

4. DIMENSIONAMENTO DA REDE OTIMIZADA PARA MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

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. Técnicas matematicamente rigorosas, freqüentemente utilizadas na definição de redes de monitoramento, não possibilitam incorporar variáveis subjetivas no projeto.

O método descrito no item 4.2 abaixo, a ser utilizado no projeto da rede de monitoramento atmosférico da Região Metropolitana de Belo Horizonte eixo Belo Horizonte – Contagem - Betim, utiliza um modelo matemático ajustado à região de estudo para a geração de cenários representativos de qualidade do ar, a partir do inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos e de cenários meteorológicos característicos da região estudada. No presente estudo, foram simulados cenários de concentrações médias horárias de cada poluente de interesse, ou seja foram gerados 2592 cenários (24 horas x 12 meses x 9 poluentes).

Ressalta-se que o algoritmo de otimização da rede de monitoramento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) utilizou os cenários de qualidade do ar modelados com o modelo de longo período do Atmos 3.3.32, isto é, foram utilizados os cenários gerados a partir dos dados meteorológicos compilados estatisticamente por agrupamento de freqüência de ocorrência para uma rosa dos ventos de 16 direções. Os cenários meteorológicos utilizados neste estudo são apresentados no ANEXO A.

Os cenários para análise da qualidade do ar utilizados na análise de influência das fontes móveis e fixas da RMBH foram gerados através da utilização do modelo longo período do Atmos, como descrito no item 3.1.

No método utilizado, estações candidatas a integrar a rede de monitoramento redundantes ou pouco eficientes, são identificadas e eliminadas, de maneira a restar um número mínimo de monitores capazes de promover a cobertura espacial desejada para a área a ser monitorada.

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 Esferas de Influência. A esfera de influência de cada estação é determinada em separado para cada poluente a ser monitorado, considerando-se uma eficiência de cobertura pré-definida para a rede de medição que se deseja construir.

As fases do estudo seguidas para o dimensionamento da rede otimizada de monitoramento da qualidade do ar são as seguintes:

- 1ª - Levantamento de características de lançamento por fontes fixas e móveis dos contaminantes do ar objeto de estudo;
- 2ª - Levantamento de condições meteorológicas locais;
- 3ª - Modelagem de cenários de qualidade do ar, representando a influência espaço temporal das fontes fixas e móveis na área estudada;
- 4ª - Levantamento de locais candidatos a sediarem estações da rede;
- 5ª - Aplicação de algoritmos para otimização da rede;
- 6ª - Elaboração de especificações técnicas dos equipamentos de medição da rede.

4.2 METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO EMPREGADA NO PROJETO DA REDE

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.

Algumas dessas metodologias são aplicáveis a regiões onde já existe uma rede de monitoramento suficientemente densa operando há vários anos, cujos monitores foram instalados aleatoriamente em locais onde supunha-se a ocorrência de altos índices de poluição.

As metodologias listadas a seguir, dentre outras, podem ser utilizadas para o projeto de redes de monitoramento da qualidade do ar:

- Localização do sensor através da minimização da função erro de interpolação, sendo tal função determinada pelo objetivo da rede de monitoramento;
- Localização ótima de um sensor pela minimização do limite superior da covariância do erro mínimo estimado;
- Localização ótima de um dado número de estações através de um critério de seleção por tentativas, no 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 trabalho baseia-se em uma proposta pragmática inicialmente desenvolvida por Langstaff (US EPA, 1987) e modificada por Santolim (UFES, 1991), já tendo sido utilizada com grande sucesso, por exemplo, na otimização de redes de medição de benzeno, SO₂ e PTS nos EUA, PI, SO₂, NO_x, CO, THC, NO, NO₂, HCnM e O₃ na área de influência da REDUC em Duque de Caxias – RJ, na rede de medição de PTS, PI, SO₂, CO, NO_x, HC, O₃ da Grande Vitória - ES (1997), na rede de medição de PTS e PI de Itabira – MG, na rede de medição de PTS e PI de Carajás – PA, na rede de medição de Hidrocarbonetos da ICOLUB-SHELL no Rio de Janeiro, na rede de medição de PTS, PI, SO₂, CO, NO_x, HC, O₃ e BTX de Volta Redonda, RJ.

Este método permite a incorporação de variáveis subjetivas a serem consideradas na definição da rede medidora, o que pode tornar-se complexo quando são usadas outras técnicas matematicamente mais rigorosas, como as técnicas de programação não linear, freqüentemente adotadas neste tipo de problema.

O método proposto utiliza-se do modelo de dispersão descrito no item 3.1 para gerar cenários representativos da qualidade do ar na região proposta, os quais podem ou não ser combinados com cenários populacionais existentes, 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.

A estrutura de covariância espacial do cenário de exposição da população é usada para a determinação da Esfera de Influência (SOI) em torno de cada local candidato, onde são identificados e eliminados os locais redundantes. Este procedimento determina o número mínimo de locais necessários para a geração de uma cobertura espacial desejada.

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 área de abrangência 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.

4.3 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.

O nível de exposição de uma pessoa é definido como a concentração de poluente a que esse indivíduo tem contato. A dose é definida como a exposição integrada no tempo, a que o indivíduo ficou exposto. A dosagem total é a soma da dosagem individual para toda a população.

O conceito de uma Figura de Mérito (FOM) incorpora uma abordagem climatológica, adaptada para caracterizar diferentes cenários meteorológicos. Esta habilidade é de extrema importância na determinação dos cenários de dosagem característicos de cada área da região estudada, visto que o espalhamento dos poluentes oriundos de fontes fixas industriais e fontes móveis é extremamente dependente de condições meteorológicas.

Define-se então Figura de Mérito como o produto entre o índice de exposição medido ou previsto e a probabilidade de ocorrência associada a tal índice:

$$F = \sum (\text{índice de exposição}) \times (\text{probabilidade de ocorrência}) \quad (\text{Eq. 4.3.1})$$

O somatório é aplicado a um número de cenários meteorológicos que conduzem a padrões representativos de qualidade do ar para a região de interesse.

A quantidade destes cenários é muito variável de região para região. Esse número depende, dentre outros fatores, da velocidade e direção do vento predominantes em cada hora do dia e estação do ano, associados à radiação solar que chega ao solo no período diurno ou à nebulosidade noturna e ao desvio padrão da direção do vento inerentes a cada período.

Na região de estudo foram obtidos 288 cenários meteorológicos distintos, para o período de 01/01/1999 a 31/12/2001, conforme citado no item 3.2, trabalhando-se estatisticamente os dados medidos hora a hora na estação meteorológica do Aeroporto de Confins.

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 precisa 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 proporcional à integral da exposição ao poluente variando no tempo.

$$\text{Índice de Exposição} = \int_0^t \text{concentração do poluente dt} \quad (\text{Eq. 4.3.2})$$

Onde:

t = tempo de exposição ao poluente.

Combinando as Equações 4.3.1 e 4.3.2, obtemos a equação básica para o cálculo da FOM na célula (i,j):

$$F_{ij} = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^M \sum_{t=1}^T C_{ijtk} \cdot \Psi_k$$

(Eq. 4.3.3)

Onde:

- M = número de cenários meteorológicos representativos = 288;
- T = duração de um cenário meteorológico;
- C_{ijtk} = concentração do poluente na célula (i,j) no tempo t, sob cenário meteorológico k;
- Ψ_k = probabilidade de ocorrência do cenário meteorológico k.

Caso as estações de monitoramento potenciais sejam usadas para medir diversas espécies de poluentes, então o C_{ijtk} na Equação 4.3.3, pode ser substituído por:

$$\sum_l^N W_l \cdot C_{ijtkl}$$

(Eq. 4.3.4)

Onde:

- C_{ijtkl} = concentração da espécie l;
- W_l = fator de ponderação refletindo a importância do poluente l;
- N = número de espécies consideradas.

No presente trabalho, a rede de monitoramento foi dimensionada para o acompanhamento dos níveis de PI, SO₂, NO_x, CO, THC, HCnM e O₃ das fontes móveis e fixas mais representativas da RMBH. O parâmetro TOC é análogo aos Hidrocarbonetos Totais (THC) no presente relatório. As Figuras de Mérito dos poluentes NO e NO₂ não foram calculadas isoladamente por estarem incluídos nos óxidos de nitrogênio (NO_x), da mesma forma que o poluente HCnM estão incluídos nos TOC e mais aproximadamente representaria os VOC.

O poluente ozônio (O₃) não teve suas concentrações calculadas, por tratar-se de poluente secundário. Para o dimensionamento da rede para o monitoramento das concentrações desse poluente considerou-se empiricamente como maior mérito as regiões de maiores concentrações de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, por tratarem-se dos poluentes precursores do ozônio. Sabe-se no entanto que, em geral, as áreas de máximas concentrações de ozônio não coincidem com as áreas de máximas de NO_x e HC. Infelizmente, no Brasil inexistem estudos mais consistentes sobre as complexas reações fotoquímicas envolvidas na formação do O₃ na troposfera. Isso impossibilita a realização de modelagens mais precisas da formação de O₃ na atmosfera, o que não constituiu-se escopo do presente trabalho.

Com uma dada distribuição de FOM, os picos não contínuos de concentração de poluentes podem ser facilmente identificados. Eles podem ser então indexados em ordem decrescente, gerando um número fixo de prováveis candidatos a abrigar estações de medição.

O índice de exposição é medido pela densidade populacional. Nesse estudo a densidade populacional não foi obtida. Assim, a variável de decisão para a obtenção das figuras de mérito foram unicamente as próprias concentrações de cada um dos poluentes.

As Figura 4.3.1 a 4.3.5 apresentam, respectivamente, as figuras de mérito para PI, SO₂, NO_x, CO e VOC.

Uma vez que as estações candidatas tenham sido identificadas e ordenadas pelo mérito, duas questões devem ser ainda resolvidas antes da rede de medição otimizada ser finalmente definida:

Qual a área que pode ser representada por cada estação de monitoramento?

Quantas estações são necessárias para se obter uma adequada cobertura de monitoramento para a região?

Na próxima seção será apresentada a metodologia para a resolução destas questões.

Figura 4.3.1 – Figura de Mérito para o Dimensionamento Otimizado da Rede de Medição da RMBH – Partículas Inaláveis

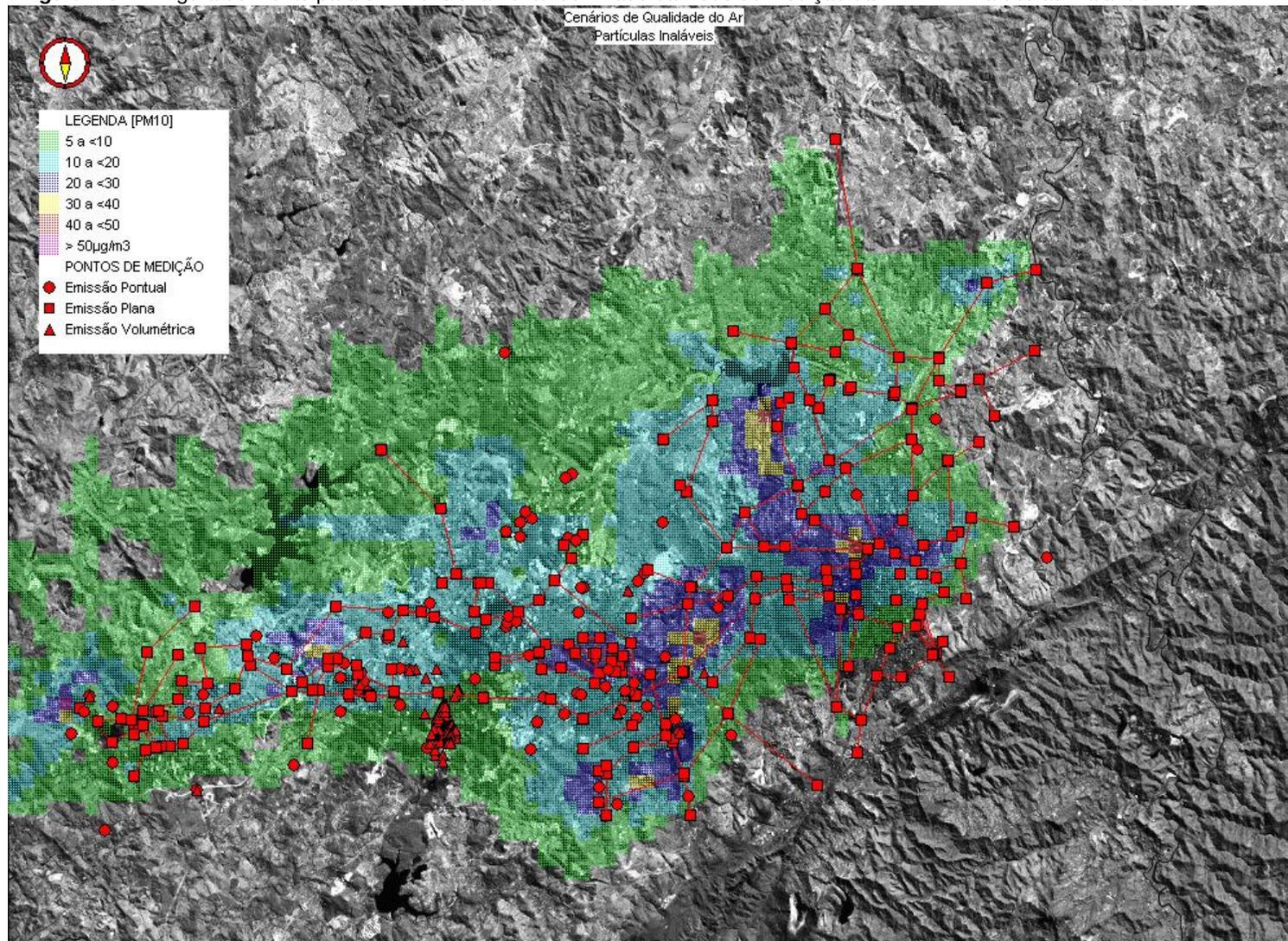


Figura 4.3.2 – Figura de Mérito para o Dimensionamento Otimizado da Rede de Medição da RMBH – Dióxido de Enxofre

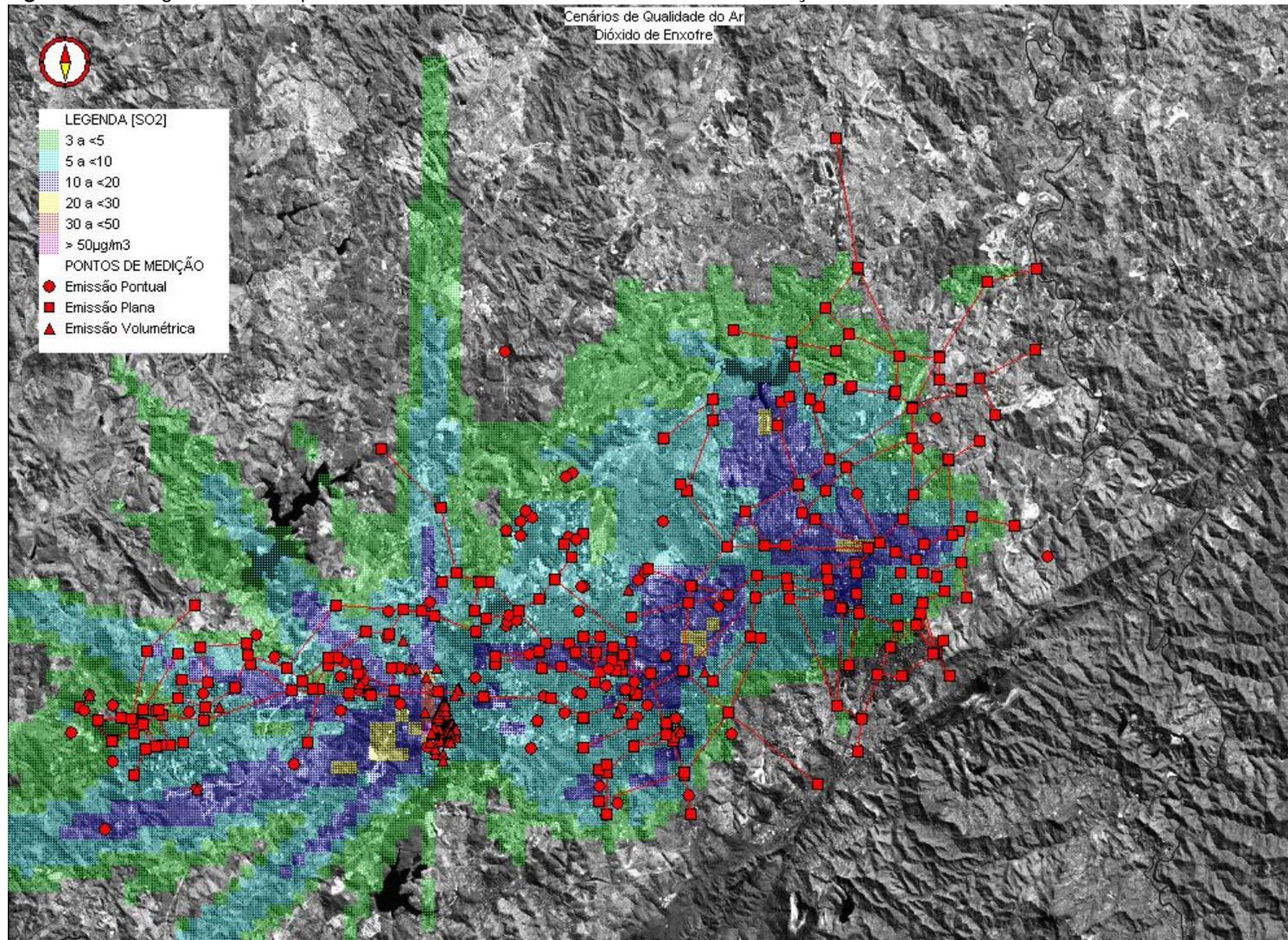


Figura 4.3.3 – Figura de Mérito para o Dimensionamento Otimizado da Rede de Medição da RMBH – Óxidos de Nitrogênio

