzindo uma massa mais coesa, mais pesada e de maior granulometria.

Os aditivos químicos supressores de poeira são diluídos em solução aquosa, sendo aplicados por carros pipa sobre a superfície da via de tráfego, de forma sistemática, provocando a alteração das propriedades físicas do solo da camada superficial da via, reduzindo a geração de poeira com redução da frequência de aplicação e do uso de água.

- Adequação do Material de Cobertura da Via: esta ação relaciona-se à redução do potencial de pulverização do material superficial da via, minimizando uma das causas básicas da emissão de poeira da via não pavimentada.

A implementação desta ação consiste do estudo, projeto e escolha de materiais (solos) para a composição da superfície das vias não pavimentadas que apresentem maior resistência mecânica e coesão, reduzindo a necessidade de uso da água ou aditivos químicos.

Para que as ações de controle da emissão de MP em vias de tráfego não pavimentadas atinjam os objetivos propostos, um adequado plano deve ser desenvolvido e seguido, incluindo itens fundamentais, dentre os quais se destacam:

- Rotas de umectação e tratamento, considerando as vias de tráfego prioritárias, relacionadas aos trechos de vias com maior tráfego de veículos e locais mais propensos à emissão de MP devido às características da superfície da via;
- Localização estratégica de pontos de abastecimento para caminhões pipa, pontos de captação para aspersão fixa e disponibilidade de água para a aspersão, inclusive com a previsão das variações sazonais (estações seca e chuvosa);

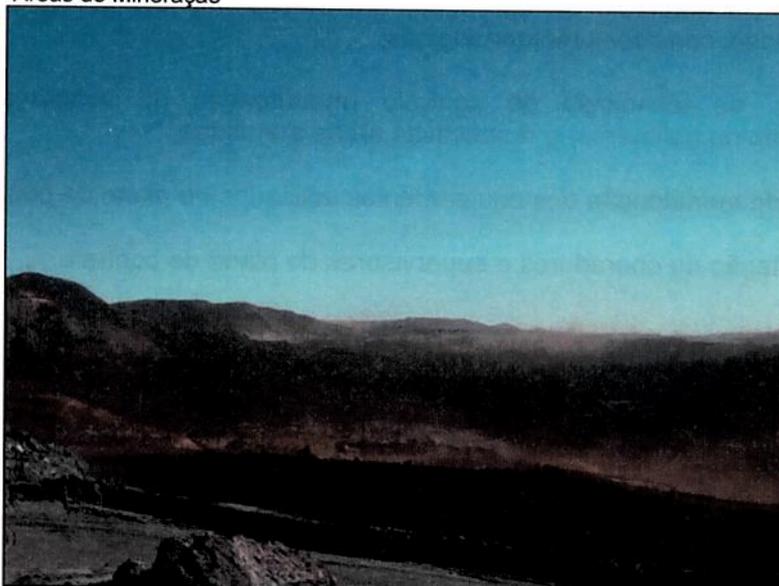
- Previsão da disponibilidade física de equipamentos e recursos para a adequada implementação do plano de controle, considerando ainda as variações sazonais (estações seca e chuvosa);
- Frequência (intervalo de aplicação) e dosagem aplicação de água (l/m^2) e/ou aditivos, em função das condições das vias, condições meteorológicas, entre outras variáveis;
- Tecnologia de controle, caminhões pipa, aplicação de aditivos, adequação da superfície da via ou aspersores fixos e respectivas vias atendidas;
- Ações de manutenção dos equipamentos utilizados no plano de controle;
- Capacitação de operadores e supervisores do plano de controle.

6.2 SUPERFÍCIES EXPOSTAS

São fontes que, sujeitas à ação do vento, sofrem erosão superficial emitindo poeira, mesmo que não apresentem movimentação de material ou tráfego de máquinas e veículos. As áreas expostas 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.

As emissões de arraste eólico são particularmente mais severas e causadoras de episódios críticos de alteração da qualidade do ar em períodos mais secos do ano, devido à ocorrência concomitante de ventos fortes e superfícies secas. A Figura 6.2.1 apresenta um exemplo de ocorrência de emissão de MP em superfícies expostas em áreas de mineração, pode-se notar a grande extensão das fontes emissoras, o que implica em grande potencial de emissão e alteração crítica da qualidade do ar.

Figura 6.2.1 – Exemplo da Ocorrência de Emissão de Material Particulado Decorrente do Arraste Eólico em Superfícies Expostas em Áreas de Mineração



No caso das superfícies, a técnica de controle consiste em estabelecer a fixação ou a cobertura da área, de forma que a suscetibilidade ao arraste eólico seja minimizado (ou anulado). As principais ações para o controle das emissões das superfícies expostas são:

- ❑ Manutenção da Cobertura Vegetal: a cobertura vegetal de uma área a ser minerada deve ser mantida pelo maior prazo possível, devendo ser removida apenas quando forem iniciados os procedimentos de extração mineral;
- ❑ Revegetação de Áreas Expostas: o plantio de espécies preferencialmente nativas nas áreas de taludes, pilhas de estéril, acessos, praças e áreas de lavra deve ser realizado sempre que estes apresentem tempos de inatividade operacional superiores a 6 meses, segundo o plano de lavra;
- ❑ Aplicação de Polímeros: esta ação relaciona-se à aplicação de aditivos químicos de polimerização com objetivo estabilizar e cobrir as superfícies expostas, reduzindo seu potencial de emissão de material particulado. De uma forma geral, existem diversos produtos disponíveis no mercado, como polímeros de emulsão acrílica ou polímeros solúveis em água que, depois de aplicados, formam uma fina camada de proteção sobre as superfícies expostas, criando película de revestimento aderida à superfície, minimizando o arraste eólico de poeira. Alguns desses polímeros têm uma duração de mais de 6 meses após uma única aplicação, resistindo ao sol e à chuva.