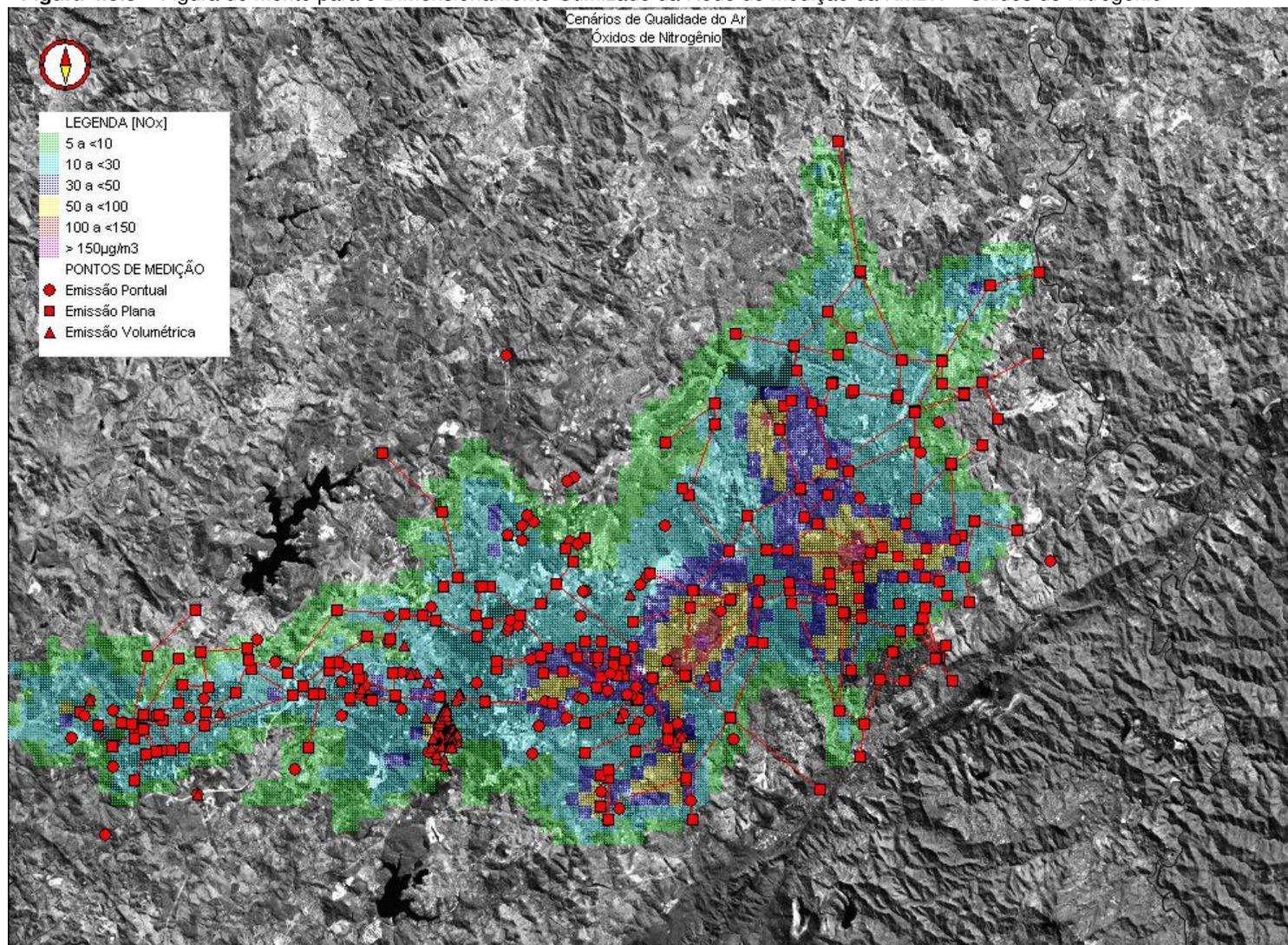


Figura 4.3.4 – Figura de Mérito para o Dimensionamento Otimizado da Rede de Medição da RMBH – Monóxido de Carbono

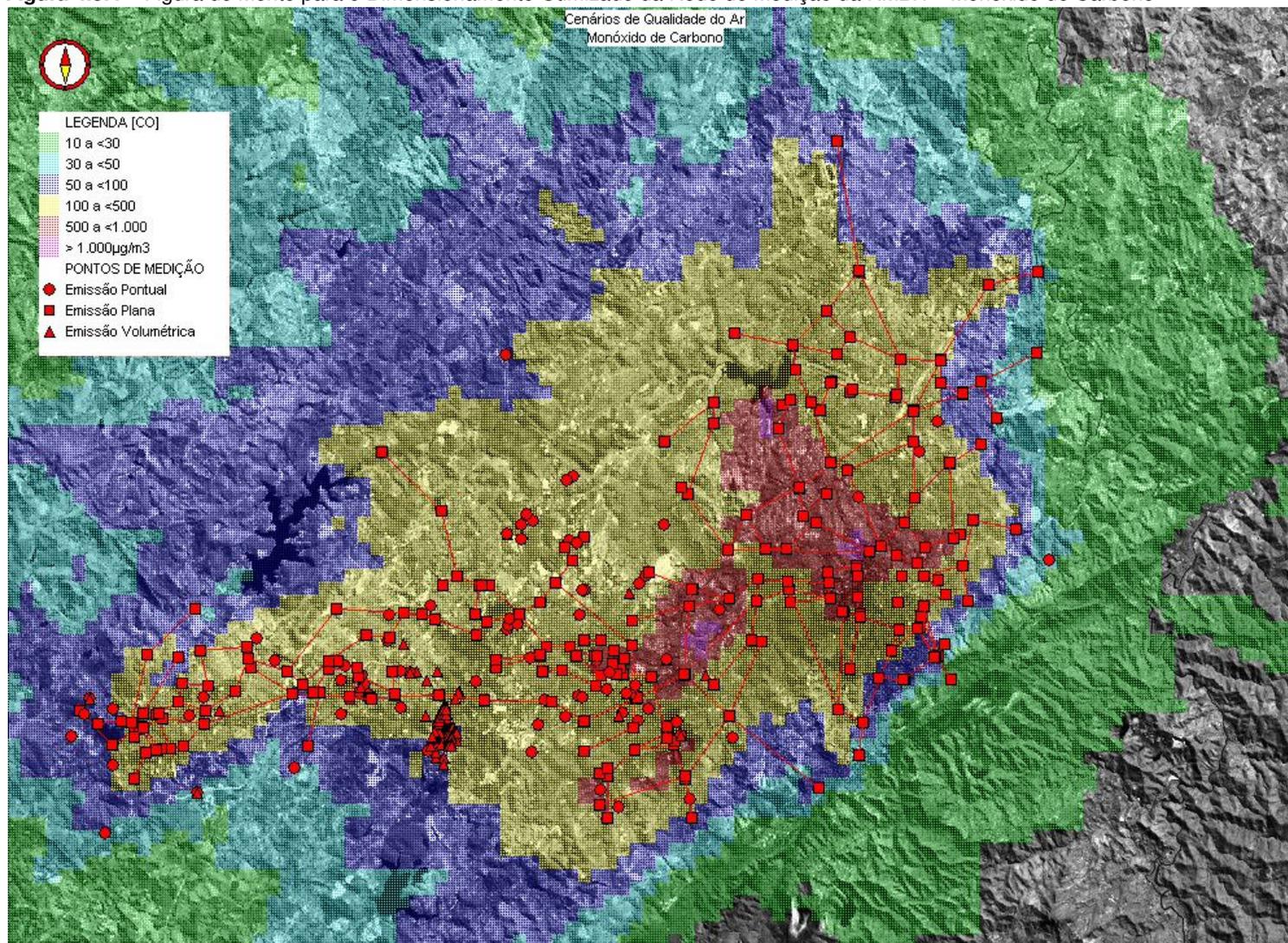
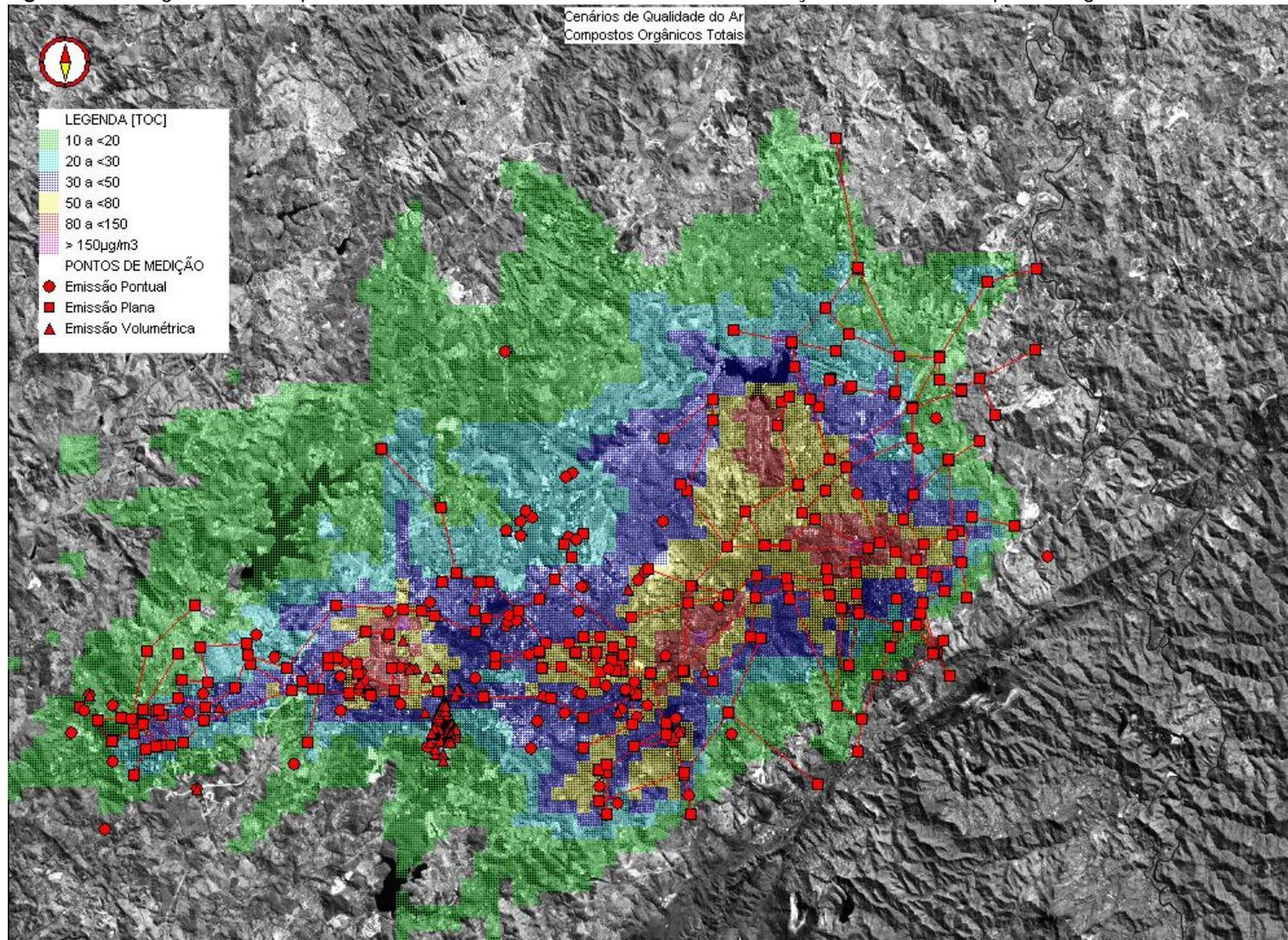


Figura 4.3.5 – Figura de Mérito para o Dimensionamento Otimizado da Rede de Medição da RMBH – Compostos Orgânicos Voláteis



4.4 ESFERAS DE INFLUÊNCIA

Para se determinar o número mínimo de estações de monitoramento em uma rede otimizada de medição da qualidade do ar, é necessário conhecer a área representada por cada estação instalada.

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

A SOI pode ser aproximadamente considerada, por exemplo, como a área dentro da qual o valor médio absoluto ou o erro de reconstrução está dentro de um valor pré determinado.

Diferentes métodos de interpolação deverão gerar diferentes esferas de influência. Então, o método a ser usado no projeto da rede de medição deverá 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.

Embora a abordagem proposta esteja amarrada a este tipo de interpolação particular, o procedimento global de seleção da estação tem propriedades que asseguram que outros métodos de interpolação possam ser usados. Essas propriedades são:

- Evitar o agrupamento de locais de monitoramento;
- Possibilitar o uso de máximas e mínimas do campo integrado de exposição ao poluente como potenciais locais de medição;
- Possibilitar a alocação de estações em áreas sem previsão.

Deste modo, na rede de medição final podem ser usados métodos simplificados de interpolação, sem grande perda de exatidão para reconstrução do campo monitorado.

Além disso, o uso de um limite superior para o erro de interpolação ótima na geração da SOI, torna este método mais poderoso contra a especificação falha de uma estrutura de covariância do campo considerado.

Uma vez que o interesse não se limita à dosagem máxima, mas também na variação espacial e nos gradientes do campo de concentrações de poluentes como um todo, faz-se necessário o controle de erros normalizados de interpolação. Por essa razão, a SOI definida a seguir é baseada nos erros normalizados de interpolação da concentração.

O limite superior para o erro quadrático médio esperado da interpolação ótima é:

$$E_u = \sigma_y \left[1 - \delta_{xy}^2 (1 + K)^{-1} \right]^{1/2} \quad \text{(Eq. 4.4.1)}$$

Onde:

- δ_{xy} = a correlação espacial entre a concentração no ponto previsto y e ponto previsor x ;
 σ_y = o desvio padrão da concentração no ponto previsto y ;
 K = a variância normalizada dos erros observacionais no ponto previsor x .

Da Equação 4.4.1 temos uma expressão para o limite inferior da variância total em y explicada pelo procedimento de interpolação em x :

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

(Eq. 4.4.2)

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 α por cento de eficiência, como sendo a área contínua ao redor de x que contém pontos y para os quais α por cento da 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 Equação 4.4.2.

A função correlação espacial tipicamente decresce do valor 1 em $y = x$ com o aumento da distância entre x e y .