O sucesso das ações de controle das emissões de material particulado devido ao arraste eólico são dependentes da adequada implementação de um plano de controle, incluindo itens fundamentais, dentre os quais se destacam:

- ❑ Identificação das áreas sujeitas à erosão eólica prioritárias ao controle;
- ❑ Previsão da disponibilidade física de equipamentos e recursos para a adequada implementação do plano de controle, considerando ainda as variações sazonais (estações seca e chuvosa);
- ❑ Frequência (intervalo de aplicação) em função das condições das vias a serem umectadas, condições meteorológicas;
- ❑ Escolha da tecnologia de controle (manutenção da vegetação, revegetação, aplicação de polímeros) e respectivas áreas atendidas;
- ❑ Ações de manutenção dos equipamentos utilizados no plano de controle;
- ❑ Capacitação de operadores e supervisores do plano de controle.

6.3 VIAS DE TRÁFEGO PAVIMENTADAS

Emissões de partículas ocorrem sempre que veículos percorrem uma via pavimentada que apresentem sujeira na sua superfície. A turbulência provocada pela passagem do veículo e o atrito dos pneus com a pista de rolamento promovem a ressuspensão da poeira ali depositada, num processo semelhante ao que ocorre nas vias não pavimentadas.

Por sua vez, as partículas depositadas na superfície das vias têm sua origem em diferentes processos, incluindo dentre outros: deterioração do pavimento, derrame de

material contido em veículos de transporte, material aderido aos veículos que trafegam em vias não pavimentadas, carreamento de sedimentos causado por chuvas e alagamentos, deposição de poeira emitida por outras fontes emissoras.

A Figura 6.3.1 apresenta a vista de dois diferentes pontos situados Av. Júlia Kubitscheck (na área urbana de Congonhas). Nestas fotografias é possível notar a grande quantidade de material depositado sobre a superfície das vias de tráfego.

Figura 6.3.1 – Exemplos de Vias Pavimentadas com Ocorrência de Partículas Depositadas na Superfície – Avenida Júlia Kubitscheck, Congonhas, MG



(a) Próximo à Prefeitura



(a) Próximo ao Posto de Informações Turísticas

As ações para o controle das emissões de material particulado proveniente da ressuspensão em vias pavimentadas atuam no sentido de reduzir da quantidade de partículas depositadas nas vias, minimizando a emissão de MP. As ações principais recomendadas para este controle são:

- Lavadores de Veículos (Rodas e Estrutura): esta ação objetiva reduzir a disponibilidade de material sobre as superfícies das vias pavimentadas, minimizando o transporte de terra e lama aderidas aos veículos que trafegam em vias não pavimentadas e em frentes de trabalho não pavimentadas.

Recomenda-se que as empresas e outras atividades que apresentem características operacionais compatíveis com a ocorrência de interfaces entre áreas não pavimentadas e vias pavimentadas instalem sistemas de controle para a lavagem de rodas e estrutura inferior dos veículos.

Recomenda-se que os lavadores de veículos sejam instalados em pontos estrategicamente posicionados para evitar o transporte de material para as vias pavimentadas. Em geral, tais sistemas de controle devem ser instalados nas interfaces dos acessos não pavimentados com as vias pavimentadas.

Em casos específicos, recomenda-se ainda a instalação de lavadores de veículos nas saídas das empresas, no limite de acesso às vias públicas, como forma de prevenir a ocorrência de sujeira das vias que integram a malha viária dos núcleos urbanos.

- Adequação do Volume da Carga dos Caminhões de Transporte: o derrame de material das caçambas sobre as vias é geralmente causado pelo volume excessivo do material transportado, acima dos limites das caçambas dos caminhões de transporte, ou pela falta de estanqueidade da caçamba.

Uma simples medida para a redução desta causa básica da sujidade das pistas de rolamento é a adequação do volume de material transportado aos limites de cada veículo de transporte. Outra medida é manter as caçambas dos caminhões bem conservadas, evitando vazamento de materiais, o que pode ser agravado quando o material transportado tem alto teor de umidade (lama);

- Cobertura (Lonamento) da Carga dos Caminhões de Transporte: mesmo com a carga de materiais a granel limitada às dimensões dos caminhões, o arraste eólico de material pode ocorrer devido ao escoamento turbulento do ar causado pelo movimento dos caminhões em velocidade normal de tráfego. Este material emitido causa a sujidade das vias de tráfego.

Para minimizar esta causa da sujidade das pistas de rolamento, recomenda-se a cobertura das caçambas dos caminhões com lona. Recomenda-se que os veículos de transporte sejam cobertos com lona imediatamente após o seu carregamento.

- Limpeza das Vias Pavimentadas: esta ação de controle cumpre o objetivo de retirar das vias pavimentadas, os materiais que porventura tenham sido trazidos pelos diferentes meios.

Esta é uma medida preventiva das emissões de material particulado, por reduzir o potencial de ressuspensão de partículas. Contudo, trata-se de uma medida adicional que visa corrigir desvios e sanar ocorrências de sujidade das pistas de rolamento. Naturalmente, a manutenção das vias limpas não está relacionada somente à ação de limpeza das mesmas, mas sim ao controle para evitar que os materiais sejam depositados nas superfícies.

Recomenda-se a manutenção dos procedimentos de limpeza de vias públicas atualmente utilizados, incluindo:

- Varrição;
- Raspagem para retirada de materiais;
- Lavagem das vias.

Recomenda-se que estes procedimentos de limpeza das vias sejam adotados também em vias pavimentadas industriais, igualmente suscetíveis à sujidade que desencadeia as emissões por ressuspensão de partículas.

7. CONCLUSÃO

As atividades existentes na região de Congonhas (empreendimentos e núcleos urbanos) exercem pressão sobre o recurso ar, à medida que as emissões atmosféricas provenientes destas atividades produzem alterações na qualidade do ar.

Recentemente, têm sido frequentes as manifestações de comunidades com relação a eventos de poluição do ar, principalmente na cidade de Congonhas. Neste cenário, em condições específicas, são eventualmente registrados episódios agudos de poluição do ar por material particulado (poeira) visíveis a olho nu.

Identifica-se que a percepção ambiental da população com relação à qualidade do ar relaciona-se principalmente ao poluente denominado material particulado (poeira). As manifestações das comunidades, em geral, referem-se às questões de saúde da população, preservação do patrimônio histórico e artístico do município de Congonhas, e bem-estar da população afetada pela sujidade causada pela poeira.

Não obstante à percepção ambiental da população, corroborada pelos eventos críticos de emissões de poeira, atualmente a região de Congonhas não dispõe de um sistema de monitoramento capaz de caracterizar a qualidade do ar de forma adequada, o que impossibilita o seu enquadramento com relação aos padrões de qualidade do ar vigentes e dificulta a elaboração e o acompanhamento de planos estratégicos de controle das emissões e da melhoria da qualidade do ar.

As atuais iniciativas de monitoramento são pontuais, realizadas por alguns dos empreendimentos existentes na região. Estes planos de monitoramento da qualidade do ar em geral são executados de maneira individualizada, com baixa frequência de amostragem e de forma assíncrona entre si, não considerando os efeitos sinérgicos da poluição emitida pelas diversas fontes, o que produz resultados de baixa utilidade para as atividades de gestão da qualidade do ar da região.

Considerando esta lacuna de conhecimento acerca da qualidade do ar da região de Congonhas, este estudo foi elaborado, em atendimento à demanda do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, através da Coordenação Regional das Promotorias de Justiça e Meio Ambiente das Bacias dos Rios das Velhas e Paraopeba, em parceria com a Ferores Resources do Brasil, com o objetivo principal de dimensionar uma Rede Otimizada para o Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia para a Região de Congonhas, MG.

Ao longo deste documento foram apresentados subsídios para a construção do conhecimento necessário para diagnosticar a qualidade do ar da região de Congonhas, 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. Dentre as informações produzidas neste estudo destacam-se:

- *Inventário de Emissões Atmosféricas*: desenvolvido com base na matriz produtiva e características de uso e ocupação do terreno, este inventário possibilitou o adequado reconhecimento do aporte de emissões atmosféricas da região, atuando como base para o reconhecimento da atual qualidade do ar e devidas projeções do cenário futuro de desenvolvimento.

O inventário de emissões atmosféricas contemplou as principais atividades emissoras de poluentes atmosféricos da região, abrangendo desde as grandes empresas do parque minero-siderúrgico, até as empresas de menor porte e potencial poluidor. No inventário de emissões atmosféricas também foram contabilizadas as emissões provenientes das atividades urbanas da área de estudo e as emissões provenientes de queimadas e fontes emissoras naturais.

Para possibilitar a visão estratégica com relação ao cenário futuro de qualidade do ar da região, o inventário de emissões atmosféricas foi delineado sob duas condições: (1) Cenário de Referência, para o estabelecimento do *baseline* de emissões atmosféricas e (2) Cenário Projetado, para o estabelecimento das projeções das emissões atmosféricas futuras, considerando a hipótese Tendencial de desenvolvimento, ou seja, considerando os incrementos das atividades produtivas sob o mesmo modelo operacional e de controle de emissões atmosféricas.

- Qualidade do Ar da Região: considerando a atual lacuna de dados de monitoramento da qualidade do ar, o estudo dos níveis de poluentes atuais e futuros (projetados) para a área de estudo foi desenvolvido com a aplicação de técnicas avançadas de modelagem da qualidade do ar.

Os resultados obtidos neste estudo, por meio de modelagem matemática numérica, corroboram com a percepção ambiental da população da região. Em geral, a qualidade do ar da área de estudo é alterada pelos poluentes da classe das partículas (PTS e PI) e os níveis de poluentes simulados indicam inclusive a potencialidade de extrapolação¹⁰ dos limites preconizado pela Resolução CONAMA 03/1990 como padrões de qualidade do ar, em locais específicos da área de estudo. Em geral, estes locais se situam no entorno imediato das principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos inventariadas.

Analogamente ao desenvolvimento dos inventários de emissões atmosféricas, o estudo da qualidade do ar da região foi desenvolvido a caráter de diagnóstico com base no Cenário de Qualidade do Ar de Referência (*baseline*) e Cenário Projetado.

O Cenário Projetado foi ainda utilizado como base para o desenvolvimento do projeto da ROMQAM/Congonhas e para o estabelecimento da contribuição incremental projetada de cada atividade emissora para a alteração da qualidade do ar da região de Congonhas.

Identifica-se que as maiores contribuições para a alteração da qualidade do ar proveem das atividades industriais da região, com foco principal sobre as vias de tráfego não pavimentadas e nas áreas sujeitas ao arraste eólico de material particulado, e das vias de tráfego urbanas, em especial, aquelas situadas nos núcleos urbanos exercem forte influência para a alteração da qualidade do ar, alcançando os principais receptores considerados neste estudo.

Notadamente, as emissões de material particulado nas vias urbanas são provenientes do processo de ressuspensão das partículas depositadas nas superfícies das vias.

¹⁰ Por ora, os resultados indicam a potencialidade de extrapolação dos padrões de qualidade do ar para PTS e PI. Esta condição deve ser verificada mediante análise específica com base em dados de monitoramento a serem gerados pela ROMQAM/Congonhas a ser instalada. Os resultados da modelagem são uma aproximação da realidade produzidos com base em simulações computacionais.

- Dimensionamento da ROMQAM/Congonhas: objetivo principal deste trabalho, o dimensionamento da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da Região de Congonhas foi realizado com base no conhecimento desenvolvido neste estudo, compreendendo as características do terreno, condições meteorológicas, inventário de emissões atmosféricas, condições de dispersão de poluentes na atmosfera e prognóstico da qualidade do ar.

A ROMQAM/Congonhas foi projetada com base no algoritmo de otimização denominado Figuras de Mérito e Esferas de Influência, que preconiza a utilização do número adequado de monitores (estações) minimamente necessários para proporcionar a cobertura espacial adequada das áreas prioritárias ao monitoramento, ou áreas de maior mérito. Segundo a técnica empregada neste projeto, a rede de monitoramento é classificada como otimizada por empreender os mínimos recursos necessários para o adequado monitoramento da área de estudo, racionalizando a forma de aplicação dos mesmos, maximizando a cobertura espacial de monitoramento.