Por essas razões, ϕ_{xy} corresponde 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 amostradora 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 85% para os poluentes PI, SO₂, CO e VOC e de 75% para o poluente NO_x, valores esses considerados como nível de eficiência elevado e que deverá conduzir a uma densa rede amostral, com capacidade de reconstrução do campo de medição de alta qualidade. Vale ressaltar que a eficiência mínima recomendada pela EPA para projetos de redes desta natureza é de 50%, sendo utilizados com mais freqüência valores entre 65% e 85%.

O limite inferior de confiança para populações amostrais variando entre 3 e 400 pode ser lido diretamente em gráficos específicos reproduzidos na literatura pertinente, utilizando-se desta forma as cartas da Biometrika Tables for Statisticians.

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 4.4.2 vem:

$$\delta_{xy} \geq [\alpha(1+K)]^{1/2} \quad \text{(Eq. 4.4.3)}$$

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 95% 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 95% de confiabilidade:

$$\phi_c = r_c^2(1+K)^{-1} \quad \text{(Eq. 4.4.4)}$$

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 x_j estações candidatas como sendo os pontos y da malha que formam uma área ininterrupta ao redor da estação x_j 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.

A otimização da rede de monitoramento, ou seja, a determinação do número mínimo de estações de medição pode ser conseguido pela eliminação de estações cujas esferas de influência estejam sobrepostas à de outras estações.

Este procedimento é feito seguindo a ordem crescente no ordenamento realizado pelas figuras de mérito, ou seja, as estações com menor mérito terão maior chance de sair.

A área da SOI de cada estação também deve ser levada em consideração nesta etapa. Se a estação retirada acrescenta pequena área adicional à área global definida pelas estações que restaram, então esta estação poderá ser definitivamente eliminada. Caso contrário, será conveniente continuar o procedimento de eliminação na ordem indicada, comparando a importância da estação em questão com as outras de maior mérito, antes de eliminá-la definitivamente.

A configuração otimizada da rede de medição começa a ser definida a partir da determinação da esfera de influência (SOI) de cada uma das estações candidatas, de acordo com a metodologia descrita acima.

A esfera de influência da estação candidata x é definida como a área contínua formada por células y situadas ao redor de x , para as quais α por cento da variância da concentração dada pela Equação 4.4.3 é explicada pela concentração medida em x .

A correlação entre x e y , r_{xy} , é calculada através da equação a seguir:

$$r_{xy} = \frac{T \cdot \sum_{i=1}^T x_i y_i - \sum_{i=1}^T x_i \sum_{i=1}^T y_i}{\left[T \cdot \sum_{i=1}^T x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^T x_i \right)^2 \right]^{1/2} \left[T \cdot \sum_{i=1}^T y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^T y_i \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{Eq. 4.4.5})$$

Onde:

X_i = concentração em x na faixa horária i ;

Y_i = concentração em y na faixa horária i ;

T = 288, número de períodos típicos.

As esferas de influência podem ser delineadas através da área contínua ao redor de x formada por células y tais que: $r_{xy} \geq r_c$.

Onde:

r_{xy} = correlação amostral entre x e y ;

r_c = limite inferior de correlação amostral, considerando-se o tamanho da amostra, com confiabilidade determinada.

O valor de r_c pode ser obtido diretamente na Biometrika Tables for Statisticians - Vol I (1976), e no presente trabalho considerou-se uma eficiência desejada de 85% e de 75% para uma amostra estatística de 288 cenários de qualidade do ar, com confiabilidade de 95%.

Foram calculadas então, as esferas de influência para a configuração atual da rede de monitoramento da Região Metropolitana de Belo Horizonte para cada uma das estações existentes, definidas pelo procedimento de figuras de mérito.

4.5 CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA REDE ATUAL DE MEDIÇÃO DA RMBH

Para propiciar uma análise da situação de cobertura espacial da atual rede de monitoramento da qualidade do ar da RMBH, foi realizada uma avaliação das esferas de influência das estações instaladas, utilizando-se a mesma metodologia descrita anteriormente.

A atual rede de monitoramento da RMBH é constituída por 8 estações empiricamente localizadas, com capacidade de medição dos poluentes PI, SO₂, NO_x e CO. A Tabela 4.5.1 apresenta as estações de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia na RMBH.

As Figuras 4.5.1 a 4.5.4 apresentam respectivamente a atual composição e cobertura espacial da rede de monitoramento de PI, SO₂, NO_x e CO atualmente existente na RMBH. As áreas coloridas na figura indicam a cobertura espacial da rede (calculada com base em 85% de eficiência), constituída pelas estações DNER, Delegacia em Entorpecentes, Aeroporto Carlos Prates, SAFRAN, Alterosas, Cascata, Petrovale e Praça Rui Barbosa.

Tabela 4.5.1 – Estações Existentes na Região na RMBH

Nome da Estação	Endereço	Coord.X UTM(m)	Coord.Y UTM(m)
DNER-REGAP	Av. Babita Camargos	601.955	7.793.234
Delegacia de Entorpecentes	Av. Amazonas esquina com Miguel Gentil	605.210	7.795.121
Aeroporto Carlos Prates	Bairro Carlos Prates / Padre Eustáquio	606.021	7.798.065
SAFFRAN	Rua Pará de Mianas - Bairro Brasília	582.969	7.791.793
Alterosas	Av. Campos de Ourique - Bairro Alterosas	587.830	7.794.134
Cascata	Rua Getúlio Vargas	595.653	7.789.824
Petrovale	Rua Argentina, 164 - Bairro Provale	592.980	7.788.888
Praça Rui Barbosa	Av. Andradas - Centro	611.640	7.797.612

As estações descritas acima que compõe a rede atual de monitoramento da qualidade do ar da RMBH, e seus respectivos parâmetros monitorados, são listados a seguir:

- **DNER:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Umidade Relativa;
 - Temperatura do Ar.

- **DELEGACIA DE ENTORPENCENTES:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Umidade Relativa;
 - Temperatura do Ar.

- **AEROPORTO CARLOS PRATES:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Umidade Relativa;
 - Temperatura do Ar.

- **SAFRAN:**

- Partículas Inaláveis (< 10 µm);
- Dióxido de Enxofre;
- Ozônio;
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Nitrogênio;
- Direção e Velocidade do Vento;
- Umidade Relativa;
- Temperatura do Ar.

- **ALTEROSAS**

- Partículas Inaláveis (< 10 µm);
- Dióxido de Enxofre;
- Ozônio;
- Direção e Velocidade do Vento;
- Umidade Relativa;
- Temperatura do Ar.

- **CASCATA**

- Partículas Inaláveis (< 10 µm);
- Dióxido de Enxofre;
- Ozônio;
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Nitrogênio;
- Direção e Velocidade do Vento;
- Umidade Relativa;
- Temperatura do Ar.

- **PETROVALE**

- Partículas Inaláveis (< 10 µm);
- Dióxido de Enxofre;
- Ozônio;
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Nitrogênio;
- Direção e Velocidade do Vento;
- Umidade Relativa;
- Temperatura do Ar.

- **PRAÇA RUI BARBOSA**

- Partículas Inaláveis (< 10 µm);
- Dióxido de Enxofre;
- Ozônio;
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Nitrogênio;
- Direção e Velocidade do Vento;
- Umidade Relativa;
- Temperatura do Ar.

Figura 4.5.1 – Cobertura da Rede Atual de Monitoramento de Partículas Inaláveis da RMBH - 85% de Eficiência

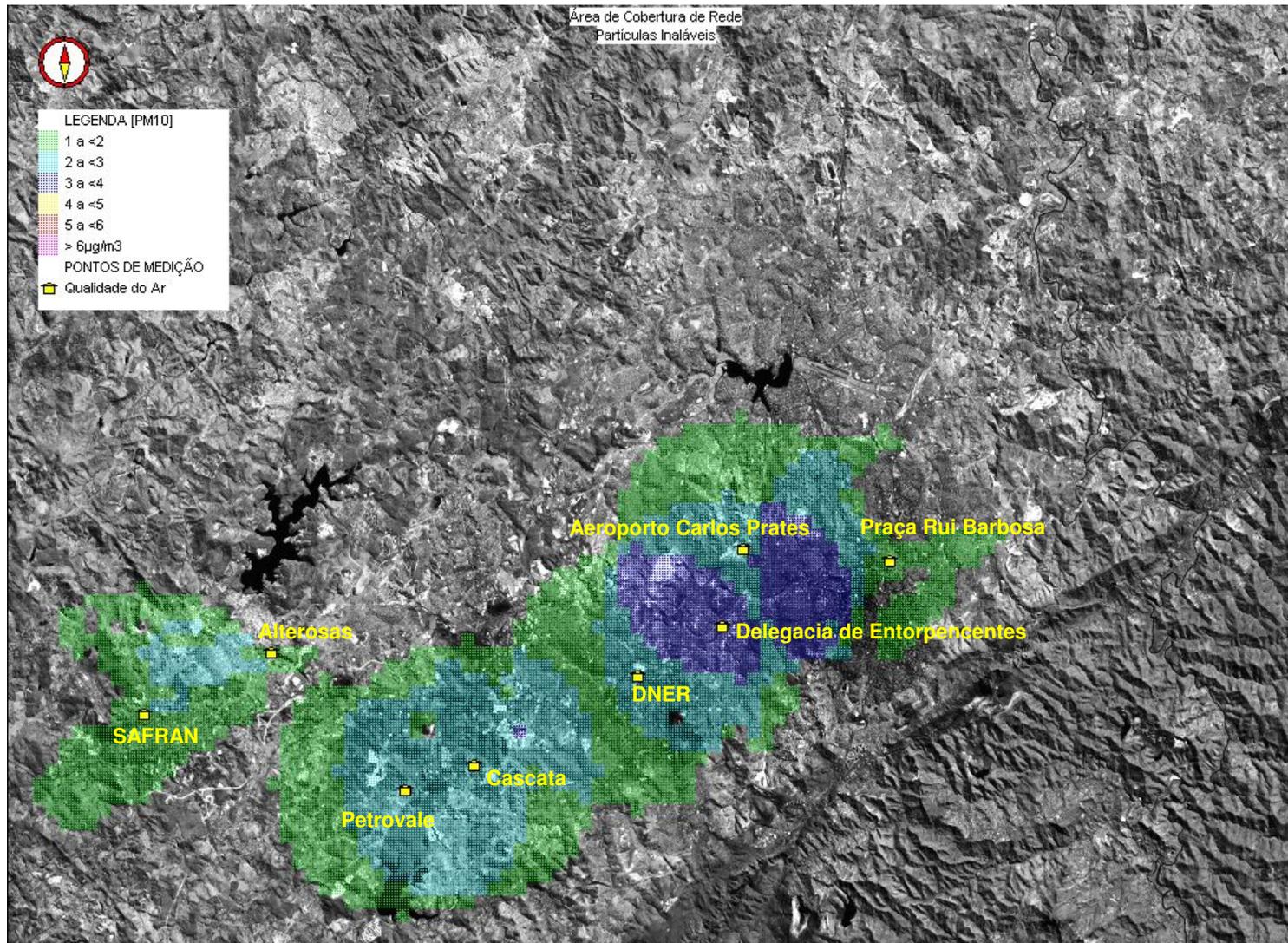


Figura 4.5.2 - Cobertura da Rede Atual de Monitoramento de Dióxido de Enxofre da RMBH - 85% de Eficiência

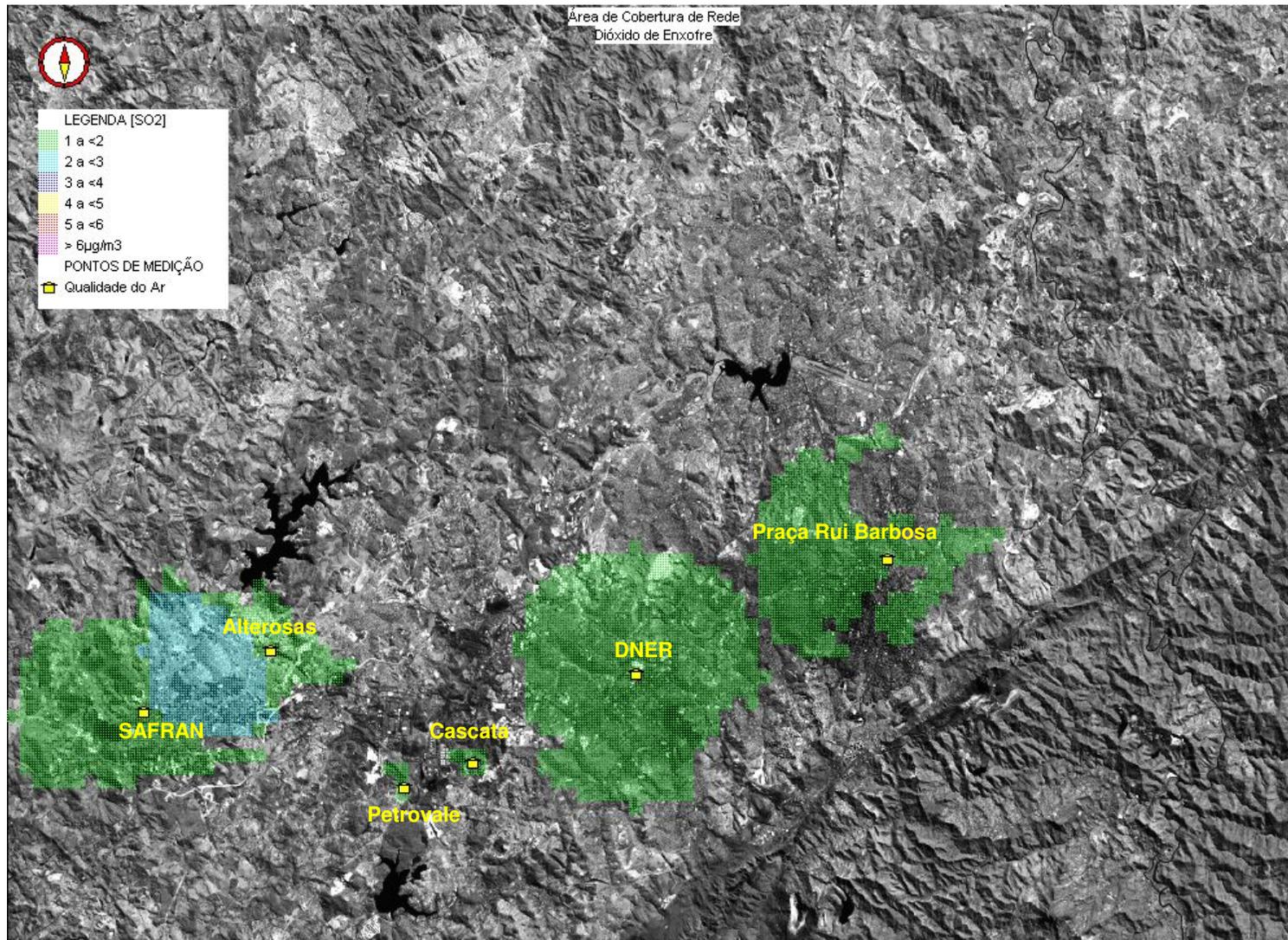


Figura 4.5.3 - Cobertura da Rede Atual de Monitoramento de Óxidos de Nitrogênio da RMBH - 85% de Eficiência