Da forma como projetada, a ROMQAM/Congonhas deverá proporcionar a adequada cobertura das áreas urbanas do município de Congonhas, em termos da qualidade do ar e condições meteorológicas que influenciam nas emissões atmosféricas e na qualidade do ar.

As especificações das tecnologias dos monitores e sensores e equipamentos para a implementação da ROMQAM/Congonhas sugeridas neste trabalho, seguem uma tendência mundial e estão alinhados com as práticas e tecnologias mais modernas e eficientes empregadas internacionalmente. Dentre outras vantagens, a ROMQAM/Congonhas será totalmente automatizada, possibilitando o acompanhamento ininterrupto das condições atmosféricas da região.

Este acompanhamento ininterrupto e síncrono das condições de qualidade do ar e meteorológicas da região possibilita a avaliação e o pleno entendimento acerca dos episódios de alteração da qualidade do ar que eventualmente possam ocorrer, incluindo o rastreamento das potenciais fontes emissoras responsáveis.

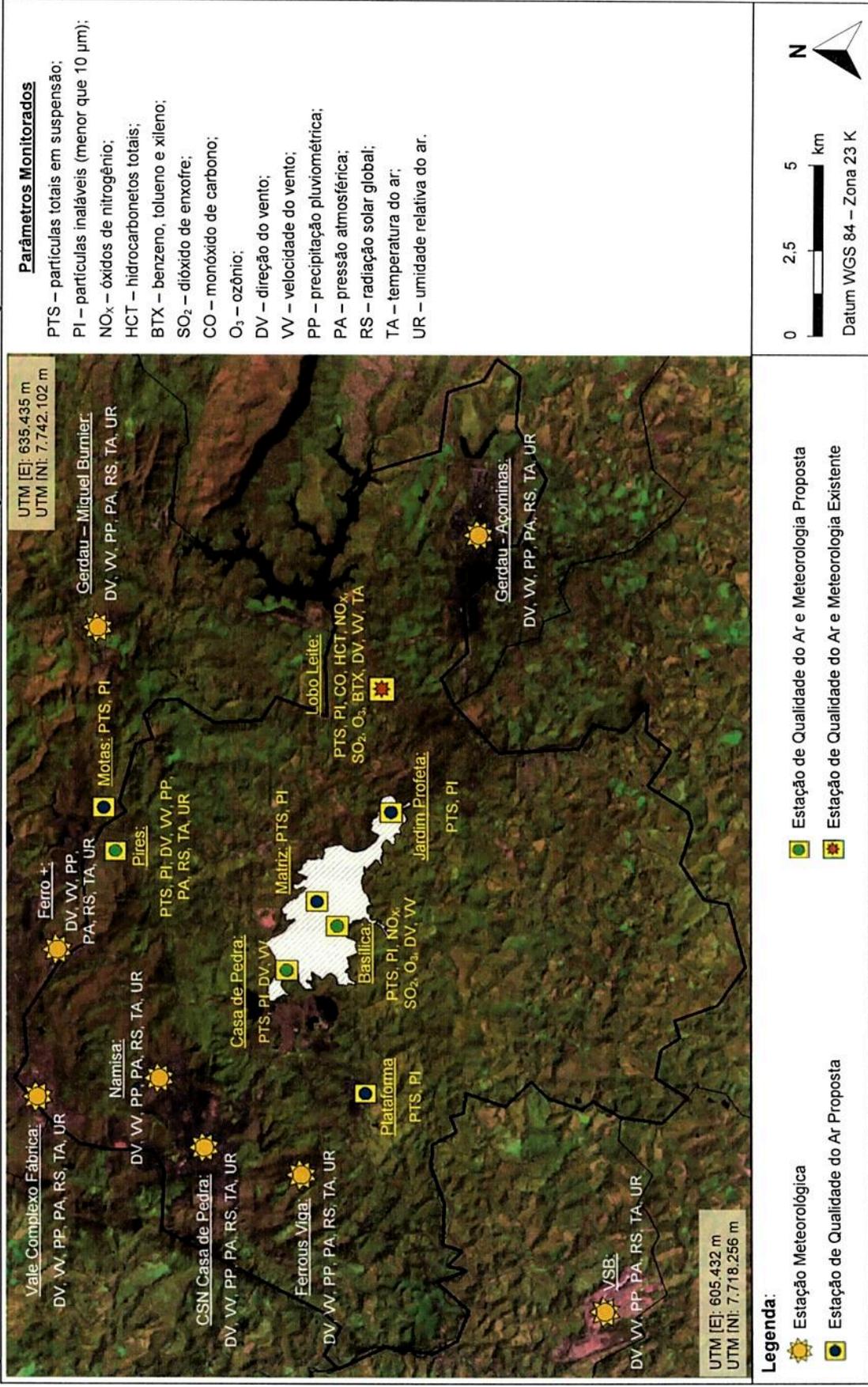
O acompanhamento da série histórica de concentrações de poluentes na atmosfera da região, que se iniciará com a operação da rede de monitoramento projetada, poderá ainda ser utilizado como critério de avaliação de desempenho dos planos de controle de qualidade do ar eventualmente doravante implementados. Neste contexto, os resultados históricos da ROMQAM/Congonhas podem retroalimentar os planos de gestão da qualidade do ar com indicação da resposta, em termos da qualidade do ar (efeitos), para as melhorias que implicam na redução das emissões de material particulado (causas). Dessa forma, mais uma vez, a ROMQAM/Congonhas promoverá o uso racional de recursos, com priorização daquelas medidas que gerem maiores benefícios para a qualidade do ar da região.

Sugere-se que as ações da ROMQAM/Congonhas sejam desenvolvidas mediante o estabelecimento de um consórcio entre as partes interessadas (FEAM, MPMG, Prefeituras e Empresas) possibilitando a sua implementação de maneira isenta e imparcial, com a maximização dos benefícios com o compartilhamento dos dados gerados pela rede de monitoramento, ao mesmo tempo em que, possibilitará o empenho racional dos recursos financeiros baseados em divisão dos custos operacionais comuns.

Além disso, sugere-se que as cotas de participação para o custeio da rede de monitoramento sejam estabelecidas de maneira proporcional aos efeitos para a qualidade do ar causados pelas atividades emissoras, tendo como critério a contribuição incremental para a alteração da qualidade do ar de cada empreendimento instalado (Capítulo 5).

A ROMQAM/Congonhas projetada integra ao todo 8 estações de qualidade do ar, além das estações meteorológicas associadas aos principais empreendimentos industriais da região. As estações de monitoramento relacionadas e seus respectivos parâmetros monitorados são apresentados na Figura 7.1.

Figura 7.1 – Arranjo Geral da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Congonhas (ROMQAM/Congonhas)



8. EQUIPE TÉCNICA

Luiz Cláudio D. Santolim	Coordenador Técnico Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico CREA-ES 4531/D IBAMA 579.921
Flávio Curbani	Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico Engenheiro de Segurança do Trabalho CREA-ES 007864/D IBAMA 531.651
Jonas William Gomes e Silva	Tecnólogo em Saneamento Ambiental Graduando em Geografia CREA-ES 022132/D IBAMA 4.239.504
Kassia Nascimento Cavassani	Tecnóloga em Saneamento Ambiental Graduanda em Engenharia Química IBAMA 4.066.440
Tatiane Jardim Morais	Técnica em Meio Ambiente Graduanda em Química IBAMA 5.014.892
Luiz Arlindo Kohler	Analista de Sistemas
Millene Leão Borges da Silva	Analista de Sistemas
Mayko Rodrigues Vieira	Analista de Sistemas
Julius Cesar Zamprogno Mergulhão	Estagiário de Engenharia Ambiental
Luiz Eduardo Scotta Angeli	Estagiário de Engenharia Ambiental
Thiago Lima Pereira	Estagiário de Engenharia Ambiental

9. AGRADECIMENTOS

A equipe técnica expressa seus sinceros agradecimentos às profissionais da Diretoria de Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Congonhas, abaixo relacionadas, pelo apoio em todas as fases de desenvolvimento deste estudo.

Diana Aparecida de Sena

Diretora de Meio Ambiente

Cláudia Goret Camargos

Chefe do Departamento de Fiscalização e Monitoramento Ambiental

Elisiane Fátima da Silva

Engenheira Florestal

10. BIBLIOGRAFIA

Agência Nacional de Águas (ANA), 2011. **Sistema Hidroweb – Dados Hidrológicos/Séries Históricas**. Disponível em <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 01 mar 2011.

Agência Nacional do Petróleo (ANP), 2009. **Vendas pelas Distribuidoras dos Derivados Combustíveis de Petróleo**. Disp.: www.anp.gov.br. Acesso em: 19/01/2010

BRAGA, B.; HESPANHOL, I; *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2 ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2005.

BRASIL. **Lei Nº 6.938 de 31 de Agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Presidência da República – Casa Civil – Subchefia para assuntos jurídicos, 1981.

BRIGGS G.A. **Some Recent Analysis of Plume Rise Observations**. Proceedings of the Second International Clean Air Congress. New York, USA: Academic Press. 1971.

BORBA, B. S. M. C. **Metodologia de Regionalização do Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, 136 p., Rio de Janeiro, 2008.

CAPULLI, D.; NOVELLO, V. **Condensação Bifásica de Vapores Orgânicos Emitidos por Operações de Transferência em Tanques de Estocagem de Combustíveis e Solventes Orgânicos**. In: RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, 2007, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, IBP. Disponível em: <www.capmetal.com.br/novo/_artigos/pipeline.doc>. Acesso em 20 set 2010.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **24º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG**. 2009 Disponível em: <www.cemig.com.br/NossosNegocios/Documents/24%20Balanco%20energetico.pdf> Acesso em 11 jul 2011.

CETESB – Companhia de Tecnologia do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo**. 290 p., 2009. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>. Acesso em 14 set 2011.

Community Multiscale Air Quality (CMAQ). Disponível em: <http://www.cmaq-model.org/>, acesso em 08 dez 2011.

Community Multiscale Air Quality (CMAQ). Operational Guidance for the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. Institute for Environment. University of North Carolina at Chapel Hill. Chapel Hill. June 2010. Disponível em: http://www.cmascenter.org/help/model_docs/cmaq/4.7.1/CMAQ_4.7.1_OGD_28june10.pdf, acesso em 25 de janeiro de 2012.

Compilation of Air Pollutant Emission Factor - Fifth Edition Volume I: Stationary Point and Areas Sources. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 2005.

DAVID, F.N. **Tables of the Ordinates and Probability Integral of the Distribution of the Correlation Coefficient in Small Samples**. London: Biometrika Office, 1938.

Departamento de Estradas e Rodagem de Minas Gerais (DER/MG). 2009. **Volume Médio Diário Anual de Tráfego em Minas Gerais**. Disponível em: [www.der.mg.gov.br/images/Volume_de_Trafego/volumemediodiarioanualdetrafego\(1\).pdf](http://www.der.mg.gov.br/images/Volume_de_Trafego/volumemediodiarioanualdetrafego(1).pdf). Acesso em 07 de março de 2012.

Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes (DNIT – Ministério dos Transportes). 2009. Dados dos Redutores Eletrônicos de Velocidade - REV. Veículos por categoria por hora – BR 040, kms 592,14 e 613. Disponível em: www1.dnit.gov.br/aplweb/sis_siaet/REV/resultado.asp?UF=MG&Ano=2005&Mes=agosto&BR=BR%20262. Acesso em 07 de março de 2012.

Environmental Protection Agency (EPA). Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. **Chapter 4.10 - Commercial/Consumer Solvent Use**. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch04/final/c4s10.pdf>, acesso em 14 dez 2011.