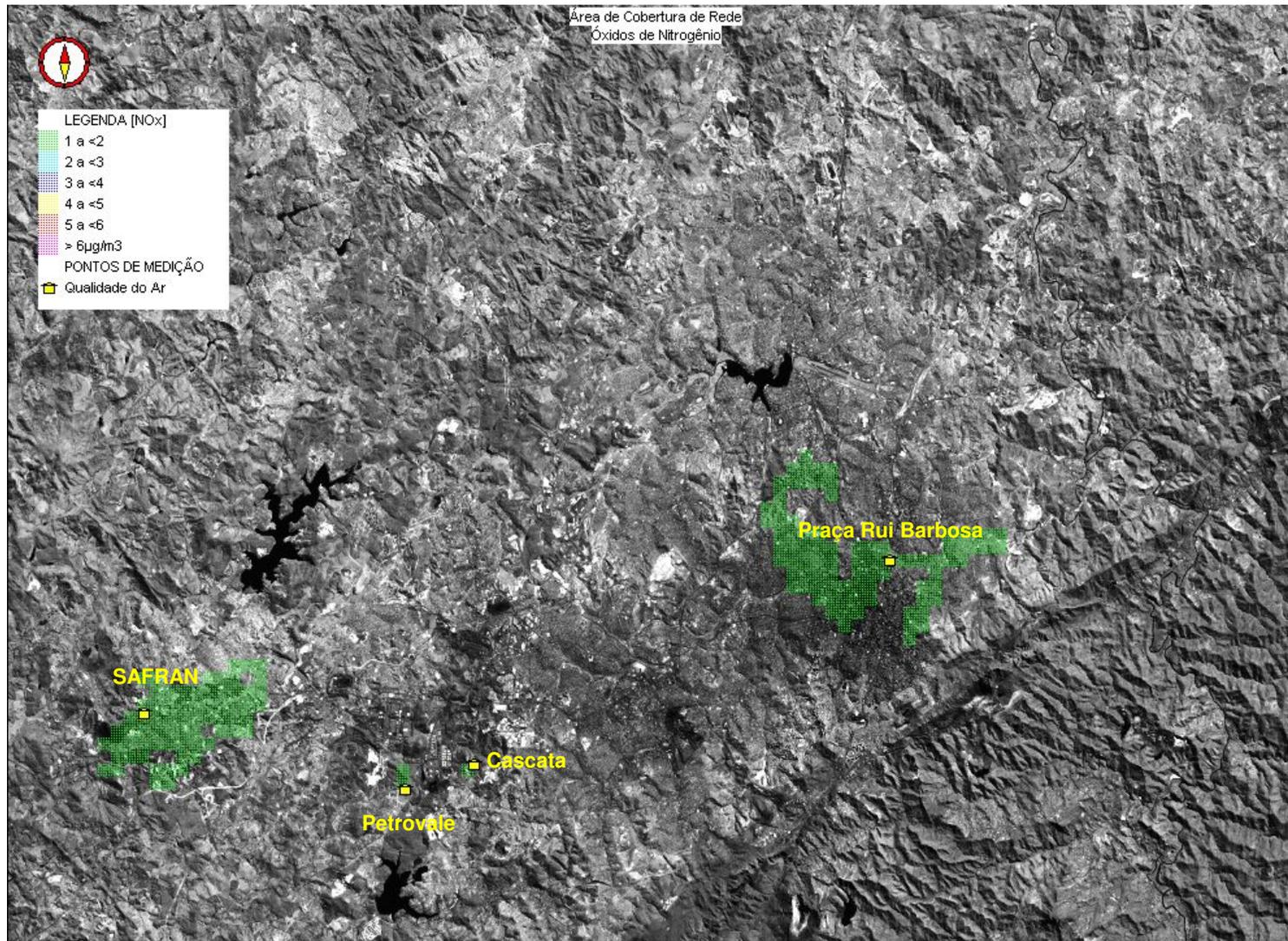
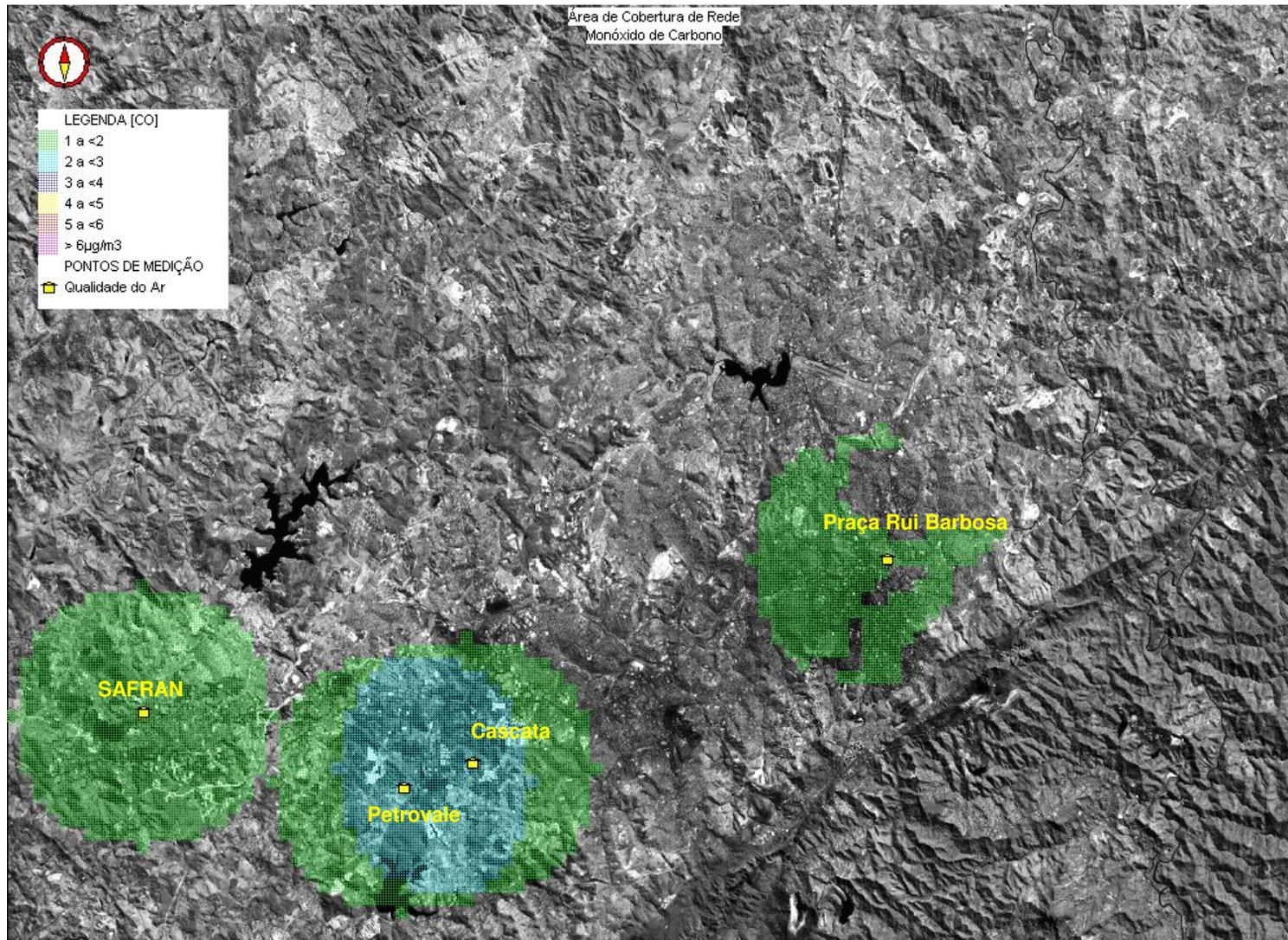


Figura 4.5.4 - Cobertura da Rede Atual de Monitoramento de Monóxido de Carbono da RMBH - 85% de Eficiência



Da análise das figuras 4.5.1 a 4.5.4, observa-se que a cobertura proporcionada pela rede atual de monitoramento da RMBH para o poluente PI é razoável, enquanto para os parâmetros SO₂, NO_x e CO a cobertura atual é pobre. Deve ser salientado ainda que o monitoramento dos parâmetros O₃ e Hidrocarbonetos (totais, metano e não metano) atualmente não é realizado na RMBH, e portanto a cobertura desses parâmetros é nula.

4.6 ESTAÇÕES CANDIDATAS A INTEGRAREM A REDE DE MEDIÇÃO DA RMBH

O levantamento dos locais candidatos a sediarem estações da rede de monitoramento da qualidade do ar foi realizado com base em extensa varredura de campo, abrangendo toda a área urbana demarcada no estudo. Este trabalho foi realizado com o acompanhamento e aconselhamento dos técnicos da FEAM e das Secretarias Municipais envolvidas.

Em cada bairro ou localidade visitada foram identificados locais, preferencialmente públicos, dotados de condições mínimas de infra-estrutura como área física, rede de energia elétrica e telefônica próxima, segurança dia e noite (possibilidade de restrição de acesso ao local da estação), ambiente aberto e ventilado (representativo da região no entorno) e desprovido de fontes poluidoras interferentes localizada nas proximidades.

Vale ressaltar ainda que as 8 estações existentes, distribuídas pelos municípios de Belo Horizonte, Contagem e Betim, foram priorizadas para serem aproveitadas na futura rede ora projetada. Isso é relevante na medida que tais estações já dispõem de infraestrutura (já estão instaladas e operando) e de séries históricas de medições, cujas perdas seriam significativas. Por outro lado, não faz sentido manter em operação uma ou mais estações existentes que não apresentem cobertura espacial significativa, o que significa dizer que sua série histórica praticamente é inútil para os propósitos de monitoramento de exposição de uma determinada população à qualidade do ar.

A Figura 4.6.1 a seguir mostra a localização das 54 estações candidatas identificadas na área de estudo, que reúnem as condições mínimas para abrigarem estações de medição da nova rede.

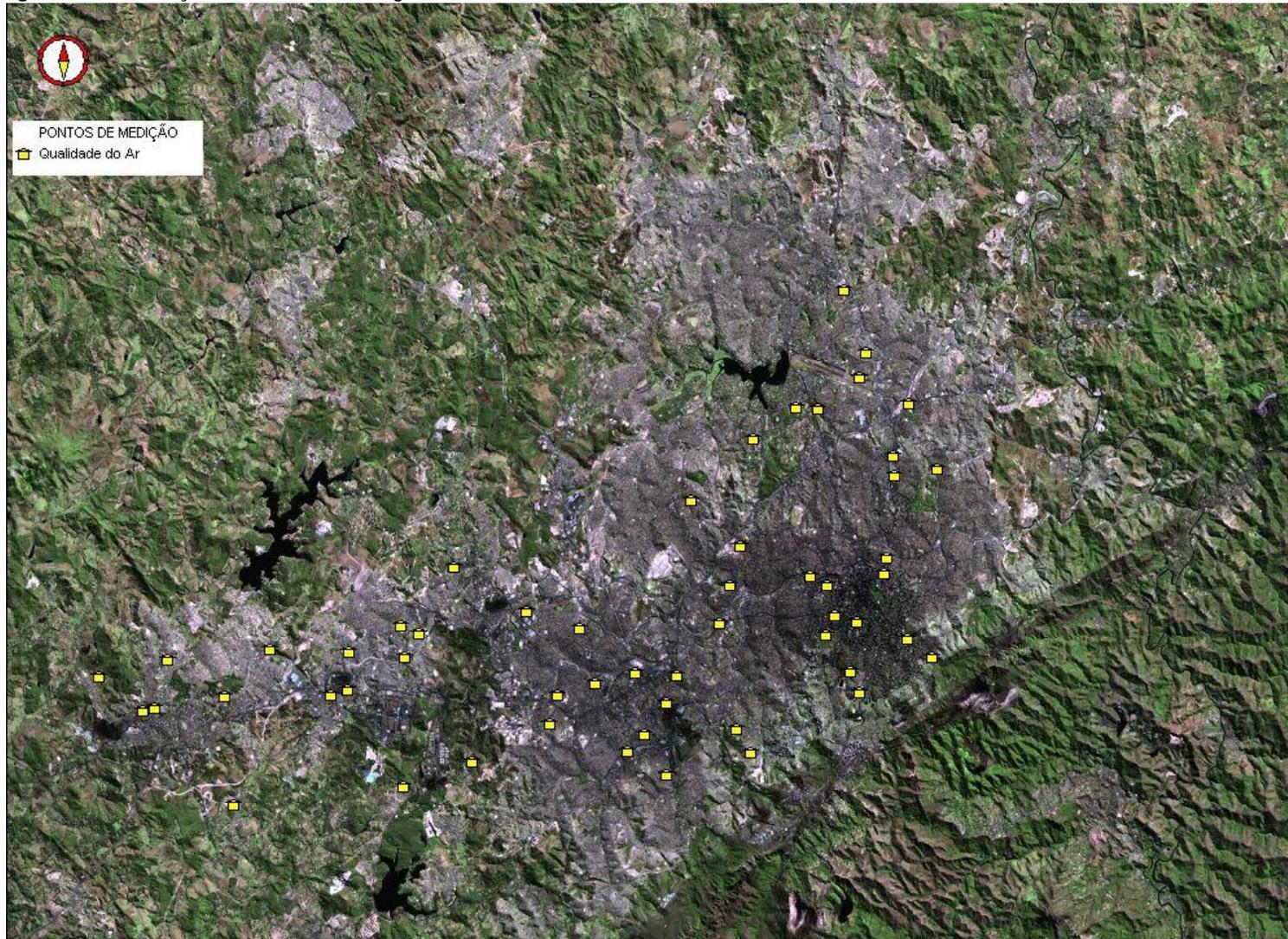
A Tabela 4.6.1 apresenta a listagem dos locais candidatos a sediar estações de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia na região de estudo.

Tabela 4.6.1 - Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia na RMBH

Nome da Estação	Endereço	Coord.X UTM(m)	Coord.Y UTM(m)
Barragem Stª Lúcia 22º - Batalhão da PM	Av. Artur Bernardes - Bairro Stª Lúcia	610258	7793254
Polícia Federal	Rua Nascimento Gurgel, Nº30 - Bairro Gutierrez	609312	7794652
Substação CEMIG	Anel Rodoviário -Bairro Olhos D'água	606411	7790197
Pátio de Apreensão SESP - DETRAN - Betânia 5	Br 262 - Km 4,5 – Bairro Betânia	605874	7791065
Polícia Militar - 5º BPM	Rua Joaquim Anacléto da Conceição	603168	7789320
Escola Estadual Diogo de Vasconcelos	Rua Professor Luiz Pompéu, 30	603572	7793120
Escola Dom Bosco	Rua Vasco de Azevedo – Bairro Jardim Industrial	603149	7792091
Delegacia de Polícia Civil, Barreiro	Rua Barão de Coromandel - 982	602298	7790862
CEMIG - Centro de Distribuição de Materiais	Rua Maria Isabel Curty	601647	7790215
DNER-REGAP	Av. Babita Camargos	601955	7793234
Delegacia de Entorpecentes	Av. Amazonas, esquina com Miguel Gentil	605210	7795121
PUC Belo Horizonte	Bairro Coração Eucarístico	605584	7796564
Aeroporto Carlos Prates	Bairro Carlos Prates / Padre Eustáquio	606021	7798065
Polícia Militar 34º - 8ª Companhia	Rua Leonel Prates - Bairro Alípio de Melo	604092	7799833
Escola Estadual Francisco Menezes	Rua João Antônio Cardoso - Bairro Ouro Preto	606504	7802164
UFMG Prefeitura Unidade Administrativa II	Av. Abraão Caram, Campus da UFMG	608143	7803393
UFMG Portaria Principal	Av. Antônio Carlos	609006	7803309
SAFRAN	Rua Pará de Minas - Bairro Brasília	582969	7791793
CEABE - Central de Abastecimento de Betim	Rua Amim F. Debiam - Bairro Centro	583417	7791883
Escola Estadual Newton Amaral	Av. Amazonas - Bairro Cachoeira	581225	7793087
Parque de Exposições	Av. do Rosário - Bairro Horto	583923	7793719
SESI Clube do Trabalhador de Betim	Br - 381, Km 436 - Bairro Olhos D'água	586098	7792317
Alterosas	Av. Campos de Ourique - Bairro Alterosas	587830	7794134
Escola Municipal Mª de Lourdes de Oliveira	Rua Rio Negro,1213 - Bairro Stª Cruz	590884	7794035
Escola Estadual do Bairro São Caetano	Av. São Caetano, 300 - Bairro São Caetano	592914	7795050
Escola Municipal Israel José Carlos - CAIQUE	Rua Nova York, 341- Bairro Capelinha	593601	7794714
Unidade Básica de Saúde	Rua Braúnas	593029	7793807
Estação Cascata	Rua Getúlio Vargas, 1	595653	7789824
Estação Petrovale	Rua Argentina, 164 - Bairro Petrovale	592980	7788888
Escola Estadual Antonio Augusto Ribeiro	Rua Marsal de Melo, Bairro Paulo Camilo	590827	7792566
Substação CEMIG	Rua Rio Madeira - Bairro Stª Cruz	590196	7792392
Escola Municipal José Salustiano Lara	Rua 2 - Bairro Bandeirinha	586469	7788192
Escola Municipal Dep. Jorge Ferraz	Av. Marte, 748 – Bairro Jardim Riacho	598648	7791255
Escola Municipal Jenny Faria	Rua Piratininga, 798 - Bairro Bandeirantes	598933	7792397
Praça Tancredo Neves	Rua Domingos Diniz Moreira	594951	7797286
Sede CINCO (Administrativa)	Rua Haeckel B. Salvador – Centro Industrial Contagem	597762	7795558
Centro de Consultas Iria Diniz	Av. João César de Oliveira - Bairro Eldorado	599795	7794939
Escola Estadual Rui Pimenta	Av. Frei Henrique Soares, Bairro Inconfidente	600423	7792814
Escola Estadual Central	Rua Fernandes Tourinho, 1520 - Bairro Lourdes	610520	7795157
5º Distrito de Meteorologia - INMET	Av. do Contorno, 8159 - Bairro Santo Agostinho	609652	7795425
Clube dos Oficiais da PMMG	Rua Diabase, 200 - Bairro Prado	608713	7796923
12º Batalhão de Infantaria do Exército	Rua Tenente Brito Melo - Bairro Barro Preto	609349	7796567
Serraria Souza Pinto	Av. Assis Chateaubriant, 609 - Bairro Centro	611550	7797015
Estação Praça Rui Barbosa	Av. Andradas – Bairro Centro	611640	7797612
Aeroporto Pampulha	Av. Cristiano Machado	610599	7804526
Núcleo de Apoio Guilherme Azevedo Lage	Rua Dora Cabral, 765 - Bairro Silveira	611949	7800794
IPEM – MG	Rua Jacuí, 3921 - Bairro Ipiranga	611905	7801525
Estação São Gabriel	Estrada para Stª Luzia - Bairro São Paulo	612500	7803511
Escola Municipal José Maria Mares Guia	Rua dos Beneditinos, 180 - Bairro Heliópolis	610829	7805459
Escola Municipal Francisco Magalhães Gomes	Rua Mamoeiras, 98 - Bairro Vila Clóris	610005	7807900
CETEC	Av. José Candido da Silveira, 2000 - Bairro Santa Inês	613607	7801042
COPASA - Estação Trat. Água Mono Redondo	Rua Estação Napomiceno - Bairro Belvedere	610619	7792490
Centro de Reabilitação Física	Av. Bandeirantes - Bairro Mangabeiras	613406	7793846
Parque Municipal Prof. Amílcar Viana Martins	Rua Cobre - Bairro Cruzeiro	612474	7794529

Obs. As estações **em destaque** são aquelas existentes atualmente na RMBH.