Environmental Protection Agency (EPA). Atmospheric Modelling and Analysis Division. CMAQ Science Documentation. **Chapter 12 - Meteorology-Chemistry interface processor (MCIP) for models-3 community multiscale air quality (CMAQ) modeling system**. Disponível em: <http://www.epa.gov/asmdnerl/CMAQ/ch12.pdf>, acesso em 08 dez 2011.

Environmental Protection Agency (EPA). Atmospheric Modelling and Analysis Division. CMAQ Science Documentation. **Chapter 13 - The initial concentration and boundary condition processors**. Disponível em: <http://www.epa.gov/asmdnerl/CMAQ/ch13.pdf> > Acesso em 08 dez 2011.

Environmental Protection Agency (EPA). Atmospheric Modelling and Analysis Division. CMAQ Science Documentation. **Chapter 14 - Photolysis rates for cmaq**. Disponível em: <http://www.epa.gov/asmdnerl/CMAQ/ch14.pdf> > Acesso em 08 dez 2011.

Environmental Protection Agency (EPA). New Source Review. **Prevention of Significant Deterioration (PSD) Basic Information**. Disponível em: <http://www.epa.gov/NSR/psd.html> > Acesso em 08 dez 2011.

European Commission. **Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council**. Official Journal of the European Union. European Union. 2008.

European Commission. **Reference Documents**. 2011, Disponível em: <http://eippcb.jrc.es/reference/>>. Acesso em 12 dez 2011.

GERDAU - AÇOMINAS. **Dimensionamento da Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da Gerdau - Açominas**. RTC07103. Elaborado por EcoSoft. Ouro Branco, M.G., novembro de 2007.

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA DIAS, P.L.. **Emissões de Queimadas em Ecossistemas da América do Sul**. Estudos Avançados 19 (53), 2005, p.167 – 185.

GUENTER, A., KARL, T., HARLEY, P., WIEDINMEYER, C., PALMER, P.I., GERON, C. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of

Gases and Aerosols from Nature). **Atmospheric Chemistry and Physics**. N.6, p.3.181-3.210, 2006.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos da estação Ouro Branco – 2009**. Ouro Branco, MG, 2010.

INPE – **Monitoramento de Queimadas. Focos no Google Earth & RSS**. Disponível em < <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/#> > Acesso em 6 jan 2011.

INPE – **Dados de Satélites – Catálogo de Imagens Landsat**. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> > Acesso em 17 de outubro de 2011.

IBGE – **Censo Populacional 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil, 2011. Disponível em < www.ibge.gov.br/cidadesat > Acesso em 01 mar 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades. Frota de Veículos por Município, Ano de 2009**. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1. Acesso em 08 de março de 2012.

LANGSTAFF, J. C. SEIGNEUR and M. K. LIU: "Design of an Optimum Air Pollution Network for Exposure Assessments." **Atmospheric Environment**. N.21, p.1393-1410, 1987.

MONKS, PAUL S.; BLAKE, ROBERT S. e BORRELL, PETER. **Review of tools for modelling tropospheric ozone formation and assessing impacts on human health & ecosystems**. A report to collate, evaluate and summarise information on tools for modelling ozone (O₃) formation and assessing impacts on human health and ecosystems. Prepared for the United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra). University of Leicester. UK. 2007.

Prefeitura Municipal de Congonhas –. **Plano de Requalificação da Área Central de Congonhas/MG**. Fundação Renato Azeredo. Diagnóstico Consolidado, Volume I – Relatório. Abril de 2010

Prefeitura Municipal de Congonhas – **Home – Fotos**. Disponível em: <http://www.congonhas.mg.gov.br/>. Acesso em 16 de janeiro de 2012.

Resolução CONAMA nº 018/1986 - Institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores – PROCONVE e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Brasil, 1986.

Resolução CONAMA nº 005/1989 - Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR.. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Brasil, 1989.

Resolução CONAMA nº 003/1990 - Estabelece os padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Brasil, 1990.

Resolução CONAMA nº 315/2002 – Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Brasil, 2002.

Resolução CONAMA nº 342/2003 - Estabelece novos limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos, em observância à

Resolução nº 297, de 26 de fevereiro de 2002, e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Brasil, 2003.

Resolução CONAMA nº 382/2006 - Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Brasil, 2006.

Resolução CONAMA nº 415/2009 – Dispõe sobre a nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE para veículos leves novos de uso rodoviário e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Brasil, 2009.

Resolução CONAMA nº 436/2011 - Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, Brasil, 2011.

QUEIROZ, R. S.; SANTOLIM, L. C. D. **Rede Otimizada para o Monitoramento da Qualidade do Ar da Grande Vitória – ES**. Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1997.

SANTOLIM, L.C.D. **Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar para a Região da Grande Vitória**. Vitória: UFES, 1991. Dissertação de Mestrado.

SEINFELD, J.H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. Wiley-Interscience. USA: Publication, John Wiley & Sons, 1986, pp. 100-120.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from Air pollution to climate change**. USA, A Wiley-Interscience Publication, 1998, 1326 p.

Serviço Geológico Brasileiro (CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), 2009. **Mapa de Isoietas Anuais Médias para o estado de MG**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/> - Recursos Hídricos/Projetos e Publicações/Atlas Pluviométrico do Brasil. Acesso em 02 mar 2011.

Turner, D. B. and Schulze R.H.: **Practical Guide to Atmospheric Dispersion Modelling**. Air and Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 408 pp, 2007.

TURNER D.B. **Workbook of Atmospheric**. Dispersion Estimates, US Department of Health, Education and Welfare, National Air Pollution Control Administration, Cincinnati, OH, USA, 1970.

UCAR – University Corporation for Atmospheric Research. **RDA Dataset Numbering System**. Disponível em < <http://dss.ucar.edu/datasets/> > Acesso em 10 ago 2011.

United States Geological Survey - USGS - **Earth Explorer**. Disponível em: < <http://earthexplorer.usgs.gov/> >. Acesso em 09 de janeiro de 2012.