Figura 4.6.1 – Estações Candidatas a Integram a Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar da RMBH



4.7 CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA REDE OTIMIZADA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DA RMBH

A Figura de mérito (FOM), como definida no item 4.3, pode também ser entendida como uma medida da ordem de grandeza da necessidade de determinada área a ser monitorada, levando-se em consideração os níveis de poluentes incidentes sobre a mesma e até a sua densidade populacional.

Nesse estudo, a densidade populacional foi levada em consideração qualitativamente, ou seja, observando-se as manchas de poluentes dispersos sobre a mancha urbana em foto de satélite.

Assim, tem-se então como variáveis numéricas de decisão as concentrações médias anuais dos poluentes atmosféricos modeladas para a região delimitada para estudo.

Combinando-se as esferas de influência das estações candidatas entre si, foi configurado o arranjo que acarreta maior cobertura espacial na região, utilizando-se do menor número de estações de medição e monitores, ou seja, a rede otimizada. Foi priorizada a instalação dos monitores automáticos nas regiões de maior mérito, que são aquelas mais susceptíveis à influência das principais fontes móveis e fixas da RMBH e que ao mesmo tempo abrigam maior densidade populacional.

A configuração otimizada da rede de monitoramento da qualidade do ar, conforme proposto inicialmente para os poluentes PI, SO₂, NO_x, CO e VOC, capaz de cobrir a área de influência das principais fontes móveis e fixas na RMBH é mostrada nas Figuras 4.7.1 a 4.7.5, respectivamente. As áreas coloridas na figura indicam a cobertura espacial da rede (com eficiência igual a 85% para os poluentes PI, SO₂, CO e VOC e de 75% para o poluente NO_x), constituída pelas estações a serem alocadas na Barragem Santa Lúcia 22º Batalhão da PM, Subestação CEMIG, Delegacia de Polícia Civil – Barreiro, DNER – REGAP, Delegacia de Entorpecentes, Aeroporto Carlos Prates, UFGM Prefeitura Unidade Administrativa II, SAFRAN, Alterosas, Escola Municipal M^a de Lourdes de Oliveira, Petrovale, Praça Tancredo Neves, Praça Rui Barbosa, Escola Municipal Francisco Magalhães Gomes e CETEC.

A escolha das estações citadas acima para a utilização de monitores automáticos deve-se ao fato dessas estações estarem posicionadas nas regiões de maior mérito, conforme as Figuras 4.3.1 a 4.3.5. Assim, as estações foram compostas e alocadas com o objetivo de proporcionar a cobertura necessária para as regiões mais impactadas pelas emissões atmosféricas da RMBH. Além disso, o posicionamento estratégico dessas 15 estações permite uma triangulação dos principais setores da região a ser monitorada, o que potencializa a aplicação de modelos de reconstrução do campo de poluentes com ótima representatividade, viabilizando o cálculo do nível de poluentes a qualquer tempo em toda a área coberta pela rede na RMBH e não somente nos pontos monitorados.

Assim, seguindo o critério de otimização da rede aplicado, esses pontos foram priorizados para receberem os monitores automáticos, com medição apenas dos parâmetros necessários em cada localidade, reduzindo ao máximo o custo de aquisição e operação da rede, sem degradação de cobertura da área monitorada.

As estações indicadas para compor a rede de monitoramento e seus respectivos parâmetros monitorados, são listadas a seguir:

- **Barragem St^a Lúcia 22º Batalhão da PM:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;

- **SUBSTANÇA CEMIG:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **DELEGACIA DE POLÍCIA CIVIL, BARREIRO:**
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Ozônio.

- **DNER - REGAP:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **DELEGACIA DE ENTORPECENTES**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **AEROPORTO CARLOS PRATES:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar;
 - Umidade Relativa;
 - Radiação Solar;

- Pressão Atmosférica;
- Pluviometria.

- **UFMG PREFEITURA UNIDADE ADMINISTRATIVA II:**
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **SAFRAN:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar;
 - Umidade Relativa;
 - Radiação Solar;
 - Pressão Atmosférica;
 - Pluviometria.

- **ALTEROSAS:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **ESCOLA MUNICIPAL M^a DE LOURDES DE OLIVEIRA:**
 - Dióxido de Enxofre;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **PETROVALE:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **PRAÇA TANCREDO NEVES:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;

- Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
- Ozônio;
- Direção e Velocidade do Vento;
- Temperatura do Ar.

- **PRAÇA RUI BARBOSA:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **ESCOLA MUNICIPAL FRANCISCO MAGALHÃES GOMES:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar.

- **CETEC:**
 - Partículas Inaláveis (< 10 µm);
 - Dióxido de Enxofre;
 - Óxidos de Nitrogênio, NO e NO₂;
 - Monóxido de Carbono;
 - Hidrocarbonetos Totais, Metano e Não Metano;
 - Ozônio;
 - Direção e Velocidade do Vento;
 - Temperatura do Ar;
 - Umidade Relativa;
 - Radiação Solar;
 - Pressão Atmosférica;
 - Pluviometria.

As Figuras 4.7.1 a 4.7.5 apresentam respectivamente a composição e cobertura espacial da rede de monitoramento de PI, SO₂, NO_x, CO e VOC composta por monitores automáticos.

Figura 4.7.1 - Rede Otimizada de Monitoramento de Partículas Inaláveis da RMBH, com 85% de Eficiência – Monitores Automáticos

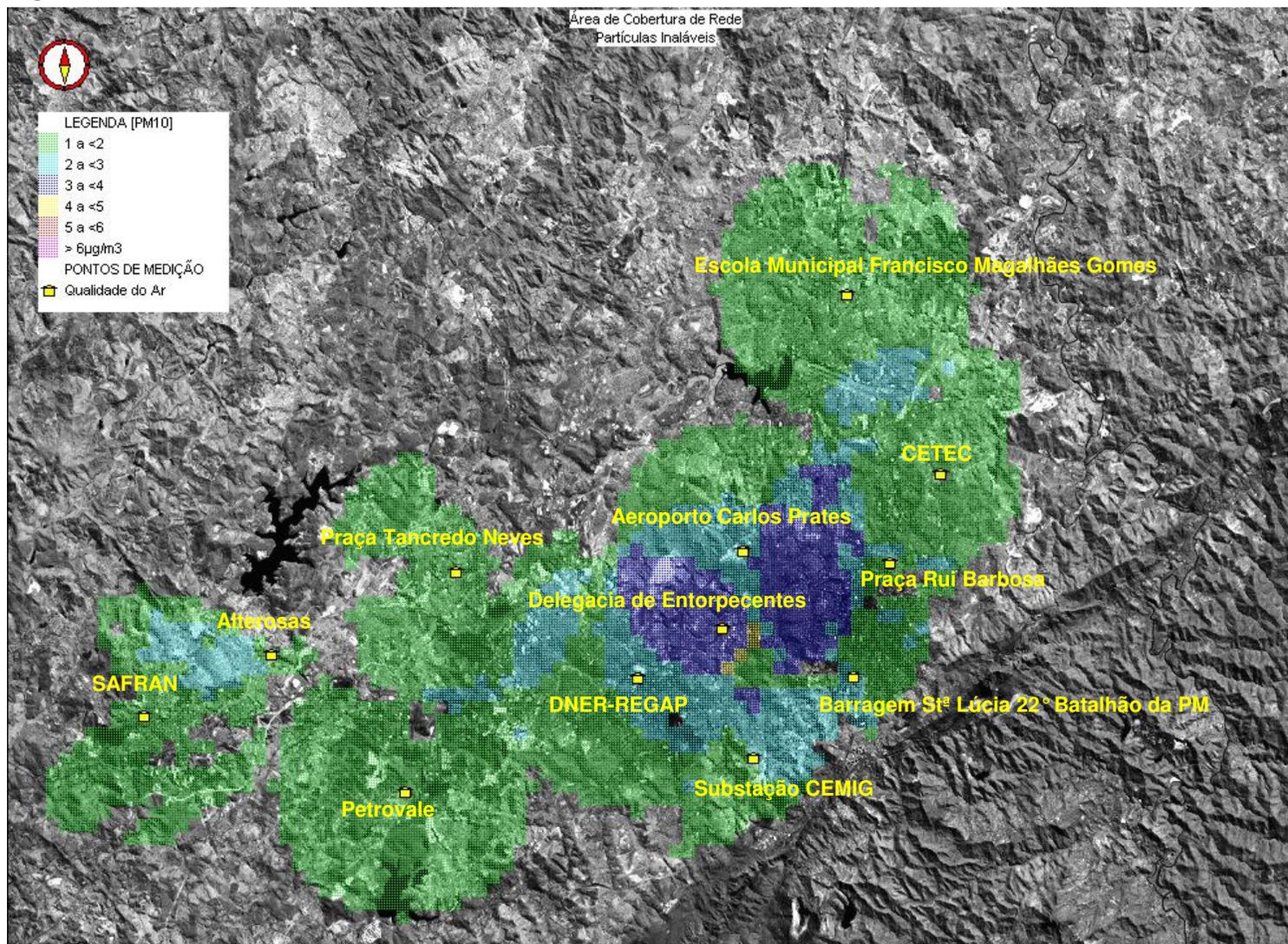


Figura 4.7.2 - Rede Otimizada de Monitoramento de Dióxido de Enxofre da RMBH, com 85% de Eficiência – Monitores Automáticos

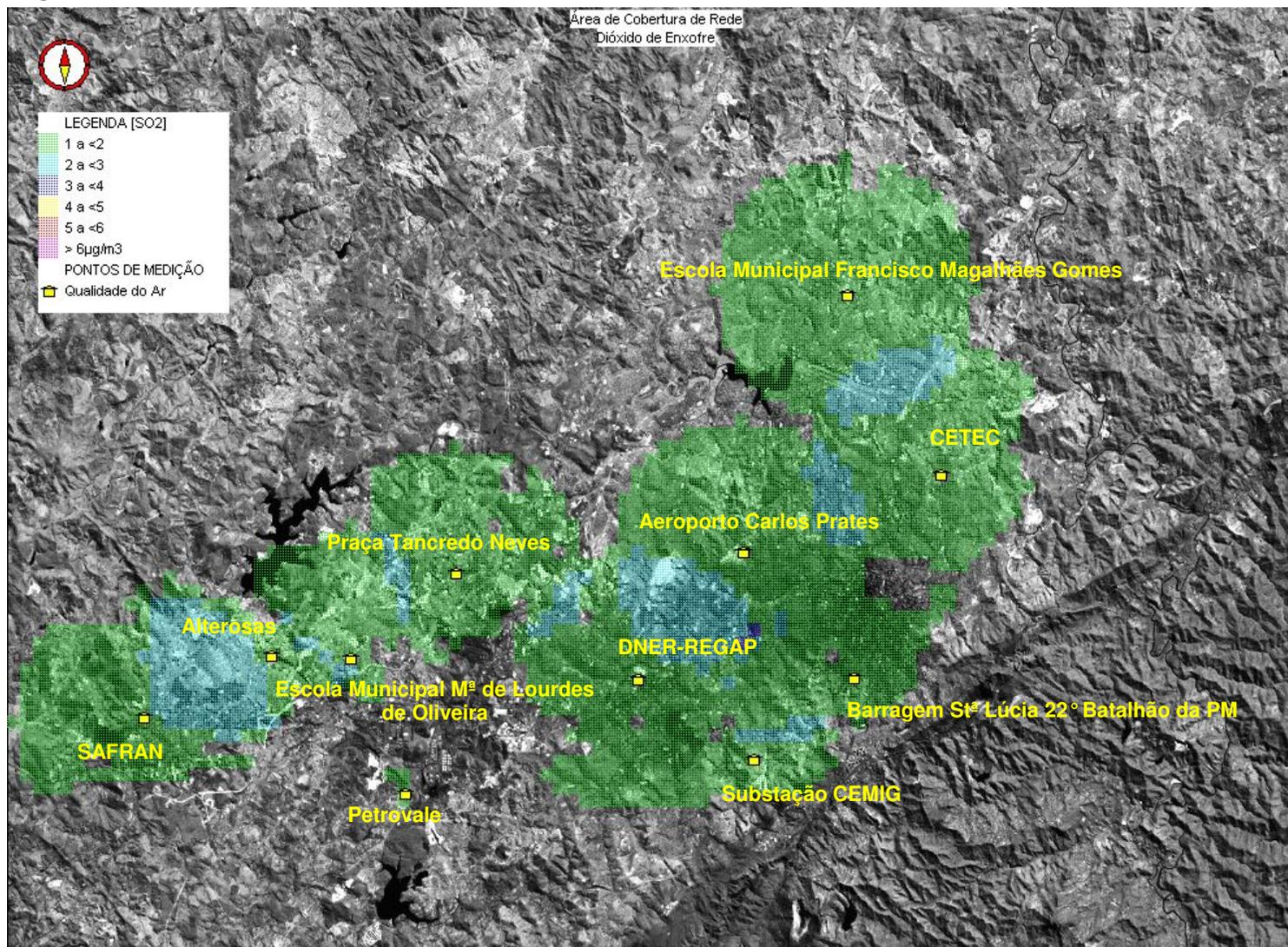


Figura 4.7.3 - Rede Otimizada de Monitoramento de Óxidos de Nitrogênio da RMBH, com 75% de Eficiência – Monitores Automáticos