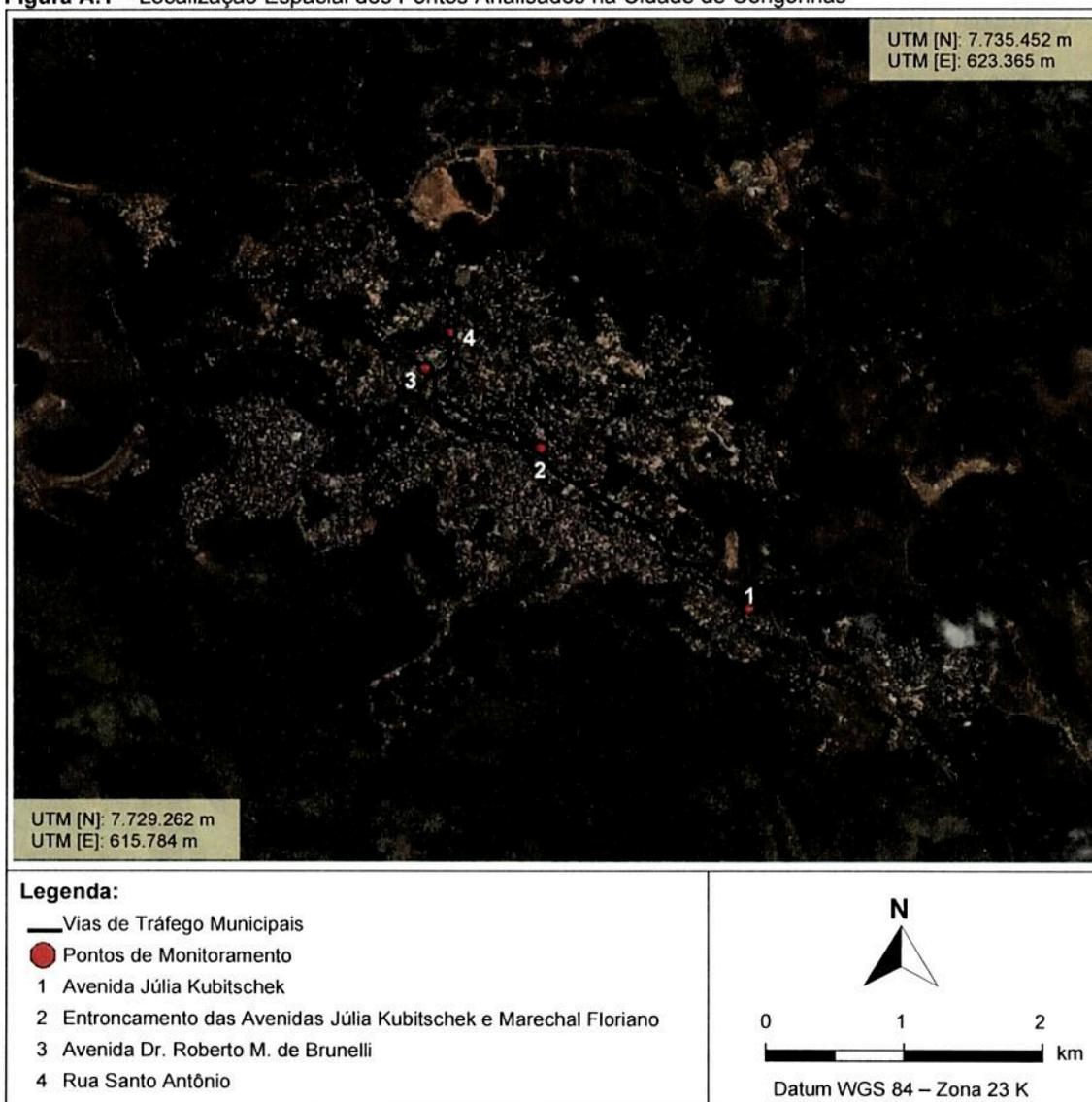
Weather Research and Forecasting (WRF) Model Users Page. 2008, Disponível em: < <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users> >. Acesso em 10 fev 2009.

ANEXO A – AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO E CONTAGEM EXPEDITA DO FLUXO DE VEÍCULOS NAS VIAS DE TRÁFEGO DE CONGONHAS

Durante os dias 11 a 15 de abril de 2011 foi realizada uma visita técnica à cidade de Congonhas, com o intuito de coletar informações relevantes para a realização do inventário de emissões de poluentes atmosféricos descrito nesse relatório. Além da coleta desses dados, também foram realizadas campanhas de monitoramento de material particulado em 4 pontos nas vias da cidade.

A escolha desses pontos se justificou devido ao fato de eles representarem as avenidas de maior fluxo de veículos para a cidade de Congonhas. Na Figura A.1 são apresentadas as localizações destes pontos.

Figura A.1 – Localização Espacial dos Pontos Analisados na Cidade de Congonhas



O monitoramento feito nas vias citadas teve como objetivo avaliar a concentração de material particulado ocasionada principalmente pela ressuspensão de poeira causada

pela movimentação de veículos. Foram utilizados 3 monitores automáticos (*E-Sampler*, fabricados pela *Met One Instruments Inc.*) para a medição simultânea das concentrações de MP (material particulado total), MP₁₀ (material particulado com diâmetro menor que 10 micrômetros) e MP_{2,5} (material particulado com diâmetro menor que 2,5 micrômetros). Em termos médios, a distribuição de granulometria das partículas nas vias foi MP₁₀ = 76% do MP e MP_{2,5} = 58% do MP.

Além do monitoramento do material particulado nos pontos acima descritos, foram realizadas também contagens expeditas de veículos nas vias e coletas de material na superfície das avenidas, com a finalidade de obter o teor de *silt* para as vias de Congonhas. O teor médio de *silt* obtido para as vias de Congonhas foi de 1,09 g/m².

Na sequência das Figuras A.2 a A.5, são visualizados o monitoramento de material particulado e a contagem de veículos realizados em Congonhas.