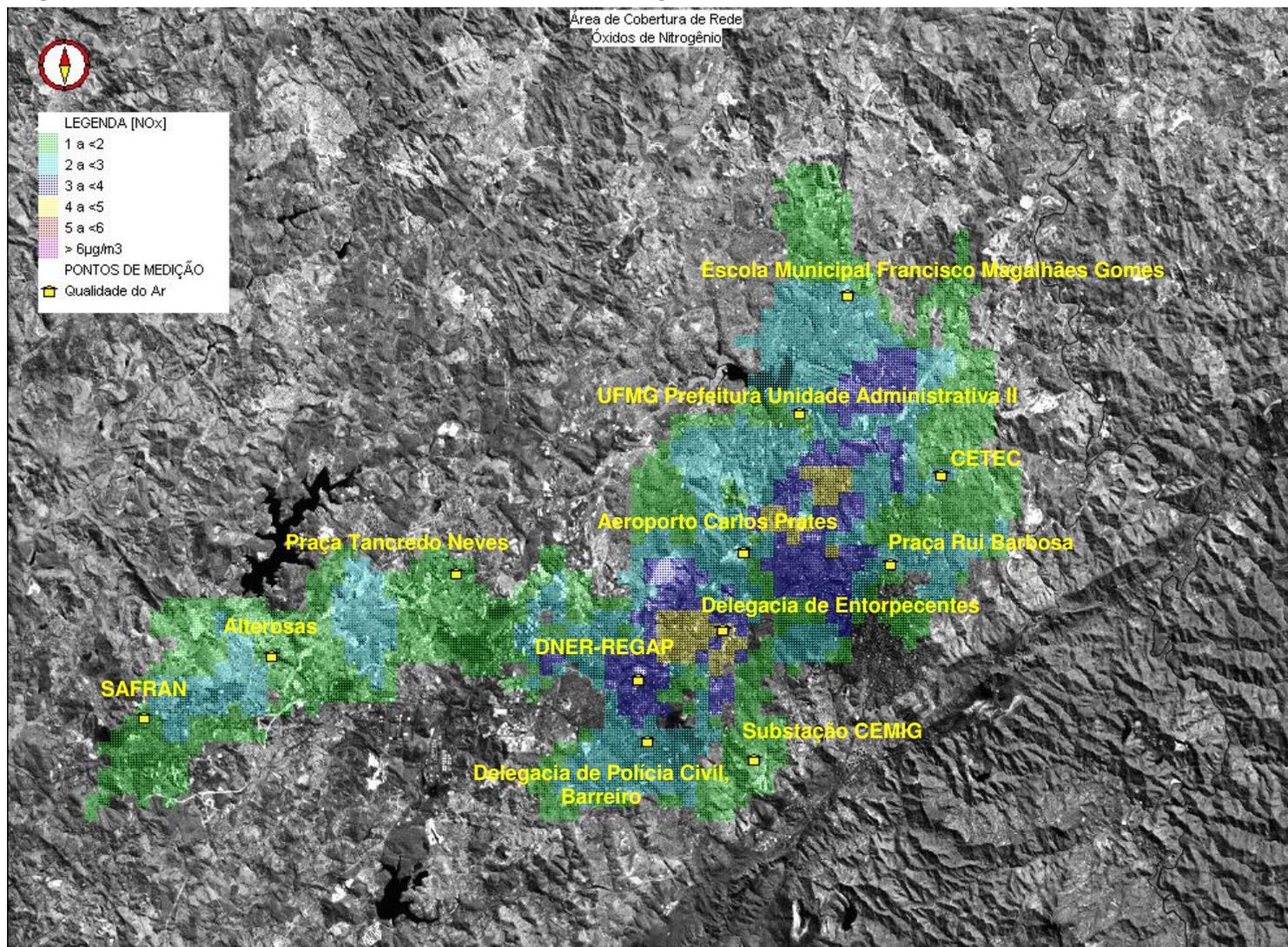


Figura 4.7.4 - Rede Otimizada de Monitoramento de Monóxido de Carbono da RMBH, com 85% de Eficiência – Monitores Automáticos

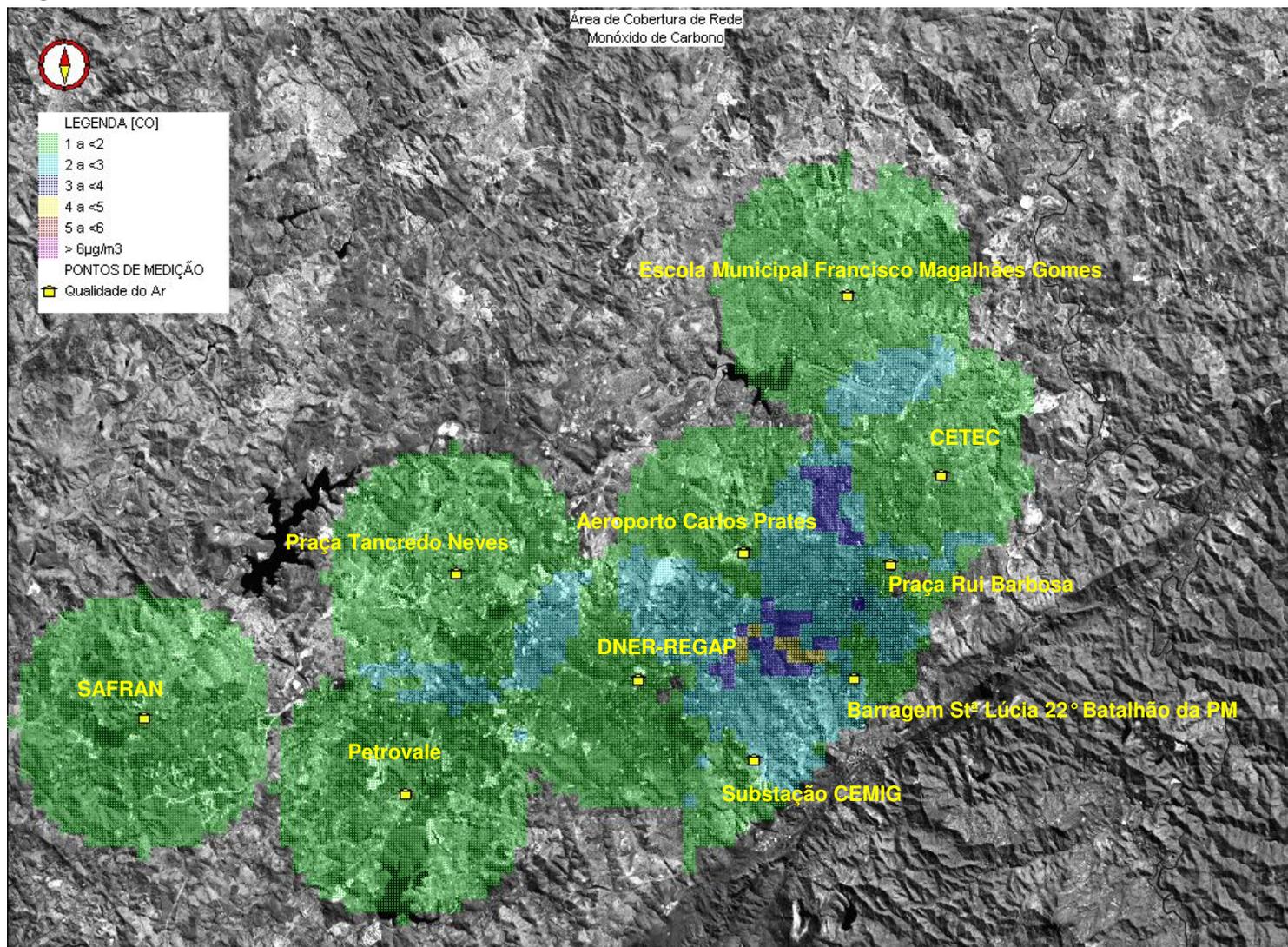
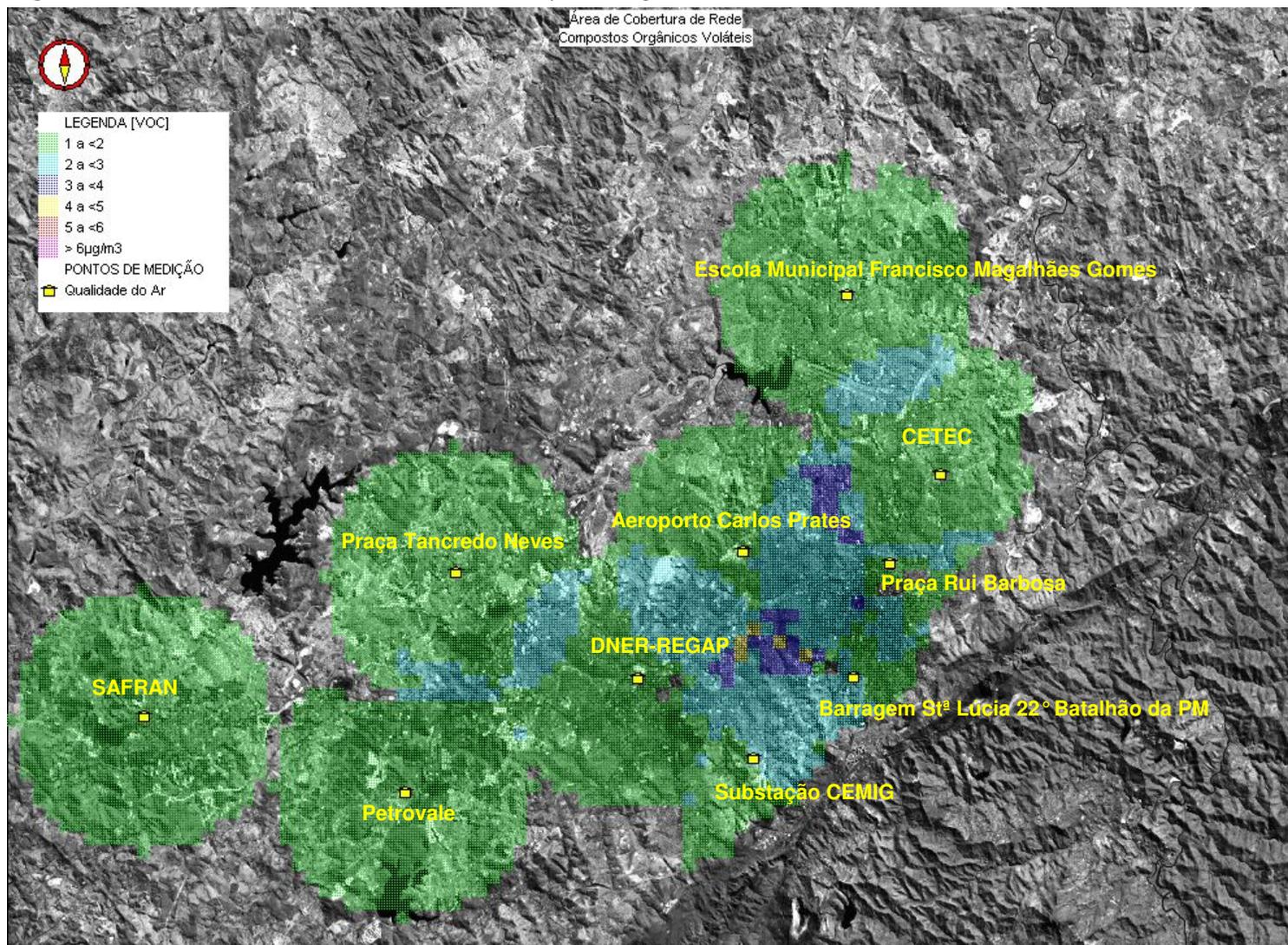


Figura 4.7.5 - Rede Otimizada de Monitoramento de Compostos Orgânicos Voláteis da RMBH, com 85% de Eficiência – Monitores Automáticos



4.8 ESPECIFICAÇÕES BÁSICAS DAS TECNOLOGIAS DOS EQUIPAMENTOS DA REDE

4.8.1 EQUIPAMENTOS PARA A MEDIÇÃO SISTEMÁTICA DA CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS NA ATMOSFERA

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

- **PARTÍCULAS INALÁVEIS (PI)** - Monitor contínuo

Princípio de Medição Recomendado: absorção de raios β .

Monitor Beta: A absorção de raios beta 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 beta 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. O monitor de partículas inaláveis possui uma unidade de fracionamento de partículas instalado antes do filtro, que remove as partículas maiores que 10 μm , deixando chegar ao filtro apenas a fração que se deseja medir.

Faixa de Medição: 0 - 0,25 / 0,5 mg/m^3

Limite Inferior de Detecção: máximo de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para ciclo de 60 minutos

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

Exatidão: $\pm 10,0\%$ 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: padrão RS 232

Temperatura de Operação: 0 - 40° C

Alimentação: 127 V - 60 Hz

Display: digital

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

Deverá ser adquirido juntamente com os equipamentos de amostragem, o sistema de calibração dos medidores de Partículas Inaláveis.

- **DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂)** - Monitor contínuo

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 % F.S.

Linearidade: ± 1,0 % F.S.

Desvio do zero: ± 2,0 ppb/semana

Desvio do SPAN: ± 2,0 % F.S./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.

- **MONÓXIDO DE CARBONO (CO)** - Monitor contínuo

Princípio de Medição Recomendado: absorção de infravermelho não dispersivo.

A medição de monóxido de carbono pelo princípio citado baseia-se no fato de que o CO absorve energia luminosa com determinado comprimento de onda na faixa do infravermelho. Então é possível medir a concentração de CO 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 - 10 / 25 / 50 / 100 ppm

Limite Inferior de Detecção: 0,1 ppm

Repetibilidade: ± 1,0 % Fundo de Escala (F.S.)

Linearidade: ± 1,0 % F.S.

Desvio do zero: ± 0,2 ppm/semana

Desvio do SPAN: ± 3,0 % F.S./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 (livre de contaminantes) para o monitor de CO, sendo que a maioria dos fabricantes já inclui esse dispositivo internamente em seus aparelhos.

- **ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NO_x, NO, NO₂)** - Monitor contínuo

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 % F.S.

Linearidade: ± 1,0 % F.S.

Desvio do zero: ± 0,2 ppb/semana

Desvio do SPAN: ± 2,0 % F.S./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.

- **OZÔNIO (O₃) - Monitor Contínuo**

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: $\pm 1,0$ % F.S.
Linearidade: $\pm 2,0$ % F.S.
Desvio do zero: $\pm 2,0$ ppb/semana
Desvio do SPAN: $\pm 2,0$ % F.S./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.

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. Recomenda-se ainda que o monitor de O₃ disponha de uma unidade de geração de O₃ para permitir a geração de gás padrão usado na calibração e aferição do monitor.

- **HIDROCARBONETOS (HCT, HCnM, CH₄) - Monitor contínuo**

Princípio de Medição Recomendado: ionização de chama.

Utiliza a ionização que ocorre como resultado da energia de alta temperatura proveniente da combustão dos compostos orgânicos que são introduzidos numa chama de hidrogênio. A chama de hidrogênio localiza-se entre dois eletrodos. Quando uma tensão elétrica é aplicada através desses eletrodos uma pequena corrente iônica proporcional à concentração de hidrocarbonetos é produzida. Esta corrente é processada, gerando-se o sinal de concentração de HC. As frações de metano e não metano são obtidas pela releitura da amostra após passar por um conversor de HCT para CH₄.

Faixa de Medição: 0 - 10 / 50 / 100 / 500 ppm
Limite Inferior de Detecção: 0,05 ppm
Repetibilidade: $\pm 1,0$ % F.S.
Linearidade: $\pm 1,0$ % F.S.
Desvio do zero: $\pm 0,2$ ppm/semana
Desvio do SPAN: $\pm 4,0$ % F.S./semana
Tempo de Resposta: 60 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 HCT, sendo que alguns dos fabricantes já incluem esse dispositivo internamente em seus aparelhos. Outro dispositivo adicional que pode ser necessário é a unidade de geração de H₂ (que deverá incluir todos os dispositivos de segurança que gás altamente inflamável exige) caso o monitor já não disponha do mesmo internamente.

- **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 delicados 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.

- **RACK DE SUPORTE DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO**

É recomendado 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.

- **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 performance de funcionamento previstas para a unidade medidora. É muito interessante que esse tipo de dispositivo permita ainda a geração de gás padrão (de um mesmo gás) em múltiplas concentrações a partir de um único cilindro do gás padrão concentrado. Isto permitirá a calibração (ou aferição) 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.