Figura A.2 – Monitoramento de Material Particulado – Avenida Júlia Kubitscheck (Próximo ao viaduto com a BR040) – Ponto 1

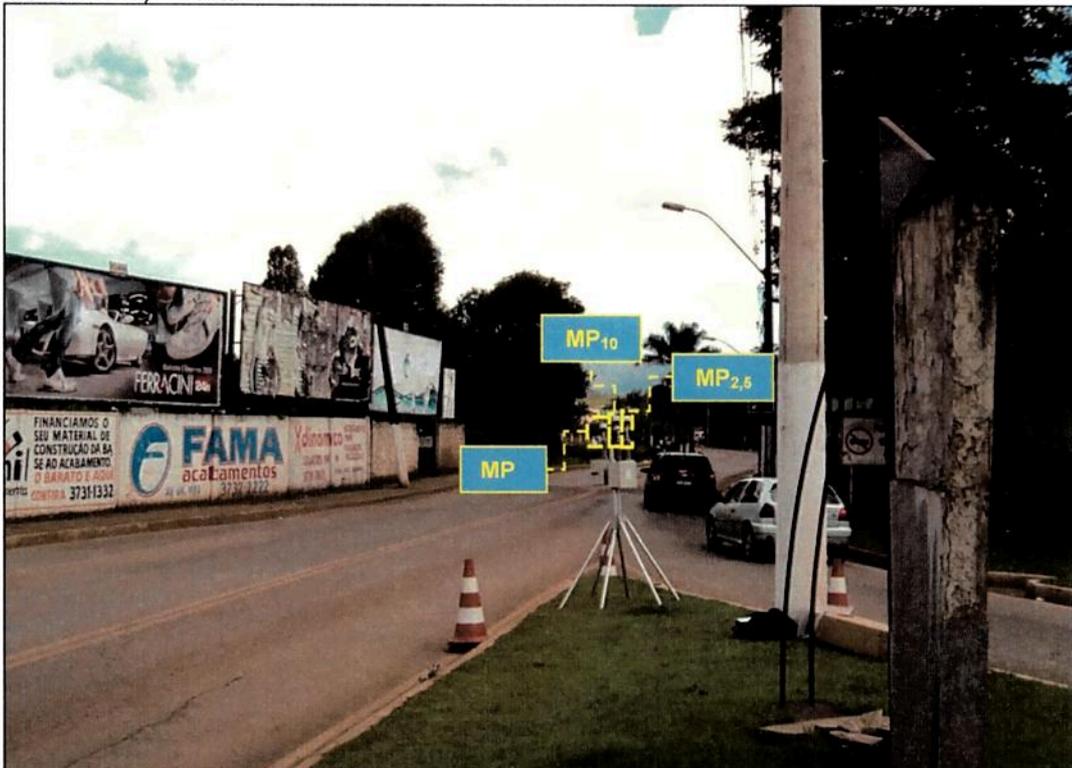


Figura A.3 – Monitoramento de Material Particulado – Entroncamento entre a Avenida Júlia Kubitscheck e Marechal Floriano – Ponto 2



Figura A.4 – Monitoramento de Material Particulado – Avenida Dr. Roberto M. de Brunelli – Ponto 3

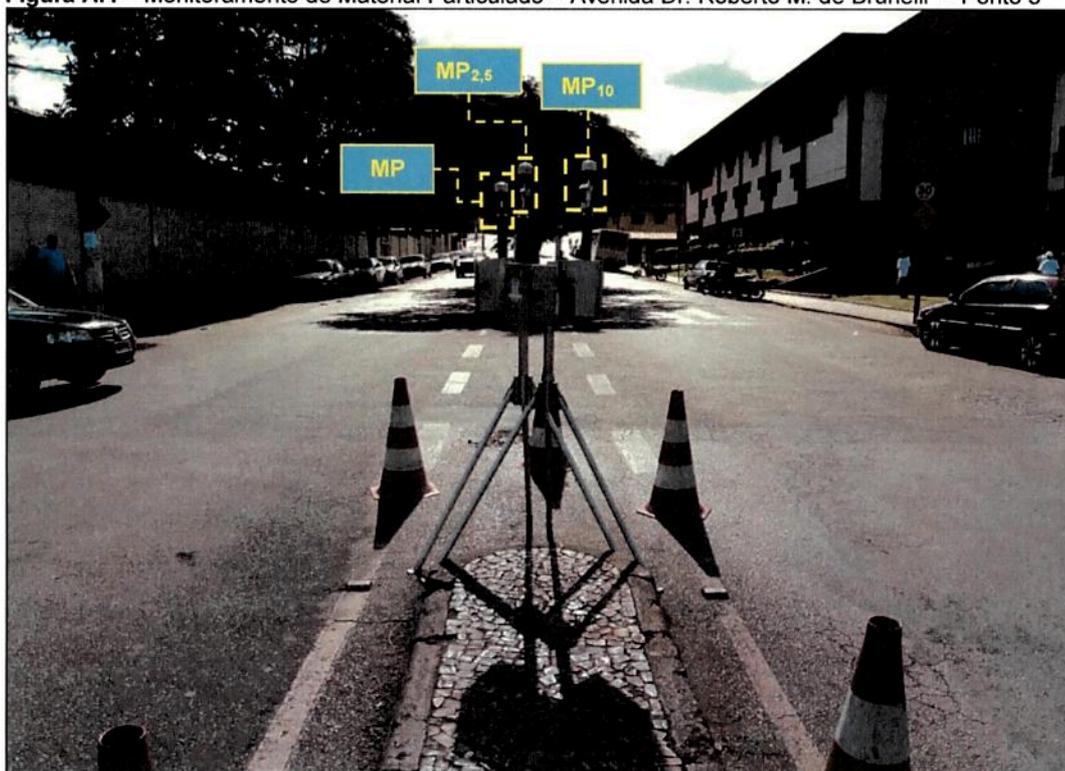


Figura A.5 – Monitoramento de Material Particulado – Rua Santo Antônio – Ponto 4