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 1:9000;

Exatidão de Ajuste de Diluição: ±1%

Repetibilidade: ± 0,2 %

Unidade de Geração de Gás Padrão por Tubos de Permeação: para os gases SO₂ e NO₂, com câmara de permeação com temperatura regulada a 40 ±1 °C

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)

Para os monitores automáticos de PI são utilizadas placas ou pastilhas de calibração que simulam determinada concentração de poluente, que devem ser providas pelo mesmo fabricante do monitor. Recomenda-se que seja adquirido rotâmetro de precisão para a calibração da vazão desses monitores, a ser especificado pelo próprio fabricante do monitor (a especificação depende da vazão de trabalho utilizada por cada fabricante).

4.8.2 EQUIPAMENTOS PARA A MEDIÇÃO SISTEMÁTICA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

A especificação técnica mínima para a aquisição dos sensores citados é realizada a seguir:

- **VELOCIDADE DO VENTO** - Monitoramento contínuo

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: $\pm 0,25$ m/s para faixa de 0,5 a 5 m/s e $\pm 2\%$ F.S. para velocidade acima de 5 m/s

Temperatura de Operação: 0 - 50° C

Acessório Obrigatório: torre telescópica para fixação do anemômetro

Altura de Medição: 10 m acima do solo

- **DIREÇÃO DO VENTO** - Monitoramento contínuo

Princípio de Medição Recomendado: biruta com pá balanceada

Faixa de Medição: 0 - 360°

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

Exatidão: $\pm 5^\circ$ para velocidade acima de 3 m/s

Temperatura de Operação: 0 - 50 °C

Acessório Obrigatório: torre telescópica para fixação do anemômetro (mesma acima)

- **TEMPERATURA E UMIDADE DO AR** - Monitoramento contínuo

Princípio de Medição Recomendado: termistor

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

Exatidão: $\pm 0,35$ °C e $\pm 3\%$

Acessório Obrigatório: base de sustentação e abrigo para o sensor

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

- **PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA** - Monitoramento contínuo

Princípio de Medição Recomendado: pluviômetro de gangorra

Faixa de Medição: 0 - 100 mm/h

Exatidão: $\pm 1\%$ da leitura

Acessório Obrigatório: base de sustentação do pluviômetro.

- **RADIAÇÃO SOLAR TOTAL** - Monitoramento contínuo

Princípio de Medição Recomendado: piranômetro (espectro na faixa de 400 a 1100 nm)

Faixa de Medição: 0 - 1400 W/m²

Exatidão: $\pm 5\%$ F.S.

Acessório Obrigatório: base de sustentação do piranômetro.

- **PRESSÃO BAROMÉTRICA** - Monitoramento contínuo

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

4.8.3 EQUIPAMENTOS PARA A AQUISIÇÃO E TELEMETRIA DE DADOS DE QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA

Todos os dados gerados nas estações de medição pelos monitores contínuos de qualidade do ar e meteorologia, tomados como médias horárias ou médias de períodos mais curtos (a ser selecionado pela gerência operacional da rede), deverão ser localmente (na estação) armazenados temporariamente por um período mínimo de 7 dias e permitir a telemetria dos dados em memória para o sistema supervisorio Atmos 4.0 instalado no Centro Supervisorio de Qualidade do Ar (CSQA) na FEAM (Belo Horizonte).

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 CSQA.

É importante ressaltar no entanto, que a solução de aquisição e tratamento de dados a ser adotada para as novas estações de qualidade do ar e meteorologia deverá ser totalmente compatível com a solução a ser adotada para a aquisição e tratamento de dados das estações de qualidade do ar e meteorologia existentes, de forma a integrar todos os equipamentos da rede via integração dos dados no software Atmos 4.0 instalado na FEAM.

SISTEMA DE AQUISIÇÃO LOCAL E TELEMETRIA DE DADOS

- **Requisitos das Estações Remotas**

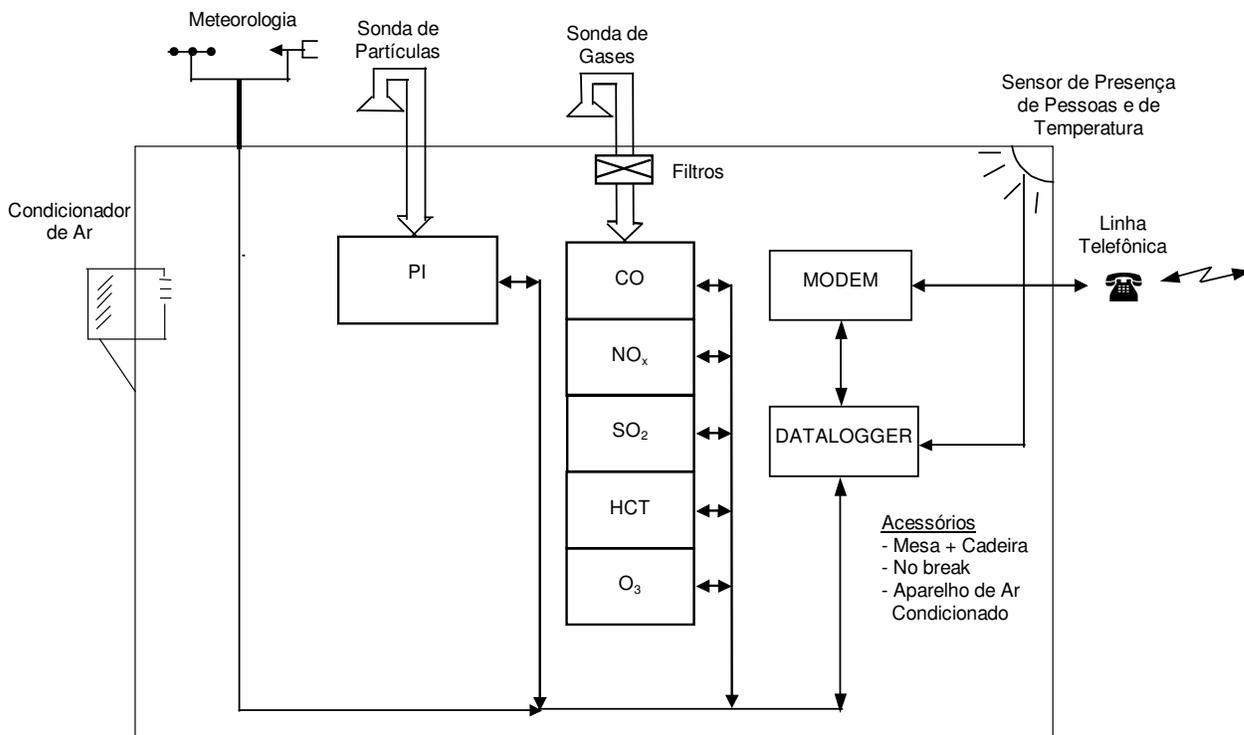
Sistema de Multiaquisição de Dados: constituído de datalogger com entradas analógicas de 4 a 20mA ou digitais (número de entradas variável de acordo com o número de sinais de cada estação), com intervalo de aquisição de dados máximo de 10 segundos; cálculo interno e armazenamento automático de médias horárias (ou de 5, 15, 30 minutos) 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 7 dias ou mais; modem interno ou externo para comunicação com CSQA; 127 V, 60 Hz.

No Break Estabilizado: para alimentação contínua do Sistema de Multiaquisição de Dados; 127 V, 60 Hz, 1000 VA; com autonomia mínima de 30 minutos com 50 % da carga.

Linha Telefônica: terminal de linha telefônica comercial (comum) para conexão discada do modem e telemetria de dados até os centros supervisorios.

Sensores de Temperatura e Presença de Pessoas: os sinais coletados por estes sensores devem ser transmitidos através do datalogger ao CS, 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.

Figura 4.7.1 – Exemplo de Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia Remota



• Requisitos do Centro Supervisório de Qualidade do Ar da FEAM

Microcomputador 1: tipo PC, dedicado exclusivamente ao roteamento sistemático das estações de monitoramento da rede via linha discada para aquisição de dados gerados, validação automática de dados, transmissão automática dos dados válidos recebidos ao banco de dados Oracle utilizado pelo sistema Atmos da FEAM; processador Pentium IV 2.4 GHz ou posterior; HD 80 GB; monitor colorido 15" SVGA 1024 x 768 0,28 dp; 512 MB memória RAM; modem 56 kbps V90; placa de rede padrão Ethernet; sistema operacional Windows 2000 Pro ou posterior; 127 V, 60 Hz; software para roteamento e aquisição de dados das novas estações e da estação meteorológica existente; software para validação de dados recebidos da rede de medição e inserção automática no banco de dados Oracle da FEAM.

Microcomputador 2: tipo PC, processador Pentium IV 2.4 GHz ou posterior, HD 60 GB, monitor colorido 17" SVGA 1024 x 768 0,28 dp, 512 MB memória RAM, modem 56 kbps V90, placa de rede padrão Ethernet, sistema operacional Windows 2000 Pro ou posterior, 127 V, 60 Hz, dedicado 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 material particulado e outras

funções do software Atmos 4.0 com conexão ao banco de dados Oracle corporativo da FEAM;

Acesso a Internet para análise de meteorologia sinótica de previsão.

No Break Estabilizado: para alimentação contínua dos 2 Microcomputadores do Centro Supervisório; 127 V, 60 Hz, 2000 VA; com autonomia mínima de 30 minutos com 50 % da carga.

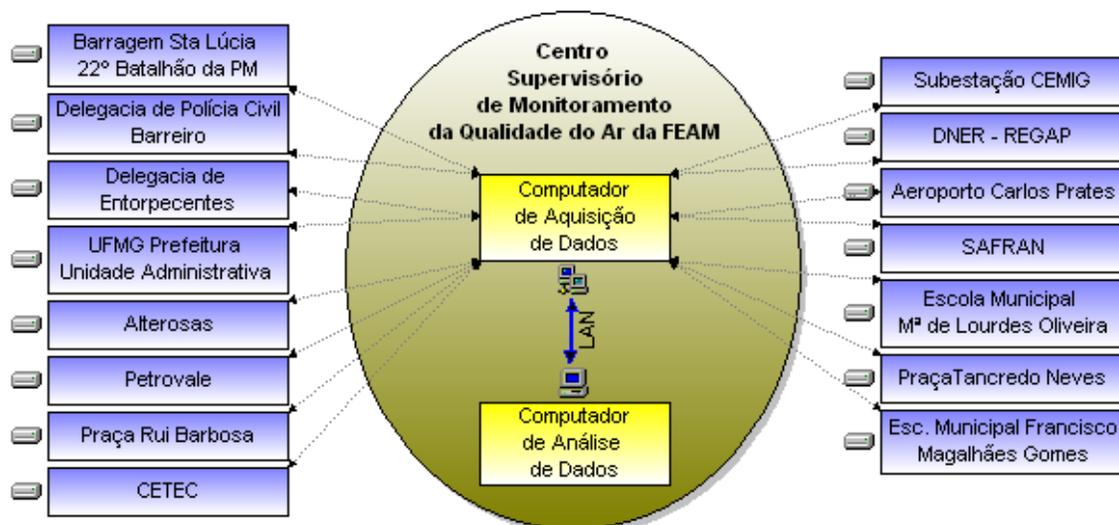
2 Linhas Telefônicas: 2 terminais de linha telefônica comercial (comum) para conexão dos modems de telemetria de dados das estações remotas à FEAM.

Banco de Dados (disponível na FEAM): o Centro Supervisório deverá utilizar o banco de dados corporativo da FEAM (Oracle), acessível pela rede local via software Atmos 4.0, para armazenamento de todas as informações a serem geradas continuamente pela rede.

Software de Gestão Atmosférica e Integração: A FEAM dispõe do software Atmos 4.0 para gestão atmosférica e do software Migris 4.0 que permite a integração de diferentes sistemas de aquisição e telemetria de dados. Todos os dados gerados pela rede de qualidade do ar e meteorologia deverão ser enviados automaticamente para o Centro Supervisório de Qualidade do Ar da FEAM, utilizando a conexão aberta oferecida pelo Migris.

A Figura a seguir apresenta de forma esquemática a composição e o fluxo de comunicação de dados entre as estações de monitoramento atmosférico e a FEAM.

Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar da RMBH



5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho, foi realizado um criterioso inventário das emissões de poluentes atmosféricos para os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Betim. Esse inventário, que foi auxiliado e acompanhado pela FEAM e pelos órgãos municipais de Belo Horizonte, Contagem e Betim, consistiu na coleta de informações de processo e produção das empresas instaladas na Região Metropolitana de Belo Horizonte, seguida de cálculo para a estimativa da emissão de poluentes atmosféricos para cada fonte significativa detectada em cada empresa inventariada. Durante a coleta de informações das empresas, foram coletadas ainda as informações físicas e as características de cada fonte inventariada, tais como a localização (coordenadas geodésicas), altura e diâmetro de chaminés, dentre outras variáveis.

As vias de tráfego (ou fontes móveis) dos municípios de Belo Horizonte, Contagem e Betim também foram incluídas no inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos, devido à importância relativa dessas fontes no contexto da RMBH. A existência de dados relativos à movimentação de veículos nessas vias é variável fundamental para a realização das estimativas de emissão. O inventário de fontes móveis de Belo Horizonte foi realizado com base em uma rica série de dados fornecidos pela BHTRANS. Contudo, não foi possível a obtenção dos dados de fluxo de tráfego de veículos para a caracterização das vias de Contagem e Betim. Nesse sentido, foi realizada na primeira quinzena do mês de dezembro de 2002 a contagem do fluxo de veículos leves (automóveis de passeio) e pesados (caminhões e ônibus) nas principais vias de tráfego dos municípios de Contagem e Betim, tornando possível a inclusão dessa importante tipologia de fonte no projeto da rede.

Informações históricas de micrometeorologia geradas na estação localizada no aeroporto de Confins foram utilizadas para a determinação de cenários meteorológicos característicos da região, servindo de base para a aplicação do modelo matemático de dispersão de poluentes.

As alterações das concentrações de poluentes na atmosfera decorrentes das emissões das atividades das fontes inventariadas na RMBH, foram calculadas utilizando o modelo Atmos 3.3, descrito no item 3.1 (Modelo de Longo Período), devidamente carregado com 3 anos de informações históricas de micrometeorologia geradas no aeroporto de Confins.

Trabalhando-se com cenários de longo período de qualidade do ar, gerados por modelagem utilizando o Atmos 3.3, e utilizando-se de informações coletadas por visitas a locais candidatos a sediar estações de monitoramento, procedeu-se ao dimensionamento de uma rede otimizada de monitoramento da qualidade do ar, capaz de cobrir as áreas urbanas dos municípios contemplados no estudo, com o menor número de estações e instrumentos possível.

A rede assim projetada é constituída de 15 estações automáticas, capazes de cobrir com eficiência de 85% toda a região urbana sob influência significativa das emissões da RMBH para os poluentes PI, SO₂, CO e VOC e de 75% para o poluente NO_x e O₃. Vale ressaltar que o grau de eficiência mínimo recomendado pela EPA para uma rede de

monitoramento é de 50%, sendo mais comumente utilizados valores de projeto na faixa entre 65% e 85% de eficiência.

As estações de medição contínua deverão ser totalmente automatizadas, devendo receber um conjunto diferenciado de um ou mais parâmetros citados a seguir, de acordo com a necessidade: PI, SO₂, NO_x, NO, NO₂, CO, THC, HCnM, CH₄, O₃ e parâmetros meteorológicos. As estações deverão ser ainda dotadas de equipamentos para telemetria de dados até o Centro Supervisório da Qualidade do Ar instalado na FEAM.

As estações estrategicamente situadas em área de maior mérito, que integrarão a rede otimizada automática, estão assim localizadas:

Estação Barragem St^a Lúcia 22^o Batalhão da PM: Av. Artur Bernardes - Bairro St^a Lúcia – Belo Horizonte;

Estação Substação CEMIG: Anel Rodoviário -Bairro Olhos D'água – Belo Horizonte;

Estação Delegacia de Polícia Civil – Barreiro: Rua Barão de Coromandel – 982 – Belo Horizonte;

Estação DNER – REGAP: Av. Babita Camargos – Belo Horizonte;

Estação Delegacia de Entorpecentes: Av. Amazonas esquina com Miguel Gentil – Belo Horizonte;

Estação Aeroporto Carlos Prates: Bairro Carlos Prestes / Padre Eustáquio – Belo Horizonte;

Estação UFMG Prefeitura Unidade Administrativa II: Av. Abraão Caram, Campus da UFMG – Belo Horizonte;

Estação SAFRAN: Rua Pará de Minas - Bairro Brasiléia - Betim;

Estação Alterosas: Av. Campos de Ourique - Bairro Alterosas - Betim;

Estação Escola Municipal M^a de Lourdes de Oliveira: Rua Rio Negro,1213 - Bairro St^a Cruz - Betim;

Estação Petrovale: Rua Argentina, 164 - Bairro Provale - Betim;

Estação Praça Tancredo Neves: Rua Domingos Diniz Moreira - Contagem;

Estação Praça Rui Barbosa: Av. Andradas – Centro – Belo Horizonte;

Estação Escola Municipal Francisco Magalhães Gomes: Rua Mamoeiras, 98 - Bairro Vila Clóris – Belo Horizonte;

Estação CETEC: Av. José Candido da Silveira, 2000 - Bairro St^a Inês – Belo Horizonte.

Essas estações foram escolhidas para integrarem a rede automática, porque além de estarem situadas nas regiões de maior influência das emissões das fontes inventariadas, também possuem maiores áreas de cobertura e representatividade estratégicas.

O Tabela 5.1 a seguir apresenta os parâmetros monitorados nas estações que compõem a rede:

Tabela 5.1 – Parâmetros a serem Monitorados nas Estações de Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Estação de Qualidade do ar	PM-10	SO2	NOX	CO	VOC	O3	Meteorologia
Ponto 6 - Barragem Stª Lúcia 22º Batalhão da PM	X	X		X	X		
Ponto 8 - Subestação CEMIG	X	X	X	X	X	X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto 13 - Delegacia de Polícia Civil, Barreiro			X			X	
Ponto15 - DNER-REGAP	X	X	X	X	X	X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto16 - Delegacia de Entorpecentes	X		X			X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto18 - Aeroporto Carlos Prates	X	X	X	X	X	X	Completa
Ponto21 - UFMG Prefeitura Unidade Administrativa II			X			X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto23 – SAFRAN	X	X	X	X	X	X	Completa
Ponto28 – Alterosas	X	X	X			X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto29 - Escola Municipal Mª de Lourdes de Oliveira		X					DV, VV e Temperatura do ar
Ponto34 - Estação Petrovale	X	X		X	X		DV, VV e Temperatura do ar
Ponto40 - Praça Tancredo Neves	X	X	X	X	X	X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto50 - Estação Praça Rui Barbosa	X		X	X	X	X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto56 - Escola Municipal Francisco Magalhães Gomes	X	X	X	X	X	X	DV, VV e Temperatura do ar
Ponto 57 - CETEC	X	X	X	X	X	X	Completa

Obs.

- As estações **em destaque** são aquelas existentes atualmente na RMBH;
- DV, VV – Direção do Vento e Velocidade do Vento;
- Estação Meteorológica Completa – Direção e Velocidade do Vento, Temperatura do ar, Umidade Relativa, Radiação Solar, Pressão Barométrica e Pluviometria.

A Figura 5.1 apresenta a síntese da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar da FEAM.

A especificação das tecnologias dos equipamentos a serem utilizados na rede contidas no presente relatório, relativas a sensoriamento, armazenagem, transmissão e recuperação dos dados monitorados, segue a mais recente tendência, deixando margens para modernização posterior, mas com uma vida útil em termos tecnológicos de pelo menos dez anos.

A operação e manutenção da rede otimizada de monitoramento da qualidade do ar podem ser realizadas pela própria FEAM ou por empresas especializadas, sempre tendo como meta a garantia de uma operação contínua, segura e confiável. Tais cuidados são necessários para que sejam asseguradas a representatividade e suficiência dos dados gerados, tendo em vista que os mesmos serão utilizados para avaliação da qualidade do ar a que a população está sujeita e para a avaliação dos efeitos de políticas e medidas de controle adotadas.

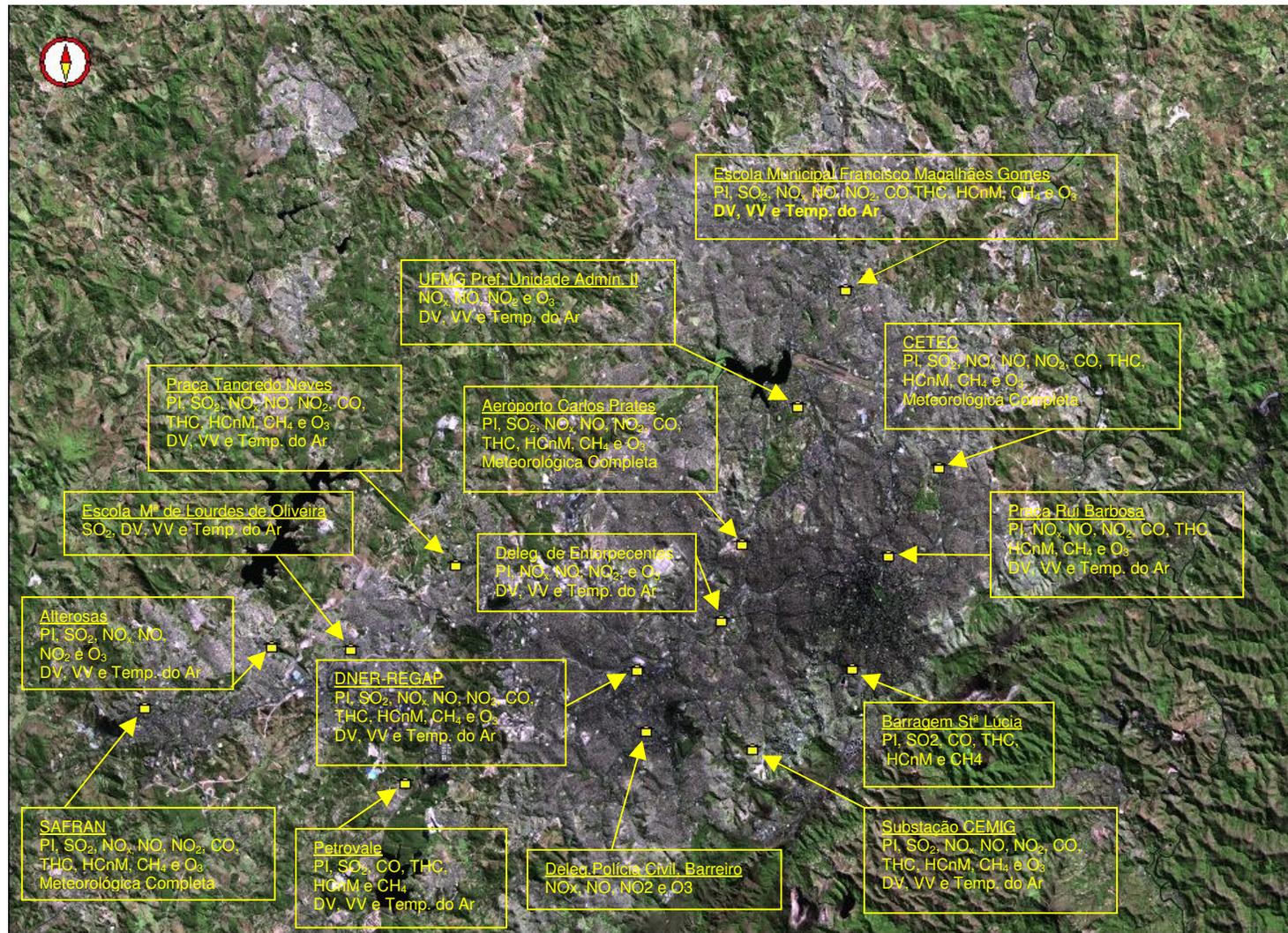
No entanto, recomenda-se que o gerenciamento e a fiscalização da mesma seja tarefa exclusiva da FEAM, conferindo ao sistema maior confiabilidade.

Seria de grande valia que comparações periódicas entre as concentrações monitoradas e os valores provenientes de modelagens da dispersão dos contaminantes fossem realizadas, de modo a assegurar a validação contínua das ferramentas de modelagem a serem usadas na gestão atmosférica na Região Metropolitana de Belo Horizonte, dado o grande dinamismo das fontes emissoras e tendo sempre em mente a melhoria contínua dessa ferramenta de gestão.

Por fim, sugere-se a emissão de relatórios de qualidade do ar diários, mensais e anuais, bem como sua comunicação ao público em geral na forma de boletins eletrônicos, usando a internet, mídia impressa, painéis e outras formas de divulgação de massa, sempre confeccionados ou supervisionados pela FEAM e utilizando-se de linguagem acessível ao público interessado.

No Anexo C do presente relatório são descritas algumas informações básicas necessárias para o inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos das empresas a serem licenciadas na FEAM.

Figura 5.1- Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar do Eixo Belo Horizonte - Contagem - Betim



6. EQUIPE TÉCNICA

Luiz Cláudio Donadello Santolim
Andréa Nardi
Jefferson Vieira Gonzaga
Josiane de Freitas
Flávio Curbani
Luiz Antônio Radaeli
Anderson da Silva Simões

M.Sc. Engenheiro Ambiental
Engenheira Química
Estagiário Engenheiro Química
Estagiária Engenheira Química
Engenheiro Mecânico
Técnico em Meio Ambiente
Técnico em Meio Ambiente

Beverly Wen Yuh Liu
Edwan Fernandes Fioravante
Isis Laponez da Silveira
Elisete Gomides Dutra
Cláudia Melo de Assis
Rita de Cássia Modesto Anizelli
Miriam Regina Cardoso de Oliveira

Botânica
Estatístico
Engenheira Metalurgista
Engenheira Química
Química
Engenheira Química
Química

7. BIBLIOGRAFIA

1. Anderson G. E. (1971) Meso-scale Influences on Wind Fields. Journal of Applied Meteorology. Vol. 10, 377 – 386.
2. Biometrika Tables for Statisticians (Vol.1)(1976) Biometrika Trust, London.
3. BOX, Paul, C. Traffic Studies. In Transportation and Traffic Engineering Handbook. ITE. Institute of Transportation Engineering. 1982.
4. Briggs G.A. (1969) Plume Rise, U.S. Atomic Energy Commission Critical Review Series T/D 25075.
5. Briggs G.A. (1971) Some Recent Analysis of Plume Rise Observations. Proceedings of the Second International Clean Air Congress, Academic Press, New York, USA.
6. Briggs G. A. (1972) Discussion on Chimney Plumes in Neutral and Stable Surroundings, Atmospheric Environment, 6 : 507-510.
7. Briggs G.A. (1974) Diffusion Estimation for Small Emissions, Environmental Research Laboratories Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory 1973 Annual Report, Natl. Oceanic Atmos. Admin., Washington, D.C., USA.
8. Briggs G.A. (1975) Plume Rise Predications, Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis, American Meteorological Society, Boston, Massachussets, USA.
9. Buell C.E. (1975) Objective Procedures for Optimum Location of Air Pollution Observation Stations. U.S. Environmental Protection Agency (EPA - 650/4 - 75 - 005).
10. Cannon J.R. and Klein R.E. (1970) Optimal selection of measurement location in a conductor for approximate determination of temperature distribution. Proc. Joint Automatic Control Conf., pp. 750 - 756, Atlanta.
11. Caracterização das Emissões Atmosféricas, seus Impactos sobre a Qualidade do Ar e Dimensionamento da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para a Cidade de Itabira – MG, EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais Ltda., Vitória, ES.
12. Code of Federal Registers 40 - PART 58 - Ambient Air Quality Surveillance. U.S. Environmental Protection Agency (EPA 40 Ch. I - 1995).
13. Compilation of Air Pollutant Emission Factor - Fourth Edition – AP42 (1985) U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

14. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Update of Fourth Edition – AP42 (1998), U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
15. Crawford, M.(1980) Air Pollution Control Theory, TMH Edition, McGraw-Hill, New Delhi.
16. Cressie N., Gotway C.A. and Grondona M.O. (1990) Spatial prediction from networks. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 7, 251 - 271.
17. David F.N. (1938) Tables of the Ordinates and Probability Integral of the Distribution of the Correlation Coefficient in Small Samples. Biometrika Office, London.
18. Dickerson M. H. (1978) MASCON – A Mass Consistent Atmospheric Flux Model for Regions with Complex Terrain. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 17, N° 3, 241 – 253.
19. Dorr F. W. (1970) The Direct Solution of the Discrete Poisson Equation on a Rectangle. *SIAM Review*. Vol. 12, 248 – 263.
20. Eddy A. (1974) An approach to the design of meteorological field experiments. *Mon. Wea. Rev.* 102,702 - 707.
21. Efron B. (1981) Nonparametric standard errors and confidence intervals. Technical Report No. 166, Department of Statistics, Stanford University.
22. Gandin L.S. (1963) Objective Analysis of Meteorological Fields. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
23. Gifford F.A. (1961) Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. *Nucl. Safety*.
24. Gifford F.A. (1976) Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review, *Nucl. Safety*.
25. Gilbert R.O. (1987) Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
26. Goodin W. R., McRae G. J.e Seinfeld J. H. (1980) An Objective Analysis for Constructing Three-Dimensional Urban-Scale Wind Fields. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 19, 98 - 108.
27. Klein R.E. (1971) Non well posed problems in the sense of Hadamard and their relationship to distributed parameter state reconstructor problems. *Proc. IFAC Symp. on Control of Distributed Parameter Systems*, 7 - 2, Banff, Canada.
28. Langstaff J., Seigneur C., Liu M., Behar J. and Mc Elroy J.L. (1987) Design of an Optimum Air Monitoring Network for Exposure Assessments. *Atmospheric Environment* 21, 1393 - 1410.

29. MacCracken M. C., Wuebbles D. J., Walton J. J., Deweer W. H. e Grant K. E. (1978) The Livermore Regional Air Quality Model: I. Concept and Development. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 17, 254 – 272.
30. McElroy J.L., Pooler F. (1968) The St. Louis Dispersion Study, US Public Health Service, national Air Pollution Control Administration, Cincinnati, OH, USA.
31. Nakamori Y., Ikeda S. and Sawaragi Y. (1979) Design of air pollutant monitoring system by spatial sample stratification. *Atmospheric Environment* 13, 97 - 103.
32. Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing (1992) Cambridge University Press.
33. Pasquill F. (1961) The Estimation of the Dispersion of Windborne Materials, *Met. Mag.*.
34. Pasquill F. (1971) Atmospheric Diffusion of Pollution. *Q.J. Roy. Meteorol. Soc.* 97, 369 - 395.
35. Pasquill F. (1976) Atmospheric Dispersion Parameters in Gaussian Plume Modeling. Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA
36. Pignataro L. (1973), *Traffic Engineering: Theory and Practice*. Prentice Hall Inc. N. Jersey.
37. Pompermayer F.M. e Dall'Orto L.C. (1998), *Levantamento de Tráfego da Cidade de Itabira - MG, Relatório Técnico*, Rio de Janeiro, RJ.
38. Santolim L.C.D. et al (1997) Rede Otimizada para o Monitoramento da Qualidade do Ar da Grande Vitória – ES, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.
39. Santolim, L.C.D. (1991). Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar para a Região da Grande Vitória. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental*, Universidade Federal do Espírito Santo.
40. Seinfeld J.H. (1972) Optimal location of pollutant monitoring stations in an airshed. *Atmospheric Environment* 6, 847 - 858.
41. Seinfeld J.H. (1986) *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. Wiley - Interscience
42. Shannon J.D., Wesely M. L. and Brady P.J. (1978) Objective sensor placement for sampling regional turbidity. *Atmospheric Environment* 12, 937 - 943.
43. Sherman C. A. (1978) A Mass-Consistent Model for Wind Fields over Complex Terrain. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 17, 312 – 319.

44. Switzer, P. (1979) Statistical considerations in network design. Water Resources Research 15, 1712 - 1716.
45. Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) (1979) Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Material (TNO Yellow Book).
46. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. Special Report 209. Transportation Research Board. USA. 1994.
47. Turner D.B. (1970) Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, US Department of Health, Education and Welfare, National Air Pollution Control Administration, Cincinnati, OH, USA.
48. Van Egmond N.D. and Onderdelinden D. (1981) Objective analysis of air pollution monitoring network data; spatial interpolation and network density. Atmospheric Environment 15, 1035 - 1046.
49. Yerg M.C. (1973) A systems approach to optimal experimental design in meteorology. Department of Meteorology Report, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma.