



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

Avaliação de  $MP_{10}$  na Região Metropolitana de Belo Horizonte

Igor Felipe Silva Moura

Belo Horizonte  
Janeiro, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

## Avaliação de $MP_{10}$ na Região Metropolitana de Belo Horizonte

Igor Felipe Silva Moura

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares

Área de Concentração: Ciência das Radiações  
Orientadora: Dra. Maria Ângela de Barros Correia Menezes

Belo Horizonte  
Janeiro, 2016

M929a	<p>Moura, Igor Felipe Silva. Avaliação de MP<sub>10</sub> na Região Metropolitana de Belo Horizonte [manuscrito] / Igor Felipe Silva Moura. – 2016. vi, 144 f., enc.: il.</p> <p>Orientadora: Maria Ângela de Barros Correia Menezes.</p> <p>Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndices: f. 115-144.</p> <p>Bibliografia: f. 108-114.</p> <p>1. Engenharia nuclear - Teses. 2. Análise multivariada - Teses. 3. Análise por ativação nuclear - Teses. 4. Ar - Poluição - Teses. I. Menezes, Maria Ângela de Barros Correia. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p>CDU: 621.039(043)</p>
-------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES



## FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE  $MP_{10}$  NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

### IGOR FELIPE SILVA MOURA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES, área de concentração CIÊNCIAS DAS RADIAÇÕES.

Aprovada em 27 de janeiro de 2016, pela banca constituída pelos membros:

Dra. Maria Ângela de Barros Correia Menezes - Orientadora  
CDTN/CNEN

Prof. Clarysson Alberto Mello da Silva  
Departamento de Engenharia Nuclear - UFMG

Profa. Taciana Toledo de Almeida Albuquerque  
Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária- UFMG

Profa. Maria Adelaide Rabelo Vasconcelos Veado  
FUNCESI

Belo Horizonte, 27 de janeiro de 2016.

## AGRADECIMENTOS

Obrigado Deus, Te dou toda honra e toda glória, Te agradeço por mais essa etapa cumprida em minha vida.

Agradeço a minha família, meus pais, Sebastião Dair Cardos de Moura, Izabete Silva Moura e minha irmã Paula Caroline Silva Moura, aos meus avós Sebastião Silvério e Ana Francisca, Belarmino (*in memorian*) e Alexandra, que sempre me apoiam e me amam.

A todas as minhas tias, tios e familiares. À igreja Batista Monte Moria que, nesse tempo, tem me sustentado em orações.

Agradeço à minha namorada Mariana Cristina Oliveira do Rosário, que soube ser paciente e foi indispensável nessa jornada.

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Nuclear da Universidade Federal de Minas Gerais (DEN/UFMG), por dispenderem tempo e atenção para a minha formação acadêmica.

Agradeço ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) pela disponibilidade de suas instalações, laboratórios e pela disposição dos profissionais envolvidos.

Aos amigos do laboratório do Serviço de Meio Ambiente do CDTN (SEMAM/CDTN) que ao longo do tempo compartilharam conhecimento, e que sempre terão meu reconhecimento, respeito e atenção.

Agradeço a Prof (a). Dr (a). Maria Ângela de Barros Correia Menezes e Alberto Avelar Barreto, que se dispuseram de tempo e de paciência para a busca do conhecimento, além de dedicação generosidade, compreensão e sabedoria para a realização desse trabalho.

Agradeço a Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

A todos citados, agradeço por acreditarem no meu potencial.

## RESUMO

O crescimento urbano tem levado à modificação do meio ambiente e o aumento das fontes de emissões de poluentes e a falta de controle dessas emissões representam risco à saúde. Em áreas urbanas, a fonte de poluição veicular é considerada uma das principais causas de contaminação atmosférica. O material particulado no ar,  $MP_{10}$  é responsável pela preocupação com os problemas respiratórios, porque transpõe as barreiras do sistema respiratório e se deposita nos alvéolos pulmonares, podendo causar danos que só são perceptíveis em longo prazo de exposição.

Belo Horizonte e região metropolitana, RMBH, o fluxo veicular intenso, presença de fontes de poluição industriais e de mineração que influenciam na qualidade do ar da região. Entretanto, há poucos dados sobre o monitoramento da qualidade do ar em termos de material particulado.

Neste estudo foram realizadas amostragens semiautomáticas de  $MP_{10}$ , com amostrador de grande volume, em locais que refletissem a qualidade do ar na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Os locais selecionados para amostragem se basearam na proximidade com vias de fluxo veicular intenso, atividades industriais e elevada concentração demográfica. Um único local foi escolhido por outros critérios como baixa concentração demográfica, afastamento de fluxo veicular intenso e emissões industriais, proximidade de áreas de preservação ambiental.

Em comparação com os locais amostrados, o valor de  $MP_{10}$  em Belo Horizonte apresentou maior valor de concentração de particulados no período amostrado. Isso significa que a cidade está exposta a maior quantidade de  $MP_{10}$  do que os locais situados no entorno, ou seja, em Contagem, Matozinhos e Brumadinho. De acordo com a classificação do CONAMA, a qualidade de ar em Belo Horizonte é considerada regular nos períodos amostrados. Em Brumadinho, a qualidade foi considerada boa.

A composição elementar dos particulados nos filtros de ar foi determinada pela técnica nuclear de ativação neutrônica, método  $k_0$ -padronizado. A avaliação da qualidade do método analítico foi realizada aplicando o teste " $E_n$ -number" recomendado pela ISO 13528:2005. Foi analisada a amostra de referência certificada BCR 176, "City Incineration Ash", preparada com geometria idêntica à amostra. Os resultados mostraram o excelente desempenho do método, que foi aplicado de forma inédita, pois as amostras foram analisadas de forma cilíndrica, o que não é usual em ativação neutrônica.

Quanto à composição química do  $MP_{10}$ , os valores mínimos e máximos de concentração elementar foram determinados. Observou-se que em Belo Horizonte, o CDTN apresentou os maiores percentuais tanto dos maiores valores de concentração elementar, 86,7%, como dos menores valores, 70,0%. Na região metropolitana, o condomínio em Brumadinho apresentou o percentual de 68,9% para os menores valores e a escola em Matozinhos, 66,7% para os maiores resultados.

Para verificar as possíveis fontes de poluentes presentes e suas contribuições na presença de material particulado, foi aplicada a técnica estatística de análise multivariada, utilizando a análise fatorial e o método das componentes principais.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem a influência significativa das fontes emissoras na RMBH. Os valores de  $MP_{10}$  confirmam a atuação das principais fontes emissoras como a veicular e a industrial, com destaque para a influência das atividades minerárias, na qualidade do ar.

**Palavras-chave:**  $MP_{10}$ , análise multivariada, análise por ativação neutrônica, poluição do ar, método  $k_0$ -padronizado

## ABSTRACT

The urban evolution and the industrial development have caused changes in the environment and increased the emission of pollutants in the atmosphere. The lack of control of the emissions represents health risks. In urban areas, the vehicle source is considered the main cause of air pollution. Particulate matter in the air,  $PM_{10}$  is responsible for the concern with respiratory problems when they achieve the respiratory system, and penetrate deeply in the lungs causing damage that is only noticeable on long-term exposure.

Related to Belo Horizonte city and metropolitan region, MRBH, it is evident that the vehicle, industrial and mining emissions influence the air quality. However, there are few data about the monitoring of the air quality concerning the particulate matter.

In this study, several samplings of  $PM_{10}$  were carried out using a semi-automatic high volume sampler at locations that reflect the quality of the air in the metropolitan area.

The sampling places were selected based on the proximity of intense vehicular flow, industrial emissions and high population concentration. A specific place, a condominium, was chosen by other criteria such as low population concentration, far from intense vehicular flow and industrial emissions and close to areas of environmental preservation.

Compared to the sampling places, the  $PM_{10}$  value in Belo Horizonte showed higher concentration in the sample period. This means that the city is exposed to greater amount of  $PM_{10}$ , than the other places, like Contagem, Matozinhos and Brumadinho municipalities. According to the classification of CONAMA the air quality in Belo Horizonte during the sampling period is classified as "regular" air quality. The air quality in the condominium in Brumadinho was considered "good".

The elemental composition of the particles in air filters was determined by the nuclear technique of neutron activation,  $k_0$ -standardized method. The assessment of quality of the analytical method was performed by applying the test " $E_n$ -number" recommended by ISO 13528: 2005. The certified reference sample BCR 176, "City Incineration Ash," was analysed. It was prepared with identical geometry to the sample. The results showed the excellent performance of the method, which was applied in a new methodology, because the samples were analysed in a cylindrical shape, which is not usual in neutron activation.

Concerning the chemical composition of  $PM_{10}$ , the minimum and maximum values of elemental concentration were determined. It was observed that in Belo Horizonte, CDTN showed the highest percentage both in higher values of elemental concentration, 86.7%, and lower values, 70.0%. In the metropolitan area, the condominium in Brumadinho presented the percentage of 68.9% for the lowest values and the in a school in Matozinhos, 66.7% for the highest results.

To check possible sources of pollutants and their contributions in the presence of particulate matter, it was applied the statistical technique of multivariate analysis using factor analysis and the method of the main components.

The results of this study suggest a significant influence of emission sources in the MRBH. Even in the condominium in Brumadinho, area considered with better air quality, it is under the influence of mining activities. The values of  $PM_{10}$  confirm the performance of the main emission sources such as vehicular and industrial, highlighting the influence of mining on the air quality.

**Key-words:**  $PM_{10}$ , multivariate analysis, neutron activation analysis, air pollution,  $k_0$ -standardized method

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	13
LISTA DE SIGLAS .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	17
2. JUSTIFICATIVA .....	20
3. OBJETIVOS .....	21
3.1 Objetivo Principal .....	21
3.2. Objetivos Específicos .....	21
4. REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
4.1. Ar Atmosférico.....	22
4.2. Condições Meteorológicas .....	25
4.3. Efeitos da Poluição Atmosférica.....	26
4.4. Poluentes Atmosféricos .....	27
4.4.1. Tamanho das Partículas .....	30
4.5. Padrões da Qualidade do Ar .....	32
4.6. Análise Elementar de Material Particulado por Ativação Neutrônica .....	35
4.7. Coleta de Material Particulado em Suspensão no Ar.....	39
4.8 Análise Multivariada .....	40
4.9 Belo Horizonte.....	42
4.9.1 História.....	42
4.9.2 Fontes de poluentes atmosféricos .....	51
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
5.1. Locais de Coleta .....	53
5.2. Coleta do Material Particulado no Ar.....	66



5.3. Calibração .....	69
5.4. Amostragem e Cálculos .....	71
5.4.1. Preparo dos filtros.....	71
5.4.2. Amostragem .....	71
5.5. Determinação da Composição do Material Particulado .....	74
5.5.1. Preparo das amostras para análise .....	74
5.5.2. Irradiação, Espectrometria Gama e Cálculos .....	76
5.5.3. Avaliação da Qualidade do Método Analítico .....	76
5.6. Análise Multivariada .....	77
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	79
6.1. Coleta do Material Particulado no Ar.....	79
6.2. Determinação da Composição do Material Particulado .....	83
6.2.1. Avaliação da Qualidade do Método Analítico .....	83
6.3. Composição Elementar.....	84
6.4. Condições Meteorológicas.....	89
6.4.1. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (BH1).....	89
6.5. Análise Multivariada .....	90
6.5.1. Grupo 1 – Belo Horizonte, UFMG, BH1 .....	91
6.5.2. Grupo 2 – Belo Horizonte, CDTN, BH2.....	93
6.5.3. Discussão sobre Grupo 1, UFMG, BH1, e Grupo 2, CDTN, BH2 – Belo Horizonte .....	95
6.5.4. Grupo 3, de BH1 a BH5 – Belo Horizonte.....	98
6.5.5. Grupo 4, BH1 a BH5 e B, C e M – Belo Horizonte e RMBH .....	100
7. CONCLUSÕES .....	105
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	108
APÊNDICE I - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DO AGV - MP <sub>10</sub> .....	115
APÊNDICE II - PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM DO MP <sub>10</sub> .....	116

APÊNDICE III – CONCENTRAÇÃO DE MP <sub>10</sub> NAS AMOSTRAS COLETADAS.....	117
APÊNDICE IV– CONCENTRAÇÕES ELEMENTARES NO MP <sub>10</sub> DAS AMOSTRAS .....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concentração dos gases na atmosfera.....	23
Figura 2: Degradação qualidade do ar. ....	29
Figura 3: Tamanho da partícula. ....	32
Figura 4: Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	45
Figura 5: Evolução Demográfica de Belo Horizonte.....	46
Figura 6: Evolução demográfica de Belo Horizonte .....	47
Figura 7: Densidade demográfica de Belo Horizonte.....	48
Figura 8: Evolução da frota veicular de Belo Horizonte.....	49
Figura 9: Distribuição dos ventos na região do CDTN, Belo Horizonte, no ano de 2014.....	50
Figura 10: Relevo de Belo Horizonte.....	50
Figura 11: Mapa de emissores de poluentes na RMBH.....	51
Figura 12: Locais de amostragem de material particulado no ar em BH e RMBH ....	54
Figura 13: Portaria da UFMG com o amostrador .....	55
Figura 14: Densidade demográfica no entorno da UFMG e do CDTN.....	56
Figura 15: Portaria 2, CDTN/CNEN, BH2.....	57
Figura 16: Fachada da Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado, BH3.	57
Figura 17: Densidade demográfica na região da Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado, BH3.....	58
Figura 18: Fachada do CEFET – MG, BH4.....	59
Figura 19: Densidade demográfica na região do CEFET, BH4.....	59
Figura 20: Portaria Garagem de transporte urbano, BH5.....	60
Figura 21: Densidade demográfica na região da Garagem de transporte urbano, BH5 .....	61
Figura 22: Fachada da Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa, M.....	62
Figura 23: Densidade demográfica na região da Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa, M.....	62
Figura 24: Fachada da Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro, C .....	63
Figura 25: Densidade demográfica na região da E. E. Deputado Cláudio Pinheiro, C .....	64
Figura 26: Portaria Condomínio Retiro do Chalé, B .....	65
Figura 27: Densidade demográfica na região do Condomínio Retiro do Chalé, B ....	65

Figura 28: Cabeça Amostrador de Grande Volume .....	67
Figura 29: Base Amostrador de Grande Volume.....	67
Figura 30: Válvula de resistência variada.....	70
Figura 31: Papel de filtro dobrado e alíquota amostrada para análise .....	75
Figura 32: Frasco de Polietileno, F1, com alíquota da amostra .....	75
Figura 33: Concentração de particulado por volume amostrado ao longo do tempo, por região .....	82
Figura 34: Vista do filtro de ar após coleta de $MP_{10}$ , ainda dentro do amostrador ....	83
Figura 35: Rosa dos Ventos correspondentes às medidas de direção e estabilidade dos ventos na UFMG e CDTN.....	90
Figura 36: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras da UFMG, BH1 .....	92
Figura 37: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras do CDTN, BH2.....	94
Figura 38: Vista geral do Campus da UFMG, CDTN e o entorno.....	97
Figura 39: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras de Belo Horizonte, BH1 a BH5 .....	98
Figura 40: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras de Belo Horizonte e da RMBH, BH1 a BH5 e B, C e M.....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Característica das partículas .....	31
Tabela 2. Padrões nacionais de Qualidade do Ar .....	33
Tabela 3. Índice geral qualidade do ar .....	34
Tabela 4. Episódios críticos da poluição do ar .....	35
Tabela 5: Detalhes dos locais amostrados.....	66
Tabela 6: Número de filtros de ar amostrados nos locais de coleta .....	79
Tabela 7: Resultados obtidos do PM <sub>10</sub> comparados aos valores estabelecidos pelo CONAMA.....	80
Tabela 8: Resultados experimentais e certificados BCR 176 e “E <sub>n</sub> -number” .....	84
Tabela 9: Faixas de concentração determinadas por elemento e por local amostrado– concentrações máximas e mínimas – cidade de Belo Horizonte .....	85
Tabela 10: Faixas de concentração determinadas por elemento e por local amostrado – concentrações máximas e mínimas – na RMBH.....	86
Tabela 11: Percentuais de maiores e menores concentrações elementares determinados por local de amostragem .....	87
Tabela 12: Valores limites de concentração previstos pelo Instituto de Energia e de Meio Ambiente e valores experimentais deste estudo .....	88
Tabela 13: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras da UFMG, BH1 .....	92
Tabela 14: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras da UFMG, BH1.....	93
Tabela 15: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras do CDTN, BH2.....	94
Tabela 16: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras do CDTN, BH2 .....	95
Tabela 17: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras de Belo Horizonte, BH1 a BH5 .....	99
Tabela 18: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras de Belo Horizonte, BH1 a BH5 .....	100
Tabela 19: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras de Belo Horizonte e da RMBH, BH1 a BH5 e B, C e M.....	102

Tabela 20: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras de Belo Horizonte e da RMBH, BH1 a BH5 e B, C e M..... 103

## LISTA DE SIGLAS

AAA - Análise Absorção Atômica  
AAN - Análise por Ativação Neutrônica  
AAS - Espectrometria de Absorção Atômica  
ACP - Análise de Componentes Principais  
AGV - Amostrador de Grande Volume  
CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear  
CEFET - Centro Federal de Educação Tecnológica  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CH<sub>4</sub> - Metano  
CO - Monóxido de carbono  
CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental  
CPV - Calibrador Padrão de Vazão  
CVV - Controlador volumétrico de vazão  
EM - Estação Meteorológica  
FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais  
FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente  
HC - Hidrocarbonetos  
HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos  
ICP-MS - Espectrometria de Massa por Plasma Induzido  
MP - Material Particulado  
MP<sub>10</sub> - Material Particulado de 10 µm  
MP<sub>2,5</sub> - Material Particulado de 2,5 µm  
MPS - Material Particulado em Suspensão  
NO<sub>2</sub> - Dióxido de nitrogênio  
NO<sub>x</sub> - Óxido de nitrogênio  
O<sub>3</sub> - Ozônio  
PBH - Prefeitura de Belo Horizonte  
PLAMBEL - Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte  
PSI - Pollutant Standard Index

PTS - Particulado Total em Suspensão

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SO<sub>2</sub> - Dióxido de enxofre

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

XRF - Fluorescência de raios-X



## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano tem ocasionado um aumento nas emissões de poluentes atmosféricos devido à evolução urbana e ao crescimento industrial. O aumento de substâncias com potencial poluidor na atmosfera pode ocasionar desequilíbrio ecológico no ar, no solo, nos vegetais interferindo na saúde humana e na economia (QUEIROZ *et al*, 2007).

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) está localizada em uma região com enorme potencial minerador, como, por exemplo, o Quadrilátero Ferrífero. Esta característica proporciona o desenvolvimento de inúmeras atividades industriais ligadas à mineração. Alia-se a isto a concentração populacional que também contribui para a instalação de diversas tipologias industriais devido à existência de mão de obra qualificada e à proximidade de um mercado consumidor promissor. Esta concentração populacional também implica em uma grande quantidade de veículos e, conseqüentemente, na existência de constantes congestionamentos.

A diversidade dos poluentes lançados na atmosfera pelas fontes móveis e fixas produz os poluentes primários que são constituídos principalmente por dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP). Os poluentes que são formados na atmosfera a partir das reações químicas são chamados poluentes secundários, ocorrendo hidrólise, oxidação ou reações fotoquímicas (CETESB, 2014). O poluente (MP) é proveniente de inúmeros tipos de fontes, algumas naturais, tais como, poeira de solo, e outras antropogênicas oriundas principalmente de emissões industriais e de veículos automotores, conforme foi descrito acima para a RMBH.

O MP constitui um dos poluentes que causam maior risco ambiental, sendo uma mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar e que juntas formam os aerossóis. Esses aerossóis, que contêm substâncias orgânicas e inorgânicas, variam de tamanho, forma e composição (SALGADO, 2003).

As dimensões do MP influenciam nas propriedades atmosféricas, podendo comprometer a visibilidade, pois os diâmetros das partículas são semelhantes aos comprimentos da radiação visível, onde o efeito é reduzir a visibilidade e a incidência de radiação solar que chega ao solo (ROCHA *et al.*, 2009).

Em relação à saúde, os diâmetros do material particulado também têm importância fundamental, assim, a classificação desse material é em função de seu diâmetro.

O material particulado de moda grossa pode ser proveniente de fontes antropogênicas e de fontes naturais. As naturais são partículas suspensas pelos ventos, incêndios florestais, cinzas vulcânicas, pólenes e sal marinho. As fontes antropogênicas são indústrias, veículos automotores e atividades humanas como mineração, produção de cerâmica, metalurgia, calefação doméstica, processos de manufatura e nas operações agrícolas de preparo do solo (VIEIRA, 2009; CALIJURI e CUNHA, 2013).

As partículas de moda fina podem ser aerossóis secundários que são provenientes de vapores de compostos orgânicos metálicos que se condensados pelos veículos automotores, indústrias e pelas partículas de sulfatos formados na atmosfera. As partículas finas possuem sedimentação muito lenta, podendo permanecer por dias e até semanas na atmosfera, atingir grandes distâncias, e em vias urbanas comprometer a visibilidade (VIEIRA, 2009; ROCHA *et al.*, 2009).

A saúde pública e os problemas ambientais estão diretamente ligados às emissões das fontes fixas (industriais) e móveis (veiculares). A combinação das fontes fixas e móveis é responsável pela composição antrópica da atmosfera. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990) define poluente atmosférico como qualquer tipo de matéria que seja nociva à saúde pública por não estar em conformidade com os níveis estabelecidos pela legislação.

Estudos mostram que o tamanho da partícula está vinculado a propensão a problemas de saúde, pois quanto menor a partícula, maior o dano à saúde. Partículas menores que 2,5  $\mu\text{m}$  representam maior risco à saúde, pois elas ao alcançarem as vias respiratórias, penetram profundamente nos brônquios e podendo atingir a corrente sanguínea. De acordo com a US-EPA (2015), os ataques cardíacos, agravamento da asma, redução da função pulmonar, aumento dos sintomas de problemas pulmonares (irritação das vias respiratórias, tosse, dificuldade na respiração), morte prematura em pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares ocorrem em consequência da presença das partículas inaláveis no organismo.

Os efeitos da exposição da poluição no meio ambiente podem ocasionar desastres ambientais com a sedimentação do material particulado, tornando ácidos os lagos, modificando o equilíbrio dos nutrientes hidrográficos, esgotando os nutrientes do solo e, prejudicando a diversidade dos ecossistemas (US-EPA, 2015). A deposição de partículas colabora para a corrosão de metais, pedras, degradação da pintura de imóveis e de automóveis, trazendo prejuízos sociais para a população.

A legislação brasileira considera a concentração de particulados no ar e a granulometria desses particulados como critérios de qualidade do ar, sem levar em conta a composição química. Em outros países, além da concentração e diâmetro dos particulados, é considerada a composição dos elementos presentes na atmosfera, associando aos registros de saúde (QUEIROZ *et al.*, 2007).

Existem diversas técnicas analíticas que identificam a presença de elementos químicos nos particulados retidos em filtros de ar e determinam a concentração desses elementos, tais como a Fluorescência de Raios X (FRX) (WERNICK, 2004; GERALDO, 2011; OKUDA *et al.*, 2013) a Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) (GERALDO, 2011), Espectrometria de Massa por Plasma Induzido (ICPMS) (QUINÁGLIA, 2012; FRONDIZI, 2008) e a Análise por Ativação Neutrônica (AAN) (AVINO *et al.*, 2006; DUGAN, *et al.*, 2008).

Entre as técnicas mencionadas, a escolha para a análise de filtro de ar dependerá da disponibilidade da técnica, do custo, entre outros fatores. As análises não destrutivas, ou seja, que não exigem a solubilização da amostra apresentam uma vantagem adicional, pois é menor a possibilidade de perda do material e a contaminação por reagentes.

Técnicas estatísticas também são utilizadas na investigação sobre poluição do ar. Entre elas se encontra a análise multivariada que abrange todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas variáveis do objeto sob investigação (MINGOTI, 2005). Entre os métodos estatísticos, a Análise de Componentes Principais (ACP) é indicada quando o objetivo é explorar, interpretar e reduzir dados, gerar hipóteses a partir dos dados coletados e, assim, testar essas hipóteses (SENA *et al.*, 2000).

## 2. JUSTIFICATIVA

O crescimento urbano tem levado à modificação do meio ambiente. O aumento das fontes de emissões de poluentes e a falta de controle dessas emissões representam risco à saúde. Em áreas urbanas, a fonte de poluição veicular é considerada uma das principais causas de contaminação atmosférica (ARCAL, 2015).

A grande preocupação com os problemas respiratórios em termos de poluição ambiental é devido ao tamanho do material particulado, que transpõe as barreiras do sistema respiratório e se deposita nos alvéolos pulmonares, podendo causar danos que só são perceptíveis em longo prazo de exposição (ARAÚJO, 2005).

A capital de Minas Gerais, Belo Horizonte, e seu entorno apresentam o fluxo veicular intenso, presença de fontes de poluição industriais e de mineração, além de elevada densidade demográfica que influenciam na qualidade do ar da região. Entretanto, há poucos dados sobre o monitoramento da qualidade do ar em termos de material particulado, ou  $MP_{10}$ . Algumas dessas fontes são naturais, como poeira de solo, e outras são artificiais, provenientes principalmente de emissões industriais e de veículos automotores. Com alguma frequência há divulgação da preocupação com a qualidade do ar na RMBH, incluindo BH, principalmente em períodos de seca, que ocorre com maior intensidade no inverno.

Uma razão de haver poucos dados para um monitoramento mais eficiente, é que eles usualmente são gerados por estações automatizadas mantidas pela Fundação Estadual de Meio Ambiente do estado de Minas Gerais (FEAM), que existem em um número limitado, devido ao alto custo de implantação, operação e manutenção.

Como a identificação das fontes emissoras é importante, uma vez que dará subsídios de qual fonte emissora precisará ter suas emissões minimizadas, foi desenvolvido este estudo.

A região metropolitana foi escolhida para esse levantamento preliminar, tendo sido realizadas amostragens semiautomáticas de  $MP_{10}$ , em locais de interesse da sociedade local, visando contribuir no processo de investigação da amostragem automática da FEAM.

### 3. OBJETIVOS

Este estudo teve os seguintes objetivos:

#### 3.1 Objetivo Principal

O objetivo principal foi verificar a influência das fontes emissoras de  $MP_{10}$  em diferentes áreas da Região Metropolitana de Belo Horizonte, avaliando a qualidade do ar por meio da caracterização da composição elementar das fontes emissores de  $MP_{10}$ .

#### 3.2. Objetivos Específicos

- Realizar amostragens de  $MP_{10}$  em locais identificados como adequados para o estudo;
- Caracterizar o material particulado ( $MP_{10}$ ) amostrado aplicando a técnica analítica nuclear de ativação neutrônica, pelo método  $k_0$  padronizado, em amostras maiores, com geometria não pontual;
- Identificar as possíveis fontes emissoras de  $MP_{10}$  aplicando técnicas estatísticas multivariadas, baseando-se na determinação da composição elementar do MP;
- Avaliar a qualidade do ar na área estudada ao longo do período de estudo, em termos da caracterização e concentração de  $MP_{10}$  amostrados;

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. Ar Atmosférico

O planeta Terra é envolvido por ar, denominado ar atmosférico, composto pelos gases nitrogênio (78%), oxigênio (21%) e 1% dividido entre dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e gases nobres (ROCHA *et al.*, 2009).

Os gases na atmosfera formam uma mistura incolor, transparente e inodora. No ar atmosférico, também há partículas em pó, vapor de água, cristais de gelo, além de microorganismos. Mais próximo da superfície terrestre, na biosfera encontram-se MP e gases mais pesados. À medida que a altitude aumenta, o ar atmosférico vai se tornando rarefeito, com o decréscimo de oxigênio que é um gás pesado (BAIRD, 1998; MOZETO, 2001).

A atmosfera, assim como a litosfera – conjunto de rochas e solos, a hidrosfera - conjunto das águas do planeta, e a biosfera – elementos que se encontram na atmosfera, hidrosfera e litosfera, compõem o estrato geográfico, havendo interdependência entre esses componentes. Assim, qualquer alteração de um deles, levará a alteração do conjunto atmosférico.

Materiais provenientes dos oceanos e dos continentes estão em constante troca com aqueles presentes na atmosfera, uma vez que a atmosfera está sujeita a processos físicos, químicos e biológicos. Com o crescimento populacional, as atividades antrópicas, responsáveis pela emissão de poluentes, alteram a composição da atmosfera que estava estável pelos últimos dez mil anos (ROSA *et al.*, 2012).

Como a atmosfera se inicia na superfície terrestre e acaba no espaço, a concentração vai ficando mais diluída a cada quilômetro ascendente. As propriedades físicas e químicas vão se transformando ao longo da atmosfera, onde são inversamente proporcionais a temperatura e a altitude (ROSA *et al.*, 2012).

Um corte da atmosfera representado pela Figura 1 demonstra a concentração dos gases ao longo da altitude.

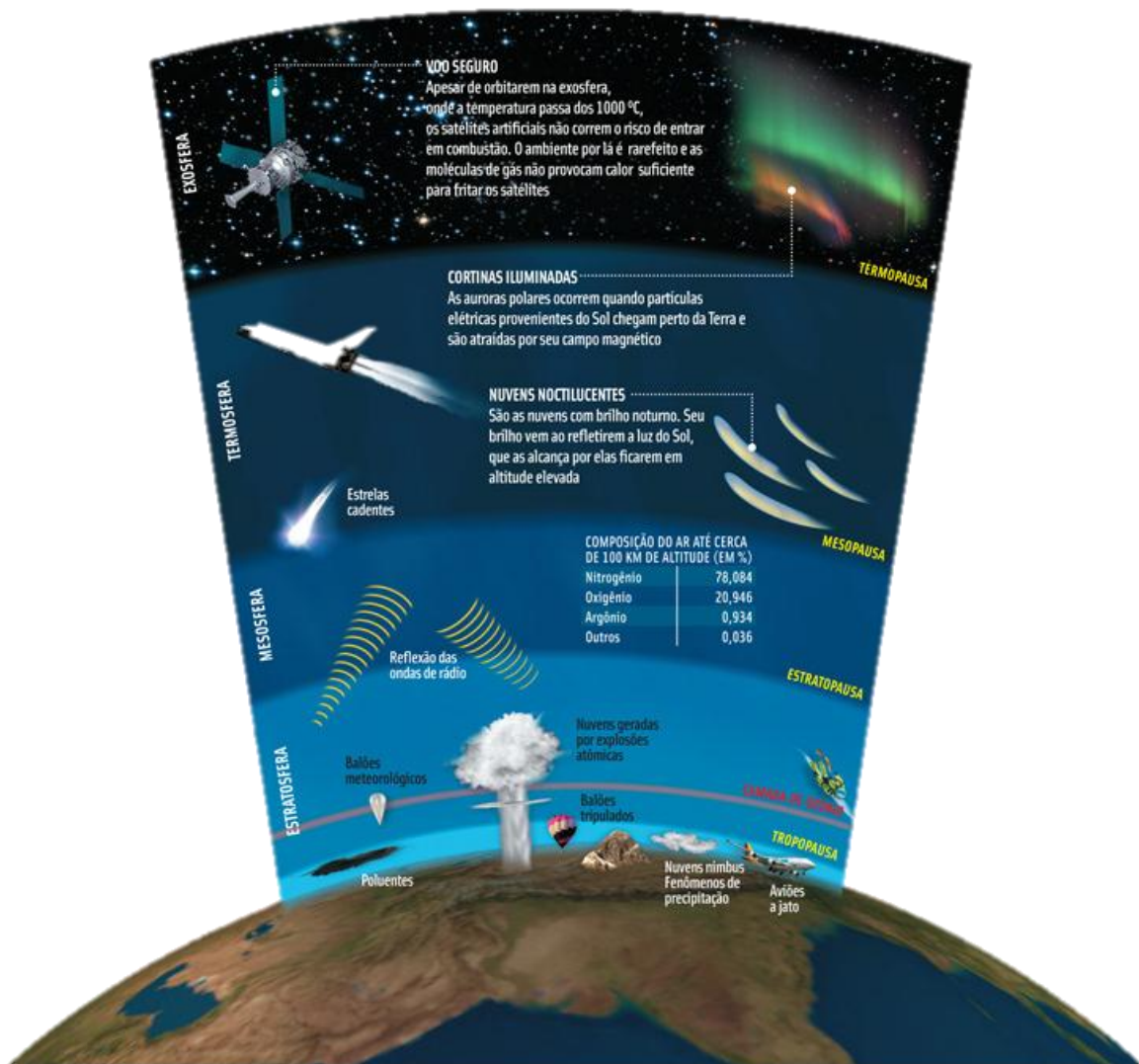


Figura 1: Concentração dos gases na atmosfera  
Fonte: (ROSA *et al*, 2012).

A atmosfera terrestre é composta por diversas camadas, sendo elas a troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera (RUSSOMANO e CASTRO, 2012).

A troposfera é a região mais próxima à superfície terrestre, variando até 10 km entre os polos e a linha do equador, respectivamente, e sofrendo alteração de dimensão no verão e no inverno devido a distribuição solar que causa a expansão dos gases. Nessa camada ocorrem as condições meteorológicas que influenciam na dispersão atmosférica, tendo gradiente térmico vertical de 15 °C a -55 °C (RUSSOMANO e CASTRO, 2012). Concentra 75% dos gases e 80% da umidade atmosférica. É onde as nuvens são formadas e onde ocorrem as perturbações atmosféricas.

Já a estratosfera, localiza-se entre a troposfera e mesosfera, com uma espessura superior a 20 km e contendo pouca concentração de vapor d'água, não havendo a formação de nuvens. A estabilidade da estratosfera é propícia para jatos e aviões, pois não há ocorrência de diferenças de pressão atmosférica e nem tempestades. Na parte superior dessa camada ocorre a difusão solar devido à existência de ozônio, que filtra a maior parte dos raios ultravioletas emitidos pelo sol. A temperatura varia da parte inferior a superior de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente (SANTOS, 2010).

A terceira camada é a mesosfera que se inicia na tropopausa alcançando até 80 km de altitude. Tem uma pressão muito baixa e a temperatura diminui com a altitude, podendo atingir  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  no limite superior, ao contrário do que ocorre na estratosfera. O ar é mais rarefeito. Nessa região, no período de verão, são observadas durante a noite, as nuvens noctilucentes em regiões de altas latitudes (BARRY e CHORLEY, 2012).

A camada mais alta da atmosfera, a termosfera, é composta por um contínuo aumento do gradiente de temperatura devido à radiação solar, variando entre  $227\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nessa camada, as partículas são carregadas ionicamente, sendo também conhecida essa região como ionosfera. O ar é muito rarefeito e carregado de íons, estes têm a propriedade de refletir as ondas de rádio e TV. É nessa camada que os meteoros (estrelas cadentes) se desintegram (RUSSOMANO e CASTRO, 2012).

O limite final da atmosfera, conhecido como exosfera, é a camada mais externa, começando com mais ou menos a 600 km de altitude, estendendo-se até o espaço sideral. Como o ar é inexistente, a temperatura pode atingir valores elevadíssimos (mais de  $1000^{\circ}\text{C}$ ) (BOUÇAS, 2009; VIEIRA, 2009).

Segundo Rocha e colaboradores (2009), os estudos referentes a poluentes atmosféricos ocorrem na região da troposfera, pois nela que há as ocorrências meteorológicas, transformações gasosas e emissão de partículas pelos oceanos e continentes. A atmosfera não é completamente composta por gases, existem porções líquidas dispersas e material sólido.



## 4.2. Condições Meteorológicas

Os parâmetros meteorológicos relacionados à dispersão de poluentes - umidade, direção e velocidade dos ventos, turbulência, inversão térmica, precipitação e estabilidade atmosférica - colaboram para a elaboração do monitoramento da qualidade do ar e futuras avaliações dessa poluição (BARRY e CHORLEY, 2012).

A umidade é o vapor de água que é retido pelo ar através de ciclos evaporantes como a água, o solo, plantas, transpiração e evapotranspiração. É dependente e inversamente proporcional à temperatura, pois ocorrendo o resfriamento do ar, chega-se a saturação, formando-se o orvalho, nuvens ou nevoeiro (PEIXOTO, 2006).

Segundo Vieira (2009), os poluentes são dispersos pela velocidade e direção dos ventos. Dependendo da velocidade deles, da topografia e de outros fatores, pode haver a alteração da concentração dos poluentes próxima à superfície da terra.

As concentrações de fontes antropogênicas e de construções em áreas urbanas influenciam significativamente na dispersão dos poluentes, por causa das barreiras que alteram a direção e a velocidade do vento.

A turbulência ocorre pela alteração da velocidade dos ventos e pela verticalização da temperatura, que é a movimentação do ar frio descendente e a elevação do ar aquecido. Os poluentes são transportados pelos ventos que provocam turbulência mecânica no sentido horizontal, onde características topográficas geram instabilidade direcional e alteração na velocidade do vento.

A precipitação pluviométrica é a descarga de água na forma líquida, que é um determinante quantitativo que entra no ciclo hidrológico. A maior parte da precipitação ocorre na forma de chuva. (CALIJURI e CUNHA, 2013).

A precipitação interfere na qualidade do ar, onde realiza uma limpeza dos poluentes existentes na atmosfera, desempenhando uma função importante no comportamento dos poluentes (ALFASSI, 1990).

A inversão térmica é um fenômeno que geralmente ocorre no inverno, aumentando bruscamente a temperatura em condições de aprisionamento do ar quente sob o ar frio. O aprisionamento do ar frio impede a dispersão dos poluentes

atmosféricos nas grandes cidades tendo, como agravante, o fator topográfico, que dificulta a circulação dos ventos (MIRANDA, 1995).

As condições de estabilidade atmosférica estáveis são desfavoráveis para a dispersão de poluentes, pois deslocam verticalmente o poluente para baixo, contribuindo para um aumento significativo da concentração de poluentes próxima à superfície terrestre (NOGUEIRA e CAPAZ, 2014).

### **4.3. Efeitos da Poluição Atmosférica**

Os efeitos da poluição atmosférica em áreas urbanas trazem danos à saúde, vegetação e o clima, tendo efeitos localmente ou em nível global.

No âmbito global, o poluente atmosférico aumenta e o nível de intensidade da radiação que deteriora a camada de ozônio, conseqüentemente ocorre um aumento de temperatura, afetando a vegetação, a saúde humana, fauna e tendo efeito sobre os materiais expostos a este poluente.

Nas últimas décadas, as expansões urbanas das cidades influenciaram na qualidade ambiental com aumento dos automóveis, áreas construídas, pavimentação asfáltica em que impermeabiliza o solo, poluição do ar, sonora e redução da vegetação urbana (LUZ e RODRIGUES, 2012).

Segundo o UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2015), o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio são componentes da chuva ácida, responsável pela acidificação rios e lagos, destruição de florestas e pelo efeito da poluição atmosférica global.

Os efeitos causados pelo PTS e MP<sub>10</sub> sobre a vegetação são a deterioração da visibilidade e contaminação do solo onde se depositam (SBF, 2010).

O ozônio interfere na fotossíntese das plantas, atrapalhando nas colheitas agrícolas, nas vegetações nativas e ornamentais (SBF, 2010).

Animais de valor comercial próximos a áreas urbanas apresentam maior variabilidade no desenvolvimento e menor viabilidade econômica, comparando com animais produzidos em áreas consideradas limpas (CRAPEZ *et al.*, 2001).

Os efeitos da poluição atmosfera sobre a saúde humana dependem do tempo de exposição e da concentração. A exposição prolongada a uma poluição com baixa

concentração oferece mais riscos à saúde (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2015).

Nogueira (2008) conclui que material particulado e mortalidade tem relação com as condições socioeconômicas, identificando que quanto mais baixo o perfil socioeconômico maior a mortalidade, e tendo a escolaridade e rendimento familiar como parâmetros de medição.

Visivelmente os efeitos da poluição atmosférica nos materiais são a deposição de particulado nos domicílios e monumentos, tendo efeito em alguns materiais a erosão, corrosão, descoloração. O ozônio tem a propriedade de danificar gradativamente a obra de arte (BOUÇAS, 2009; INEA, 2011).

Os impactos causados pela poluição atmosférica incluem os efeitos meteorológicos que afetam a luminosidade do sol, desenvolvimento de neblinas e de nuvens. Outro impacto associado é a produção de gases que causam o efeito estufa que ocasionam posteriormente os efeitos fotoquímicos e o processo de acidificação. O pior transtorno causado é com a população urbana, pois afeta a qualidade de vida e ocasiona danos à saúde (BARRY e CHORLEY, 2012).

As dimensões do material particulado influenciam nas propriedades atmosféricas, podendo comprometer a visibilidade, pois os diâmetros das partículas são semelhantes aos comprimentos da radiação visível, onde o efeito é reduzir a visibilidade e a diminuição da radiação solar que chega ao solo (ROCHA *et al.*, 2009).

#### **4.4. Poluentes Atmosféricos**

A emissão de poluentes atmosféricos provenientes de indústrias e pela evolução urbana, acrescenta na atmosfera substâncias poluidoras que causam desequilíbrio ecológico no ar, no solo, nos vegetais, interferindo na saúde humana e na economia (QUEIROZ *et al.*, 2007).

A ocorrência das emissões na atmosfera depende dos processos que liberam os poluentes. As emissões ocorrem por fenômenos naturais e pelas atividades humanas e industriais. Da combinação desses processos, resulta a deterioração da qualidade do ar (QUEIROZ *et al.*, 2007).

A saúde pública e os problemas ambientais estão diretamente ligados às emissões das fontes fixas e móveis. Essa combinação das emissões é responsável pela composição antrópica da atmosfera, se caracterizando como um poluidor atmosférico, qualquer tipo de matéria que seja nociva à saúde. O não atendimento aos níveis estabelecidos pela legislação é uma das causas prejudiciais ao meio ambiente e à segurança da saúde da população (CONAMA, 1990).

A Cetesb (2015) destaca que a origem de poluentes na atmosfera é dividida em dois grupos: os poluentes primários, que são os poluentes que são diretamente lançados na atmosfera e os poluentes secundários, que são aqueles formados na atmosfera, que reagem quimicamente, formando hidrólise, oxidação ou reações fotoquímicas.

Os estudos sobre poluição atmosférica classificam as emissões provenientes em fontes fixas e fontes móveis. As fontes fixas ocupam áreas limitadas, permitindo que sejam realizadas verificações de qualidade do ar no local. As fontes móveis são dispersas, sendo de difícil avaliação (BRASIL, 2015).

Os produtos existentes gerados nos poluentes atmosféricos muitas vezes não fazem parte da composição do ar, pois podem ser produzidos em grande quantidade pelas atividades industriais, combustão de carvão e derivados de petróleo, veículos automotores (VERRI, 2006).

A degradação da qualidade do ar nas grandes cidades tem como principal responsável os veículos automotores, que liberam, pelo escapamento, gases e produtos de reações químicas como o monóxido de carbono (CO) e os hidrocarbonetos (HC) por processo de combustão (DUTRA, 2007). A Figura 2 ilustra uma situação em que é evidente a degradação da qualidade do ar nas grandes cidades. Observa-se a diminuição da visibilidade pelo aumento da concentração de poluentes, provavelmente, pela presença de um grande número de veículos automotores trafegando lentamente ou mesmo parados, gerando assim uma condição de extrema emissão de poluentes com baixa dispersão.



Figura 2: Degradação qualidade do ar.  
Fonte: WHO (2013).

O material particulado refere-se a qualquer substância, exceto a água pura, que existe na forma sólida ou líquida na atmosfera em condições normais e possuindo tamanho microscópico, mas possuindo dimensões maiores do que as dimensões moleculares (SEINFELD e PANDIS, 2006).

Os principais poluentes são o dióxido de enxofre, ozônio ( $O_3$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) e emissões veiculares.

A principal fonte antropogênica de dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) encontra-se diretamente ligada a queima de combustíveis fósseis em automóveis e indústrias. Praticamente todo o enxofre presente no combustível é oxidado (JÚNIOR e LACAVA, 2003). Este gás tem efeito tóxico e incolor, além de ser gerado por fontes antropogênicas, existem fontes naturais, como os vulcões, que emitem o dióxido de enxofre, mas o principal emissor são as atividades humanas (BRASIL, 2005).

A ocorrência do dióxido de nitrogênio é por meio da reação do óxido de nitrogênio e do oxigênio presente na atmosfera, formando o ozônio troposférico, ocasionando efeitos nas mudanças climáticas globais. Suas fontes são naturais (ações bacterianas, vulcânicas e descargas elétricas) são realizadas em maior

escala do que as emissões antropogênicas, mas a sua distribuição no globo terrestre tem menor impacto do que em grandes concentrações em centros urbanos (BRASIL, 2015)

O monóxido de carbono advém principalmente de processos industriais e de tráfego de veículos automotores, que realizam o processo de combustão de derivados de petróleo (INEA, 2011). Nos automóveis, a emissão desse poluente é realizada através de condições não ideais, que não há oxigênio suficiente para a queima completa do combustível (BRASIL, 2015).

A geração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) é proveniente da carbonização a baixas temperaturas de substâncias orgânicas por combustão. As concentrações são baseadas no teor de benzo(a)pireno, onde os HPA's com mais de três anéis aromáticos, são potencialmente geradores de câncer (INEA, 2011).

O motor automotivo é uma máquina térmica que transforma a energia química em energia mecânica para movimentar o veículo. Na câmara de combustão, o combustível e o ar são comprimidos e inflamados por uma centelha elétrica, onde geram gases que expandem e realizam trabalho, após são liberados através do escapamento (DUTRA, 2007). Quando um motor está em operação, as emissões na forma gasosa (CO, HC, NOx, SOx e MP) são geradas a partir da queima do combustível. O material particulado é liberado através do escapamento do automóvel quando está parado, durante seu movimento e em arranque, também liberando MP através dos pneus em contato com o asfalto (CETESB, 2008).

Para controle das emissões veiculares são utilizados conversores catalíticos junto à injeção eletrônica que reduz as emissões dos poluentes, com exceção do CO<sub>2</sub>. Há benefícios com a redução do consumo, eficiência, dirigibilidade e confiabilidade (DUTRA, 2007).

#### 4.4.1. Tamanho das Partículas

O material particulado é sob ponto de vista ambiental, um dos poluentes mais danosos, tendo efeito no clima, saúde, na fauna e na flora. O seu comportamento na atmosfera está associado ao seu diâmetro, que varia entre 0,001 a 100 µm. As partículas muito pequenas, diâmetro menor do que 0,1 µm, apresentam movimentos

semelhantes às moléculas de gás, conservando suas partículas durante longos períodos de tempo na atmosfera (JÚNIOR e LACAVA, 2003). As características das partículas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Característica das partículas  
Fonte: Júnior e Lacava (2003).

<b>Tamanho (Diâmetro) (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Velocidade de deposição (<math>\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}</math>)</b>	<b>Características do movimento</b>
< 0,1	$4 \times 10^{-5}$ a 0,1	Movimento aleatório, similar ao de moléculas de gás
0,1 – 20	$4 \times 10^{-3}$ a 1	Partículas seguem o movimento do gás no qual se encontram
> 20	30 a 100	Partículas depositam-se facilmente

Quanto menor o tamanho do material particulado, mais eficiente é a transposição de barreiras no sistema respiratório e deposição nos alvéolos pulmonares, causando danos que são perceptíveis a longo prazo de exposição (ARAÚJO, 2005). As partículas advêm de várias fontes, com formas e tamanhos diferentes, sendo constituídas de vários produtos (US-EPA, 2015). A Figura 3, abaixo, mostra uma comparação entre as partículas  $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{PM}_{10}$  e outros materiais, como fio de cabelo e grão de areia.

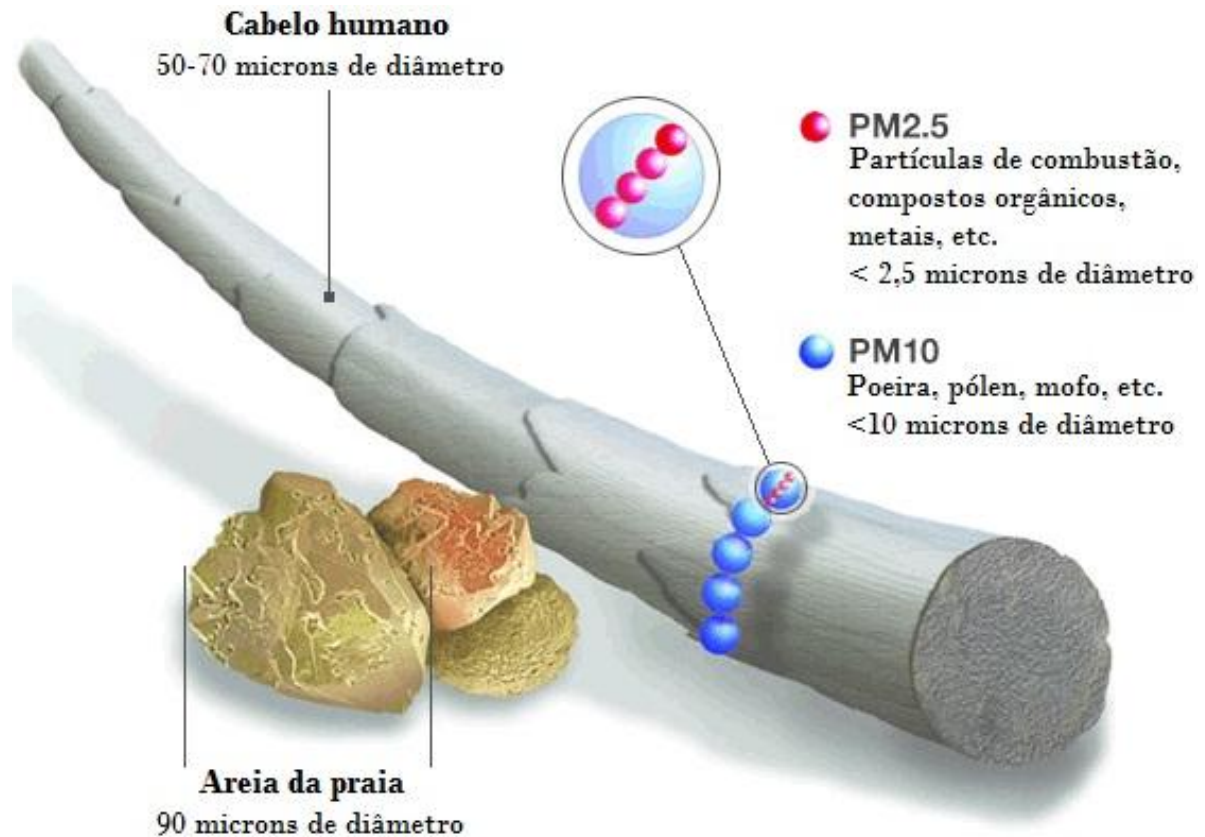


Figura 3: Tamanho da partícula.  
Fonte: US-EPA (2015).

A composição química do material particulado não é bem definida, podendo ser de diversas composições, que incluem a fumaça, fuligem, fibras de amianto, agrotóxicos e alguns metais (ADISSI, PINHEIRO e CARDOSO, 2013).

#### 4.5. Padrões da Qualidade do Ar

Os padrões de qualidade do ar segundo a WHO (2005) variam de acordo com a abordagem adotada em cada país com o objetivo de proteger os cidadãos e a saúde pública. Os padrões levam em conta a viabilidade técnica, condições econômicas e fatores sociais e a competência nacional de gerenciamento da qualidade do ar.

Segundo o CONAMA (1990), os padrões de qualidade do ar são divididos em dois conceitos, em padrões primários e padrões secundários. Tendo como norma, o padrão primário de qualidade do ar, as concentrações dos poluentes não podem extrapolar os parâmetros estabelecidos pela legislação, pois poderão afetar a saúde



pública como um todo. O padrão secundário de qualidade do ar prevê que as concentrações dos poluentes causem o menor efeito sobre a fauna, a flora, os materiais, o meio ambiente e a população.

Como prevê a Resolução CONAMA nº 03/1990, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários (BRASIL, 2015).

Os parâmetros da legislação ambiental segundo o CONAMA (1990) preveem a regularização dos particulados totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990 são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Padrões nacionais de Qualidade do Ar.  
Fonte: CONAMA (1990).

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ )	Padrão secundário ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ )	Método de medição
Partículas totais em suspensão	24 horas <sup>1</sup>	240	150	Amostragem de grandes volumes
	MGA <sup>2</sup>	80	60	
Partículas inaláveis	24 horas <sup>1</sup>	150	150	Separação inercial/filtração
	MGA <sup>3</sup>	50	50	
Fumaça	24 horas <sup>1</sup>	150	100	Refletância
	MGA <sup>3</sup>	60	40	
Dióxido de enxofre	24 horas <sup>1</sup>	365	100	Pararosanilina
	MGA <sup>3</sup>	80	40	
Dióxido de nitrogênio	1 hora	320	190	Quimiluminescência
	MAA <sup>3</sup>	100	100	
Monóxido de carbono	1 hora <sup>1</sup>	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
		35 mg.g <sup>-1</sup>	35 mg.g <sup>-1</sup>	
	8 horas <sup>1</sup>	10.000	10.000	
		9 mg.g <sup>-1</sup>	9 mg.g <sup>-1</sup>	
Ozônio	1 hora <sup>1</sup>	160	160	Quimiluminescência

1, Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano; 2, Média Geométrica Anual; 3, Média Aritmética Anual

O indicador de controle da poluição do ar tem a finalidade de informar à população, os níveis de poluição estabelecidos na legislação, utilizando os índices de qualidade do ar que foram baseados no “*PSI – Pollutant Standard Index*” (INEA, 2014). Este PSI se fundamentou em experiências realizadas no Canadá e nos Estados Unidos (VIEIRA, 2009).

A estação de monitoramento utiliza medida de maior valor para definir a qualidade do ar, e é destacado em cores para melhor apresentação do índice, conforme a Tabela 3 (CETESB, 2014).

Tabela 3. Índice geral qualidade do ar.  
Fonte: CETESB (2014).

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	O <sub>2</sub> ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	CO ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Fumaça ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	PTS ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 45	0 - 100	0 - 80	0 - 60	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365	60 - 150	80 - 240
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800	150 - 250	240 - 375
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600	250 - 420	375 - 625
Péssima	≥ 300	≥ 420	≥ 800	≥ 30	≥ 2260	≥ 1600	≥ 420	≥ 625

A mesma legislação estabelece critérios para eventos críticos de poluição atmosférica, sendo apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Episódios críticos da poluição do ar  
Fonte: CONAMA (1990)

Parâmetros	Tempo (h)	Níveis ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
		Atenção	Alerta	Emergência
SO <sub>2</sub>	24	800	1600	2100
PTS	24	375	625	875
SO <sub>2</sub> x PTS	24	65000	261000	393000
CO (mg.g <sup>-1</sup> )	8	15	30	40
O <sub>3</sub>	1	400	800	1000
MP <sub>10</sub> (Partículas inaláveis)	24	250	420	500
Fumaça	24	250	420	500
NO <sub>2</sub>	1	1130	2260	3000

Conforme a legislação do CONAMA e do COPAM (COPAM, 2001), constituem critérios de padrões de qualidade do ar utilizando concentração e granulometria do material particulado sem levar em consideração sua composição química.

Dependendo das condições de degradação ambiental, a implantação de estratégias efetivas que contribuam para a melhoria da qualidade do ar na região em estudo irá envolver não apenas a execução de programas de monitoramento, mas também o uso de modelos matemáticos que permitam, por exemplo, avaliar as tendências da qualidade do ar e identificar as principais fontes poluidoras (US-EPA, 2004; CETESB, 2012).

#### 4.6. Análise Elementar de Material Particulado por Ativação Neutrônica

Entre as técnicas utilizadas na caracterização elementar de material particulado em filtros de ar, encontra-se a ativação neutrônica (AAN). É uma análise química quantitativa baseada na ativação nuclear dos elementos químicos presentes

no material. Amostras analisadas por essa técnica podem ser ativadas pelo bombardeamento com nêutrons térmicos, epitérmicos e rápidos. A ativação com nêutrons térmicos é a mais largamente usada, dependendo, assim, de instalações com reatores nucleares de pesquisa, onde está disponível fluxo de nêutrons térmicos adequado para ativação dos nuclídeos (DE SOETE *et al.*, 1972; LIESEL, 2008; FRIEDLANDER, *et al.*, 1981; BODE, *et al.*, 2009).

O princípio da técnica consiste em submeter uma amostra a um fluxo de nêutrons com o objetivo de formar núcleos radioativos através de reações nucleares. Esse fenômeno físico se baseia nas propriedades dos nuclídeos e interação da radiação com a matéria, ocorrendo eventos de  $(n,\gamma)$ , onde o nêutron interage como núcleo de forma não-elástica, formando um estado de excitação que emite radiação gama ( $\gamma$ ) característico (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1990; ZAMBONI, 2007; DE SOETE *et al.*, 1972; LIESEL, 2008; FRIEDLANDER, *et al.*, 1981) que é medida posteriormente por espectrometria gama.

A interação de partículas nucleares com os núcleos de isótopos resultando em nuclídeos radioativos, ou radionuclídeos, foi descoberta em 1934, por Joliot Curie e Frederic Curie, ao bombardear alumínio, boro e magnésio com partículas alfa. Em 1936, Hevesy e Levi propuseram utilizar o método de ativação para análise elementar, após usarem nêutrons como projéteis de bombardeamento para ativar disprósio e európio. A partir desse ponto, a análise por ativação progrediu significativamente, pois aproximadamente 70% dos elementos têm nuclídeos com propriedades apropriadas para a análise por ativação neutrônica (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1990; ZAMBONI, 2007; LIESEL, 2008; FRIEDLANDER, *et al.*, 1981; BODE, *et al.*, 2009).

A técnica é versátil permitindo que seja aplicada de forma não destrutiva, quando a amostra não precisa ser solubilizada para ser analisada, condição necessária para outras técnicas como a AAA e ICPMS. Permite que o elemento(s) de interesse seja(m) separado(s) antes da irradiação por precipitação, por extração por solvente, por exemplo, e, então ser (em) submetido (s) à ativação. Permite, também, que após a irradiação, o radionuclídeo seja separado por etapa radioquímica, uma vez que o radionuclídeo conserva as propriedades químicas do elemento estável (DE SOETE, 1972; LIESEL, 2008; FRIEDLANDER *et al.*, 1981).

A AAN é uma técnica multielementar, precisa, exata, analisando elementos na faixa de traços a percentagem, analisando praticamente todo tipo de matriz, de material geológico a biológico, efluentes, água, petróleo, utilizada na análise da composição elementar no material particulado retido em filtros de ar (MENEZES *et al.*, 2004), etc., tornando-se uma ferramenta analítica versátil e sensível em muitos campos da ciência e tecnologia.

Ao se submeter uma amostra à irradiação, a atividade do radionuclídeo filho formado é proporcional ao elemento pai. Assim, a atividade para um determinado radionuclídeo em qualquer tempo  $t$  durante a irradiação, pode ser calculada pela seguinte Equação 1:

$$A_t = \sigma_{at}\phi N (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

onde:

$A_t$  é a atividade em número de desintegrações por unidade de tempo,

$\sigma_{at}$  é a secção de choque de ativação,

$\phi$  é o fluxo de nêutrons em nêutrons  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,

$N$  é o número de átomos do elemento pai,

$\lambda$  é a constante de decaimento ( $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ), onde  $T_{1/2}$  é o tempo de meia vida do radionuclídeo)

$t$  é o tempo de irradiação

Depois de a amostra ter sido ativada, é esperado um tempo para que decaiam os radionuclídeos interferentes de meias vidas mais curtas, após o que é realizada a espectrometria gama. Isso significa medir as intensidades e energias dos raios gama resultantes do decaimento dos radionuclídeos utilizando um detector de estado sólido. Atualmente são utilizados detectores de germânio hiperpuro, que além da elevada eficiência de detecção, tem resolução adequada para análise multielementar.

A ativação neutrônica é usualmente aplicada como técnica relativa, em que padrões do elemento de interesse são analisados em paralelo às amostras, e semiparamétrica, em que padrões não são utilizados e sim monitores de fluxos de nêutrons, parâmetros espectrais do reator e sistema de espectrometria gama

absolutamente calibrado, denominado método  $k_0$ -padronizado [DE CORTE, 1987a, b, 2000; MENEZES *et al*, 2003; MENEZES e JACIMOVIC, 2006a].

Algumas vantagens do método  $k_0$  em relação ao método convencional são: menor custo; determinação de maior número de elementos por amostra; detecção de elementos que não estavam previstos. Como no  $k_0$  não são necessários padrões de cada elemento de interesse, pois utiliza apenas monitor de fluxo de nêutrons (geralmente é ouro), todos os elementos detectados após a irradiação poderão ser analisados e, assim, há um aumento da capacitação analítica.

A Equação 2 abaixo é a equação fundamental do método, onde  $k_0$  é uma constante natural dos isótopos em estudo, podendo ser calculada a partir de seus componentes (DE CORTE, 1987a). O método  $k_0$  combina a simplicidade experimental dos métodos absolutos por ativação neutrônica com a exatidão dos métodos comparativos. É aplicada para se calcular a massa do  $i$ -ésimo elemento presente na amostra.

O cálculo da concentração de um elemento ( $\rho_a$ ) em uma amostra pelo método  $k_0$ -padronizado [2, 3] é descrito por:

$$\rho_a (\mu\text{g} / \text{g}) = \frac{\left( \frac{N_p / t_m}{S D C m} \right)_a}{A_{sp,Au}} \cdot \frac{1}{k_{0,Au}(a)} \cdot \frac{G_{th,Au} \cdot f + G_{e,Au} \cdot Q_{0,Au}(\alpha)}{G_{th,a} \cdot f + G_{e,a} \cdot Q_{0,a}(\alpha)} \cdot \frac{\varepsilon_{p,Au}}{\varepsilon_{p,a}} \cdot 10^6 \quad (2)$$

onde,

$A$  é o analito

$A_u$  é o monitor de fluxo de nêutrons coirradiado com a amostra

$N_p$  é a área líquida sob o pico gama medido

$t_m$  é o tempo de medida gama

$m$  é a massa da amostra (g)

$S$  é o fator de Saturação durante a irradiação  $S = 1 - e^{-\lambda t_{irr}}$ , onde  $\lambda$  é a constante de decaimento e  $t_{irr}$  é o tempo de irradiação

$D$  é o fator de decaimento,  $D = e^{-\lambda t_d}$ , onde  $t_d$  é o tempo de decaimento

$C$  é o fator de correção de decaimento do radionuclídeo durante a contagem,

$$C = \frac{(1 - e^{-\lambda t_m})}{\lambda t_m}$$

$\left( \frac{N_p / t_m}{S D C m} \right)_a$  é a taxa de contagem específica do analito  $a$

$A_{sp,Au}$  é a taxa de contagem específica de  $Au = \left( \frac{N_p / t_m}{S D C w} \right)_{Au}$

$G_{th}$  é o fator de correção para a auto blindagem de nêutrons térmicos

$G_e$  é o fator de correção para a auto blindagem de nêutrons epitérmicos

$f = \frac{\phi_{th}}{\phi_e}$ , é a razão entre os fluxos de nêutrons térmicos e epitérmicos,

$\varepsilon_p$  é a eficiência de detecção para o gama considerado

$\alpha$  é o parâmetro que mede o desvio da distribuição de nêutrons epitérmicos, da distribuição  $1/E$ , aproximadamente dependente de  $1/E^{1+\alpha}$

$$Q_0(\alpha) = (Q_0 - 0,429) \cdot \bar{E}_r^{-\alpha} + \frac{0,429}{(0,55)^\alpha \cdot (2\alpha + 1)},$$

$Q_0 = I_0/\sigma_0$ , sendo  $I_0$  a integral de ressonância e  $\sigma_0$  é a secção de choque a  $2200 \text{ m s}^{-1}$  ( $n, \gamma$ )

$\bar{E}_r$  é a integral de ressonância efetiva

O fator  $k_0$  do analito  $a$  versus monitor de  $Au$ ,  $k_{0,Au}(a)$ , é definido como:

$$k_{0,Au}(a) = \frac{M_{Au} \cdot \theta_a \cdot \sigma_{0,a} \cdot \gamma_a}{M_a \cdot \theta_{Au} \cdot \sigma_{0,Au} \cdot \gamma_{Au}}$$

onde,

$M$  é a massa molar,

$\theta$  é a abundância isotópica,

$\sigma_0$  é a secção de choque a nêutrons térmicos,

$\gamma$  é a intensidade gama absoluta.

#### 4.7. Coleta de Material Particulado em Suspensão no Ar

Os métodos mais usados para a amostragem de particulados no ar são aqueles que utilizam instrumentos como os amostradores de grandes volumes (AGV) (*High Volume Sampler*), médios (*Medium Volume Sampler*) e de baixos

volumes (*Low Volume Sampler*). A amostragem é por unidade de tempo e não realizam a amostragem seletiva de tamanho de partícula. Eles são configurados para capturar o material particulado em suspensão, MPS.

O equipamento mais utilizado para a coleta do material particulado é o amostrador de grande volume (AGV) que aspira o ar ambiente com uma taxa constante, com volume de cerca de 97000 m<sup>3</sup> de ar, é de baixo custo, apresenta durabilidade e manuseio técnico simples.

A legislação nacional vigente da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) cita o método para determinação da concentração de particulado inalável em suspensão na atmosfera, com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm (MP<sub>10</sub>), em que possui um período de amostragem determinado, utilizando um AGV acoplado a um separador inercial de partículas (ABNT 13412, 2005).

Para a determinação da concentração do material particulado é dada pela unidade de µg.m<sup>-3</sup> (ENERGÉTICA, 2015).

A calibração do equipamento é necessária para correlacionar as medidas de vazão a um padrão primário, onde se verifica a exatidão do dispositivo indicador de vazão do amostrador.

#### **4.8 Análise Multivariada**

Métodos estatísticos multivariados historicamente estão relacionados com trabalhos realizados na psicologia, ciências sociais e biologia, mas atualmente tem sido amplamente utilizado nas áreas de educação, geologia, química, física, engenharia. Esta aplicação estatística é devido ao grande avanço computacional e de *software* disponível que auxiliam na análise (MINGOTI, 2005).

A análise multivariada refere-se às técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas de diferentes variáveis ou dados do objeto em estudo, em uma investigação. O objetivo da análise multivariada é medir, explicar e prever relações entre variáveis estatísticas (HAIR *et. al.*, 2009).

Segundo Mingoti (2005), entre os diversos métodos estatísticos, o mais comum é a Análise de Componentes Principais (ACP) (*Principal Component Analysis*), técnica adequada quando se deseja explicar a estrutura de variância, ou



da variabilidade dos dados, por meio de combinações lineares das variáveis originais.

Do mesmo modo que a análise de componentes principais, a análise fatorial descreve a variabilidade dos dados originais ou vetor original, em número menor de variáveis. Essas variáveis são chamadas de fatores comuns e são relacionadas com o vetor original através do modelo linear (MINGOTI, 2005). Os fatores frequentemente são influenciados pelas variáveis de maior variância ou variabilidade, em que a diferença de unidades de medida causa discrepância. Portanto, para amenizar esta situação, utiliza-se nas variáveis envolvidas, a matriz de correlação (JOHNSON e WICHERN, 1999).

O modelo de análise fatorial via matriz de correlação analisa simultaneamente as associações entre as diversas variáveis entre si. Ele calcula os componentes principais quando as variáveis estão escalas diferentes ou quando as variâncias diferem largamente entre variáveis. Nesse caso é necessário que se faça uma normalização (MINGOTI, 2005).

O modelo de análise fatorial a partir da matriz de correlação  $P_{p \times p}$  relaciona linearmente as variáveis padronizadas com os  $m$  fatores comuns (MINGOTI, 2005). Por exemplo, em um estudo de coleta de material particulado no ar, as variáveis serão os elementos químicos determinados nos filtros e os  $m$  fatores comuns, a identificação dos filtros por um número.

A estimação do número de fatores será definida a partir dos seguintes critérios (MINGOTI, 2005):

- Critério 1: a análise da proporção da variância total relacionada com cada autovalor tendo permanência aqueles autovalores que representam maiores proporções da variância total e, portanto, o valor de  $m$  será igual ao número de autovalores retidos;
- Critério 2: O valor de  $m$  será igual ao número de autovalores maiores ou iguais a 1.
- Critério 3: observando o gráfico *scree-plot*, observa-se o ponto onde houver um decréscimo significativo de importância em relação à variação total. O valor será igual ao número de autovalores anteriores, sendo equivalente ao critério 1.

Diversas vezes, é necessário fazer uma rotação de fatores que tem, como objetivo, a aquisição de uma estrutura fatorial na qual uma variável original está

ligada a um único fator, e descartando valores intermediários em que dificultam os resultados (TAVARES, 2013).

Existem métodos de rotações ortogonais (ORTOMAX, QUARTIMAX e VARIMAX) e oblíquas. A rotação VARIMAX é amplamente difundida na literatura e estando disponível nos programas estatísticos (MINGOTI, 2005). Essa rotação é uma das mais utilizadas na prática, pois produz mais soluções simples do que outros métodos.

A rotação VARIMAX tenta encontrar fatores com grandes variabilidades, isto é, para localizar um fator fixo grandemente correlacionado com fator de outro grupo de variáveis que possuam baixas correlações. A solução para cada fator fixo é obtida por meio da maximização da variável dos quadrados das cargas fatoriais originais das matrizes (MINGOTI, 2005).

Segundo Kac, Sichieri e Gigante (2007), a realização das etapas de análise multivariada constitui em preparar a matriz de correlação, determinar os autovalores ou a variância correspondente em percentagem por meio dos componentes principais, determinar o número de fatores e fazer a rotação dos fatores, caso necessário, para melhor interpretação dos dados. As etapas são executadas com auxílio de programas estatísticos específicos.

## **4.9 Belo Horizonte**

### **4.9.1 História**

De acordo com o Governo do Estado de Minas Gerais (GMG), a região conhecida hoje como Belo Horizonte, foi povoado pelo bandeirante João Leite Ortiz, em que recebeu o nome em 1701 de Arraial de Curral Del-Rey. O planejamento para ser a capital dos mineiros foi posterior à proclamação da república e a abolição da escravidão, pois nesta época, Vila Rica, conhecida atualmente como Ouro Preto, era sede do governo estado e não estava mais suportando o crescimento populacional (GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2015).

A concepção da capital do estado era que fosse uma cidade ordenada, o que previam os idealizadores, para isso era necessário projetar uma cidade socialmente

higiênica e saneada, livre de desordens e revoluções. Mas o projeto de uma cidade planejada mostrava algumas preocupações básicas como higiene e circulação humana, além de haver uma divisão em três zonas, a área central, a área suburbana e a área rural (GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2015).

A inspiração arquitetônica, segundo o Portal da Prefeitura de Belo Horizonte, (PBH, 2015) veio de cidades modernas do mundo, como Paris e Washington, onde na parte central as ruas possuíam traçados geométricos regulares, com avenidas largas e se localizariam os prédios públicos e comerciais, estrutura urbana de educação, transporte, saúde e saneamento. Entretanto, a região suburbana deveria ter uma ocupação e uma infraestrutura urbana posterior, com ruas assimétricas. A composição da zona rural seria composta por cinco colônias que teriam como função o abastecimento da cidade, além de funcionar como um cinturão verde (PBH, 2015).

Com a elaboração do projeto, foram necessárias a destruição do arraial e a demolição das casas. Com isso, os moradores foram transferidos e indenizados com novos imóveis com alto valor, mas não o suficiente para que fossem adquiridos imóveis na área central. Desta forma, foram impelidos para fora da cidade, indo se refugiar em periferias (PBH, 2015).

O projeto da capital mineira foi traçado como um lugar elitista, onde os espaços estavam reservados apenas para funcionários do governo e aos que tinham posses. Assim, acreditava-se que os problemas sociais seriam evitados, mas isso não foi o que ocorreu. A capital foi inaugurada às pressas e os trabalhadores, além de formarem favelas na periferia da cidade, não foram considerados cidadãos de Belo Horizonte nos primeiros anos da implantação da cidade (PBH, 2015).

Em 1973 foi instituída a Lei Complementar nº 14 que criou regiões metropolitanas de São Paulo, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. Inicialmente a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) era composta por 14 municípios, sendo Belo Horizonte, Betim, Caeté, Contagem, Ibirité, Lagoa Santa, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia e Vespasiano (RMBH, 2015).

Na década de 70 foi instituída a Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PLAMBEL), hoje denominada Planejamento Metropolitano em Belo Horizonte que foi responsável pela elaboração

de diagnósticos de projetos de nível técnico, que caracterizava pelo excesso centralismo e autoritarismo (RMBH, 2015).

Em 1995, o PLAMBEL foi extinto e, após nove anos, o governo do estado implantou um arranjo institucional metropolitano referente às Leis Complementares 88, 89, 90. Esse arranjo era composto pela assembleia metropolitana e pelo Conselho Deliberativo de Desenvolvimento Metropolitano, onde a mesma lei determinou a criação de um Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado e do Fundo de Desenvolvimento Metropolitano (PBH, 2015).

A Figura 4 mostra a região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), que está localizada no centro-oeste do estado de Minas gerais e atualmente é composta por 34 cidades. Belo Horizonte, a principal cidade, sede da RMBH e capital mineira, possui uma área territorial total de 331.401 km<sup>2</sup> e uma população, no ano de 2010, de 2.375.151 habitantes. O crescimento estimado no ano de 2014 foi de 2.491.109 habitantes (IBGE, 2010).

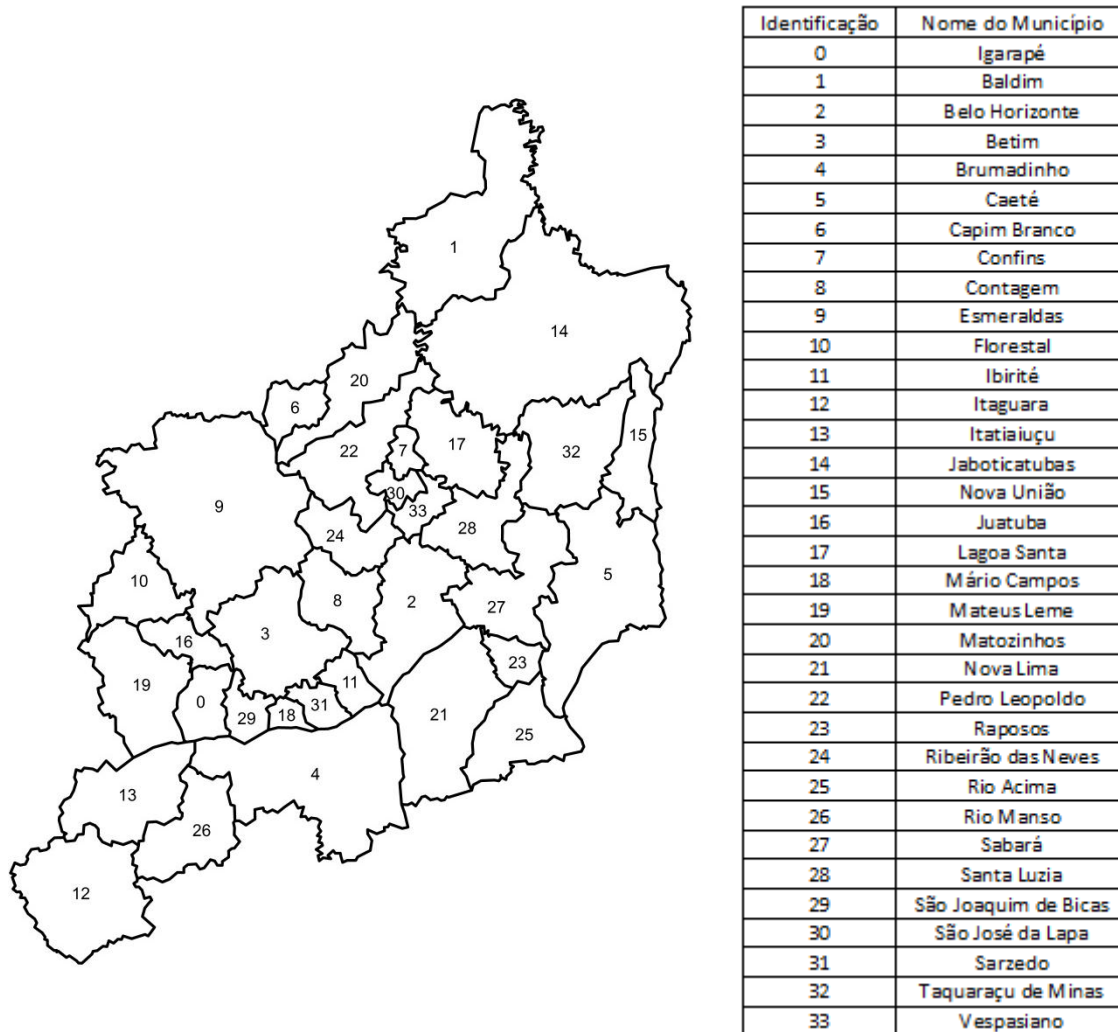


Figura 4: Região Metropolitana de Belo Horizonte  
Fonte: Autor (2015).

A taxa de crescimento populacional de Belo Horizonte se manteve elevada durante muito tempo, considerando que houve uma redução da mortalidade e intensa imigração. Isso garantiu que a cidade crescesse consideravelmente ao longo do tempo, como demonstrado na Figura 5.

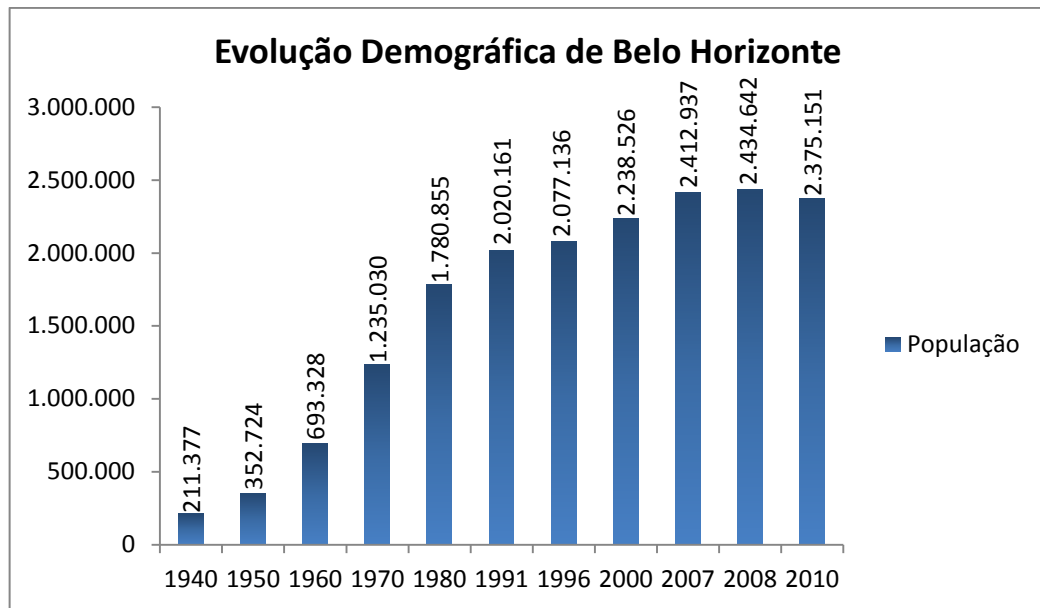


Figura 5: Evolução Demográfica de Belo Horizonte  
Fonte: Souza (2008) (Adaptado); IBGE (2010).

A demografia de Belo Horizonte apresentada na Figura 6 demonstra a ocupação entre os anos de 1918 a 2007. Na Figura 7 se verifica que a maior concentração está localizada na região Noroeste e Venda Nova (PBH, 2015).

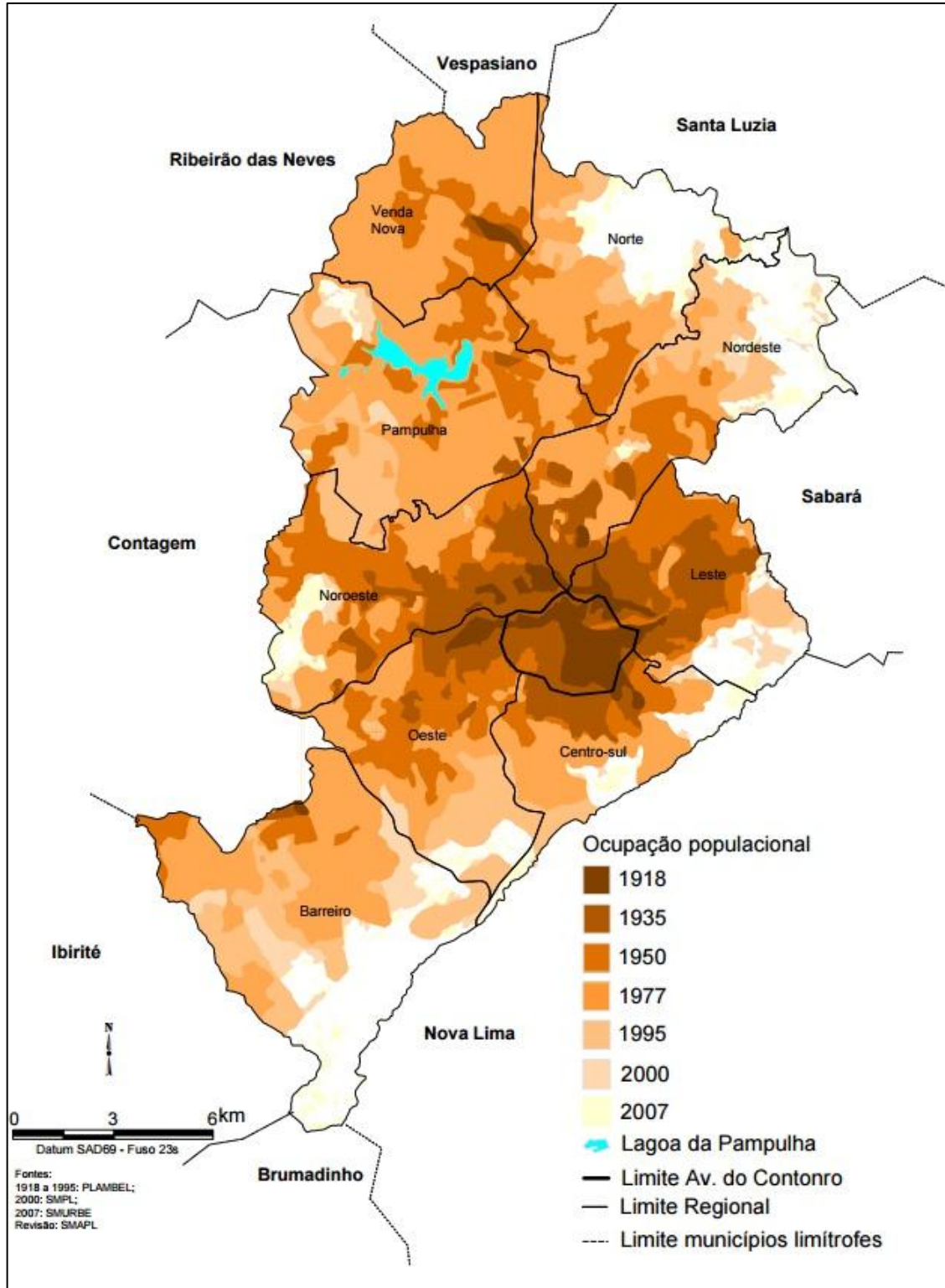


Figura 6: Evolução demográfica de Belo Horizonte  
 Fonte: PBH (2015).

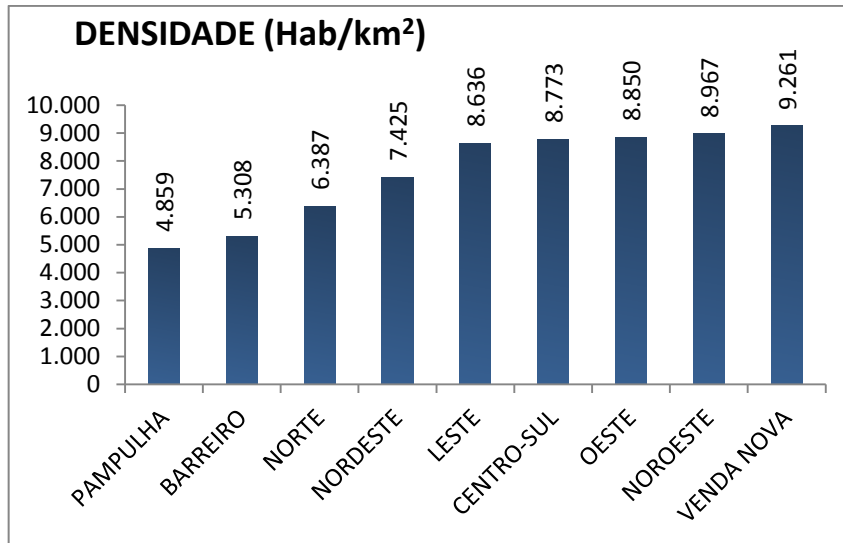


Figura 7: Densidade demográfica de Belo Horizonte  
Fonte: IBGE (2010).

Segundo o IBGE (2015), Belo Horizonte está entre as cinco capitais que participam de 25% do Produto Interno Bruto (PIB), que é a soma de todos os bens e serviços produzidos no país entre os anos de 2003-2007.

A RMBH se localiza em uma região com enorme potencial minerador que inclui o Quadrilátero Ferrífero. Esta característica proporciona o desenvolvimento de inúmeras atividades industriais. Incorporam-se ainda a concentração populacional que também contribui para a instalação de diversas tipologias industriais devido à existência de mão de obra qualificada e à proximidade de um mercado consumidor. Esta concentração populacional também implica em uma grande quantidade de veículos e, conseqüentemente, na existência de constantes congestionamentos. Segundo o IBGE (2015), Belo Horizonte se encontra com uma crescente frota veicular ao longo dos anos, como mostrado na Figura 8.



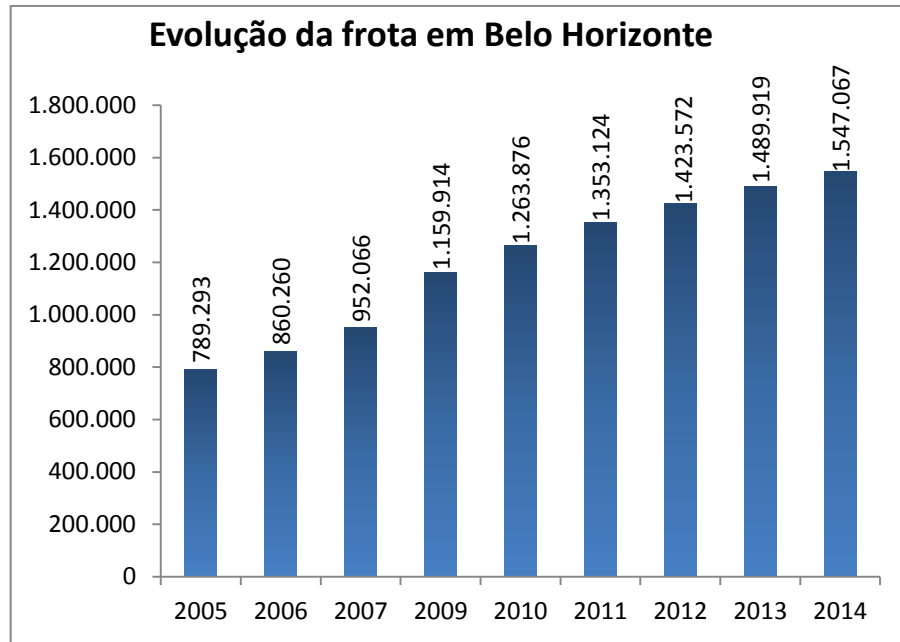


Figura 8: Evolução da frota veicular de Belo Horizonte  
Fonte: IBGE (2015).

Conforme PBH (2015), Belo Horizonte está localizada a 900 metros acima do nível do mar, onde a temperatura varia entre 16 °C a 31 °C, sendo a média de 21 °C, possuindo clima tropical de altitude, registrando temperaturas altas com chuvas no verão e, enquanto no inverno caracteriza-se com pouca chuva e baixas temperaturas.

No ano de 2014, a direção dos ventos, medida pela Estação Meteorológica do CDTN, predominou na direção sudeste e sua velocidade ficou entre 0,5 a 5,7 m/s como apresentado na Figura 9.

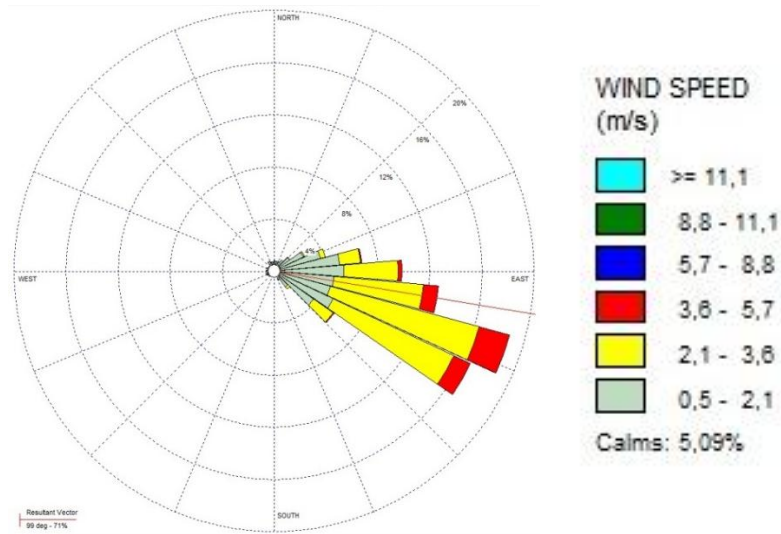


Figura 9: Distribuição dos ventos na região do CDTN, Belo Horizonte, no ano de 2014.  
 Fonte: Autor (2015).

O domínio do complexo relevo de Belo Horizonte é tipificado por espigões, colinas de topo plano a arqueado e encostas policonvexas de declividades variadas, como apresentado na Figura 10 (PBH, 2015).

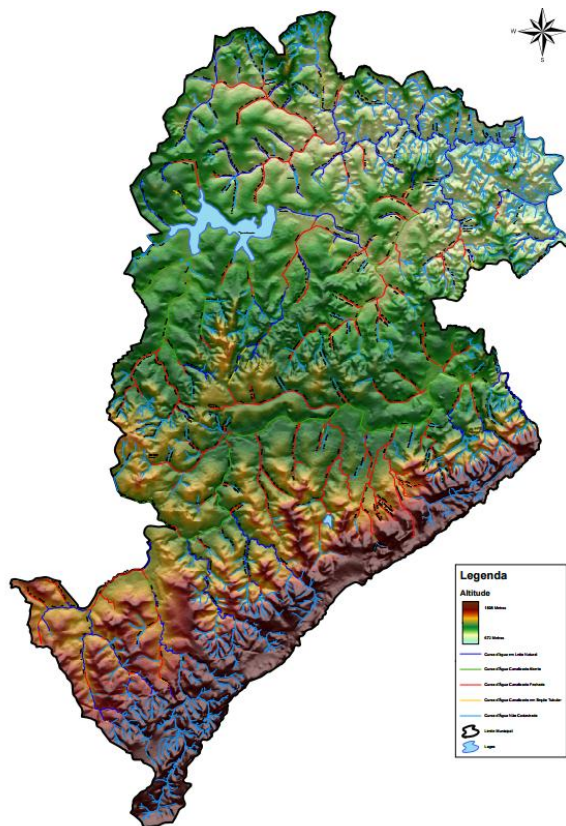


Figura 10: Relevo de Belo Horizonte.  
 Fonte: PBH (2015).

#### 4.9.2 Fontes de poluentes atmosféricos

Segundo a FEAM (2003), o inventário realizado das fontes emissoras constitui na identificação física e de localização, coleta de processos de licenciamento para extração de informações referentes a emissões de poluentes atmosféricos que são identificadas.

A qualidade do ar na RMBH é determinada por vários fatores, estando entre os mais importantes, as fontes estacionárias e móveis, contendo tipologias diferentes de poluentes emitidos por indústrias, comércios, automóveis, entre outros.

Na Figura 11 são apresentadas algumas das fontes pontuais e difusas (tipo área e tipo volume) de Belo Horizonte, Contagem e Betim.

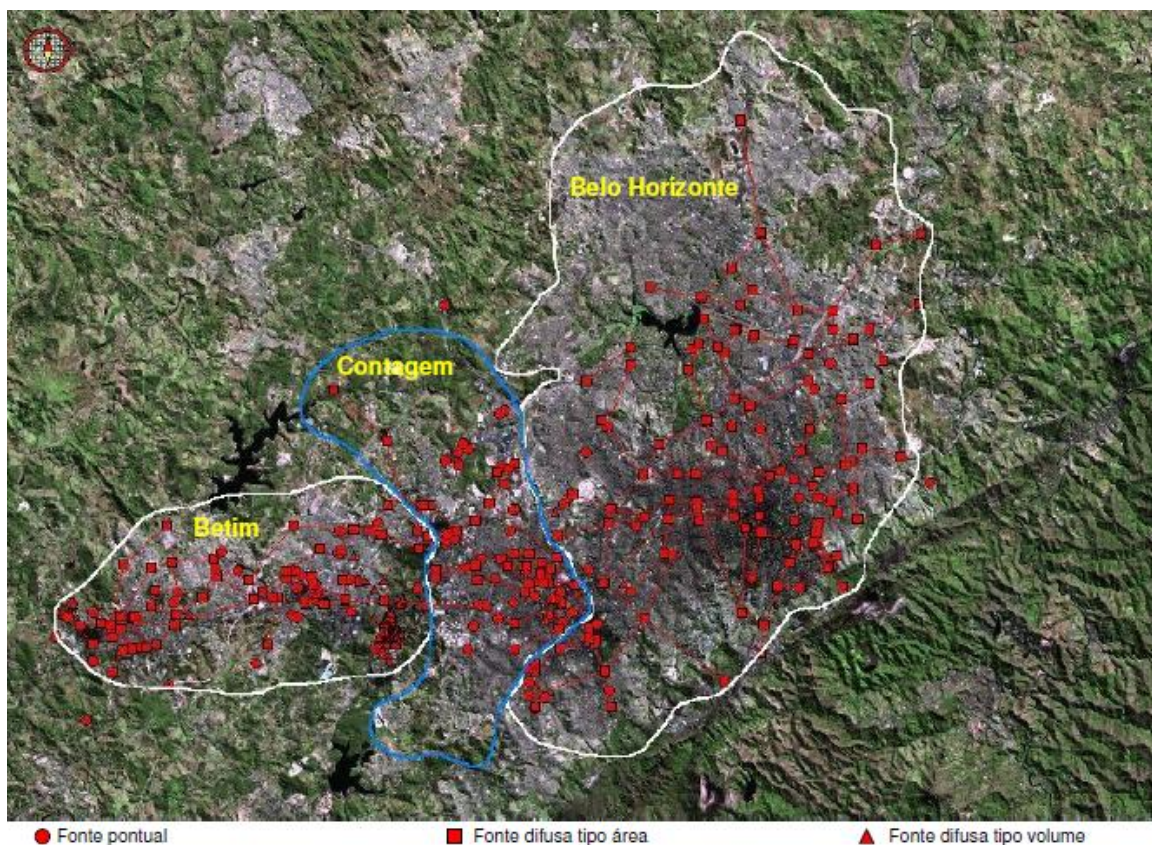


Figura 11: Mapa de emissores de poluentes na RMBH.  
Fonte: FEAM (2003).

Os principais setores industriais presentes na RMBH são a metalurgia, siderurgia, refino e distribuição de petróleo, produção de autopeças e automóveis,

tendo como o principal poluente emitido pelos automóveis, o CO, e para fontes estacionárias, o NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e o material particulado (FEAM, 2003).

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1. Locais de Coleta**

Para a realização deste estudo, foram selecionados alguns locais na RMBH incluindo Belo Horizonte, para amostragem dos materiais particulados no ar. A estratégia de selecionar os locais onde seriam amostrados seguiu critérios, tais como, a proximidade das fontes de poluição e da densidade demográfica no entorno do local, segurança física do equipamento de amostragem. Quanto aos estabelecimentos onde foi instalado o amostrador de ar, foi necessária não só a autorização para a instalação do equipamento em si, como posterior divulgação dos resultados sobre a qualidade do ar, interesse da comunidade local, tipo de ocupação do terreno.

Para este estudo, foram escolhidos pontos de amostragem próximos a fluxo veicular intenso, indústrias de diversos ramos de atividade e densidade demográfica. A Figura 12 mostra o mapa de Belo Horizonte e RMBH com a localização geográfica da UFMG, do CDTN, da Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado, do CEFET – MG, da Escola Meninada Alternativa, da Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro, da garagem de transporte urbano e Condomínio Retiro do Chalé.



Figura 12: Locais de amostragem de material particulado no ar em BH e RMBH  
Fonte: Autor (2015).

Os dados demográficos do Censo 2010 foram utilizados para averiguação da demografia das áreas estudadas e comprovação da concentração populacional residente, no entorno dos locais correspondentes às estações de monitoramento deste estudo. Para a construção das figuras representativas da distribuição demográfica, foram aplicadas ferramentas de geoprocessamento, programa ArcGis, versão 10.2 (ESRI, 2015). Os cálculos correspondem à densidade demográfica a um raio de 3 km do local de amostragem, identificando os grupos de adultos, crianças e



idosos, baseando-se nos dados do Censo 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

Neste estudo, os locais de amostragem são identificados pelas letras “BHx”, onde “BH” significa que o local é em Belo Horizonte e “x”, um número sequencial. Quando a identificação for pela primeira letra do local, significa que a estação de monitoramento foi instalada na RMBH.

Os locais amostrados têm as seguintes características:

- Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), BH1

O Campus da UFMG localiza-se na Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, na cidade de Belo Horizonte, próximo a um aeroporto e a uma via de grande fluxo veicular e de pessoas. É importante realçar que avenida é um corredor muito importante de ônibus, sendo inclusive alvo de mudanças no tráfego devido ao projeto dos ônibus (BHbus).

As amostragens foram realizadas mensalmente, por períodos de 24 horas. A Figura 13 mostra a Portaria Principal da UFMG com o amostrador. A Figura 14 apresenta a densidade demográfica no entorno representando no mesmo mapa as faixas etárias da população.



Figura 13: Portaria da UFMG com o amostrador  
Fonte: Autor (2015).

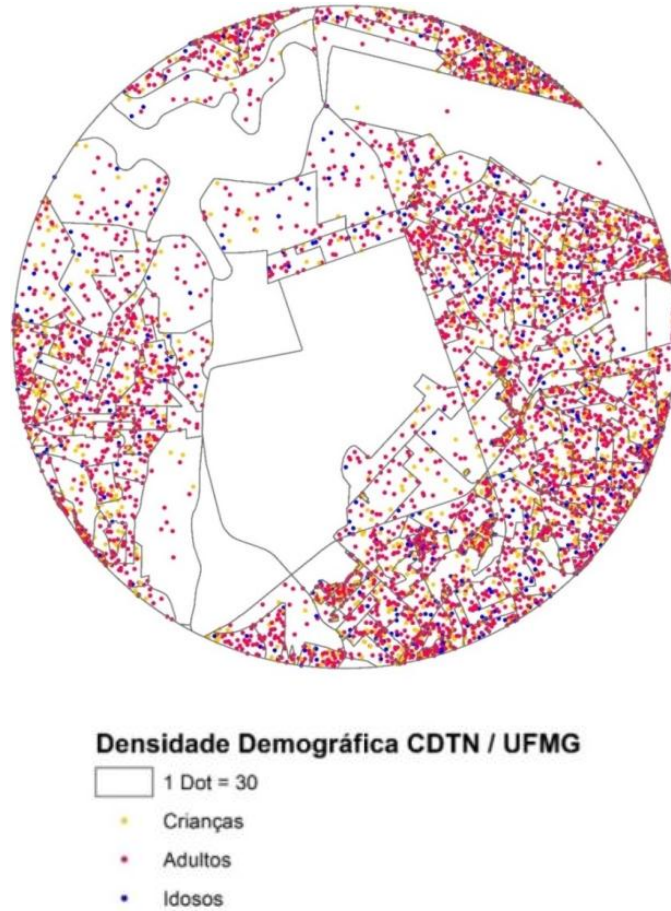


Figura 14: Densidade demográfica no entorno da UFMG e do CDTN  
Fonte: Autor (2015).

- Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), BH2

Dentro do Campus da UFMG, o instituto está localizado próximo à Estação Ecológica da UFMG. Tem tráfego veicular intenso nas ruas que se localizam no perímetro do instituto. A Figura 15 mostra uma vista da Portaria 2 do CDTN, realçando o local de amostragem (BH2).





Figura 15: Portaria 2, CDTN/CNEN, BH2

- Escola Municipal Prof. Edgar da Mata Machado, BH3

Esta escola está situada na Rua Penalva, 201, Bairro Dom Silvério, em Belo Horizonte. Entretanto, está próxima à BR-262, rodovia que conduz à cidade de Betim e ao estado do Espírito Santo, caracterizada por fluxo veicular intenso diário. A Figura 16 mostra a fachada da escola. O AGV foi instalado no pátio do estabelecimento.



Figura 16: Fachada da Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado, BH3.

A Figura 17 apresenta a densidade demográfica no entorno da Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado.

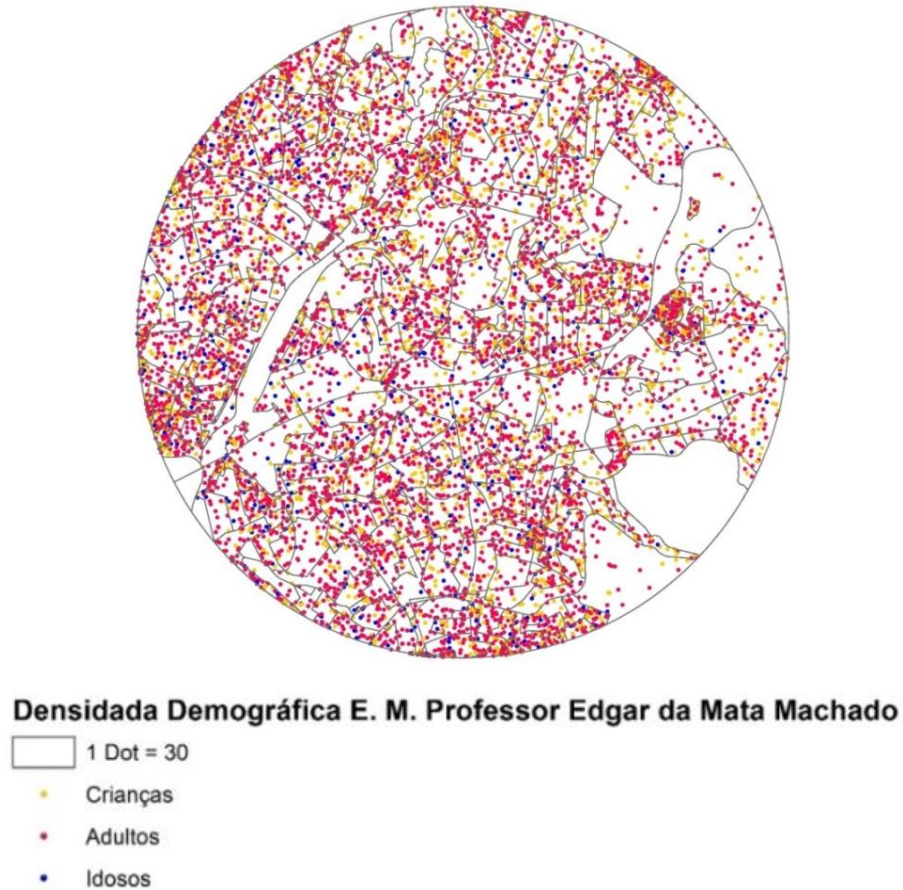


Figura 17: Densidade demográfica na região da Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado, BH3.  
Fonte: Autor (2015).

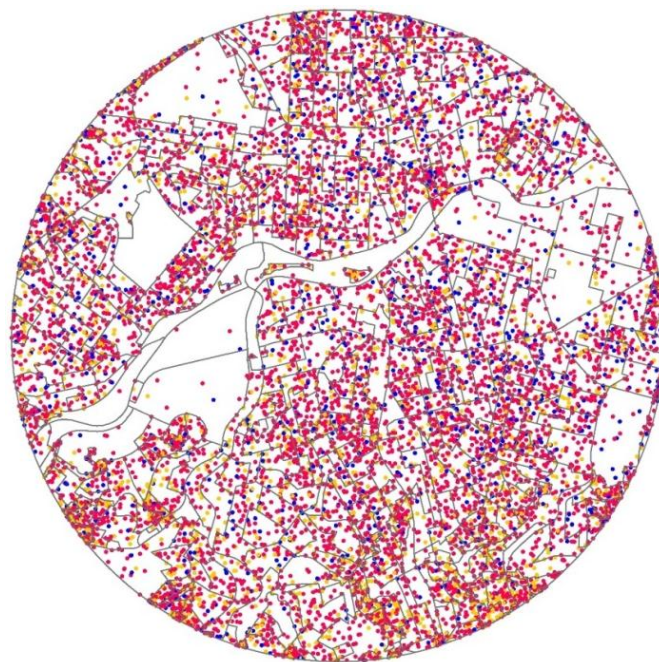
- Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET - MG), BH4

O CEFET está localizado na Av. Amazonas, 7675, bairro Nova Gameleira, Belo Horizonte. A Av. Amazonas é uma via com tráfego intenso de veículos. A FEAM monitora uma estação de coleta de  $MP_{10}$  próxima ao CEFET (FEAM, 2013). A Figura 18 mostra a fachada do CEFET – MG e a Figura 19 apresenta a densidade demográfica no entorno do estabelecimento.





Figura 18: Fachada do CEFET – MG, BH4.



**Densidade Demográfica CEFET - MG**

- 1 Dot = 30
- Crianças
- Adultos
- Idosos

Figura 19: Densidade demográfica na região do CEFET, BH4  
Fonte: Autor (2015).

- Garagem de transporte urbano, BH5

Esta empresa se localiza no bairro Estoril, Belo Horizonte. É uma propriedade particular para estacionamento de ônibus urbanos e está próxima à Avenida Barão Homem de Melo, uma das vias importantes da cidade, com intenso fluxo de veículos. A Figura 20 mostra a fachada da empresa e a 21, a densidade demográfica no entorno.

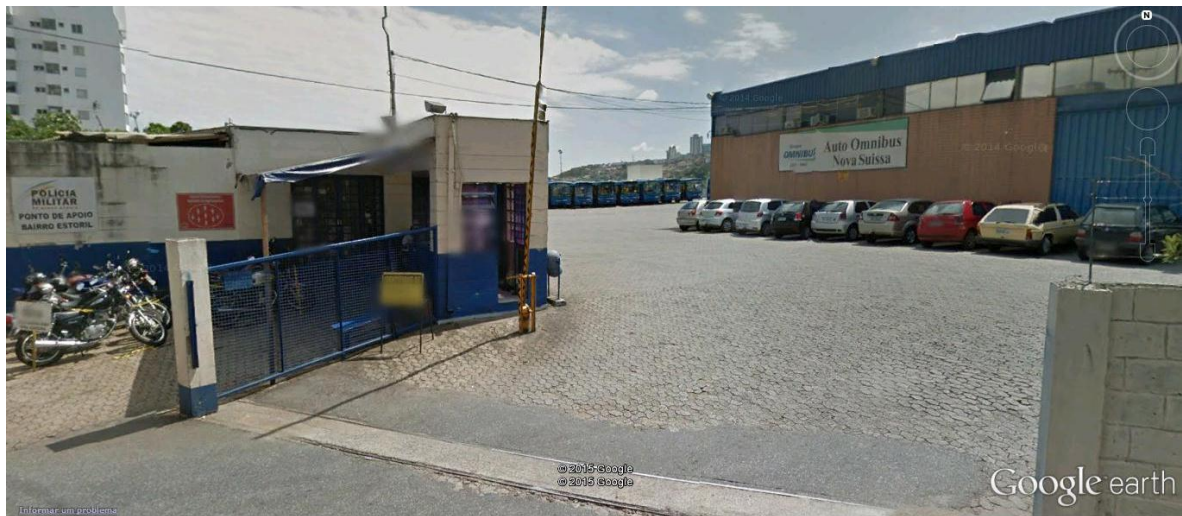


Figura 20: Portaria Garagem de transporte urbano, BH5.

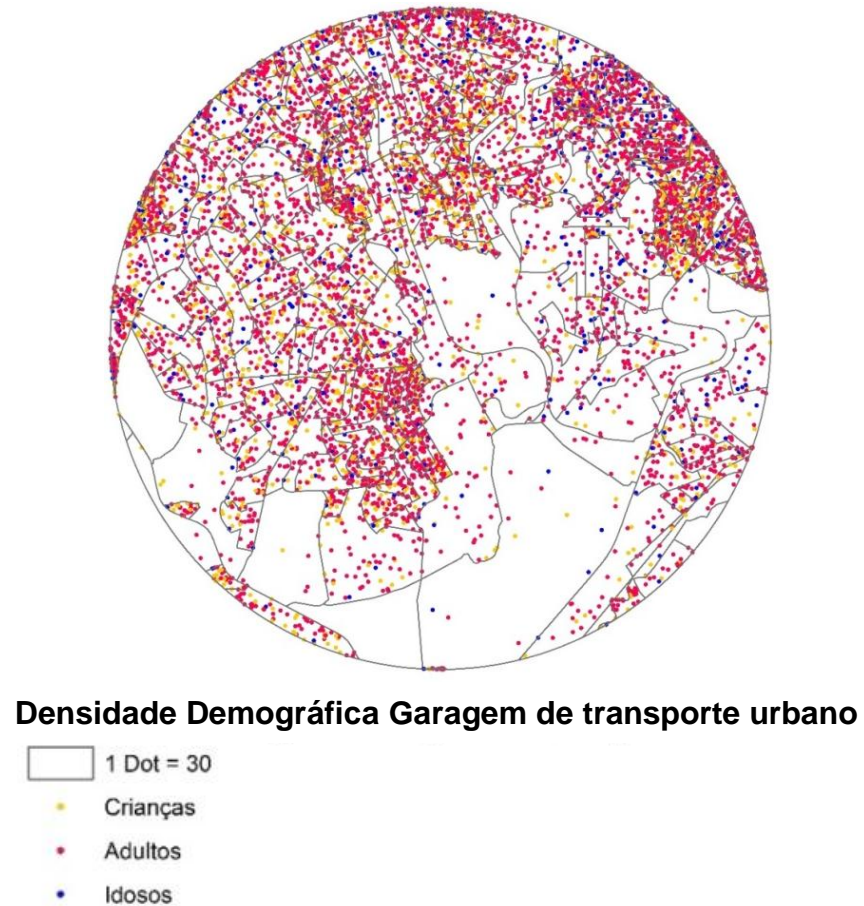


Figura 21: Densidade demográfica na região da Garagem de transporte urbano, BH5  
Fonte: Autor (2015).

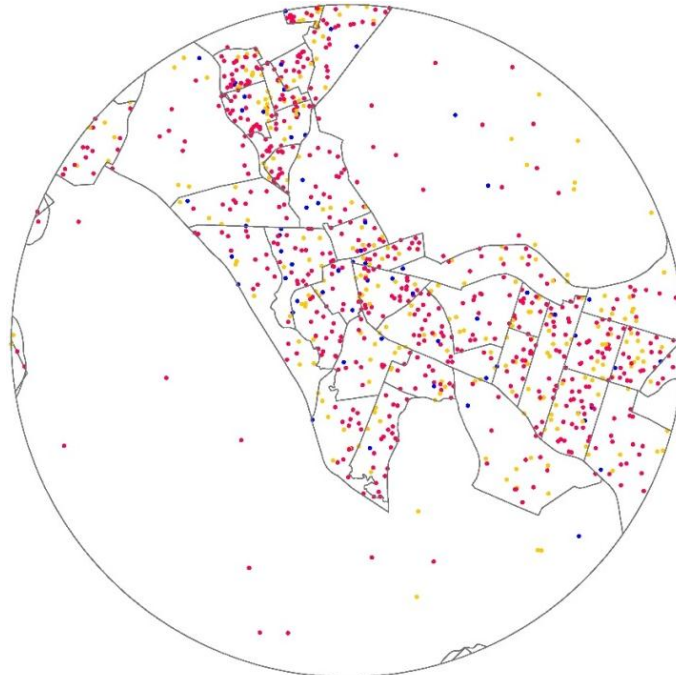
- Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa, M

Esta escola está localizada na Rua Carlos Alves, 205, bairro São Sebastião, na cidade de Matozinhos, RMBH. Próximo à escola, há indústrias e mineradoras. A Figura 22 mostra a fachada da escola e a 23, a densidade demográfica no entorno.





Figura 22: Fachada da Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa, M



**Densidade Demográfica Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa**

1 Dot = 30

• Crianças

• Adultos

• Idosos

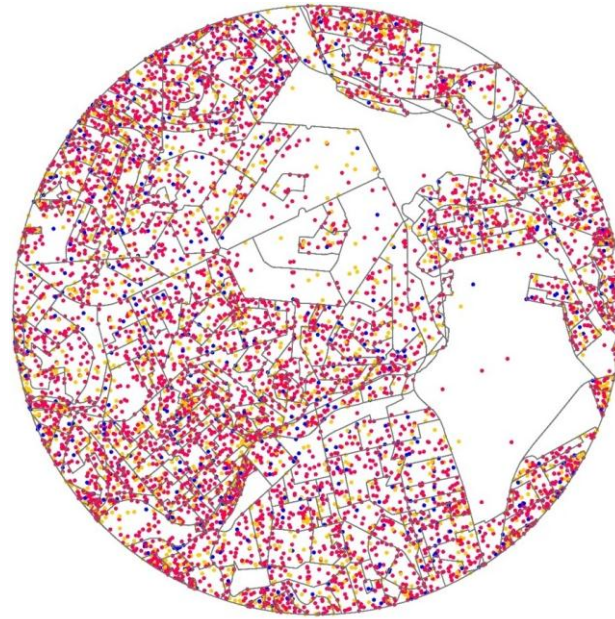
Figura 23: Densidade demográfica na região da Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa, M  
Fonte: Autor (2015).

- Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro, C

Outro ponto de amostragem foi nesta escola que se situa na Rua Unaí, 120, bairro Jardim Industrial, na cidade de Contagem, RMBH. Esta escola está próxima a parques industriais e ao conhecido Hexágono de Contagem. É uma região com intenso fluxo veicular. A Figura 24 mostra a fachada da escola e a 25, a densidade demográfica do entorno.



Figura 24: Fachada da Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro, C



**Densidade Demográfica E. E. Deputado Cláudio Pinheiro**



Figura 25: Densidade demográfica na região da E. E. Deputado Cláudio Pinheiro, C  
 Fonte: Autor (2015).

- Condomínio Retiro do Chalé, B

Este condomínio se localiza em Brumadinho, RMBH. A sede do empreendimento é na Alameda das Braúnas, 1446, Lago Principal. A região é de modelo residencial, onde há a preocupação de manutenção da qualidade do ar, porque o condomínio está próximo a atividades mineradoras. A Figura 26 mostra a portaria do Condomínio e a 27, a densidade demográfica no entorno. Observa-se que a figura mostra a pouca ocupação do terreno na região do condomínio.





Figura 26: Portaria Condomínio Retiro do Chalé, B

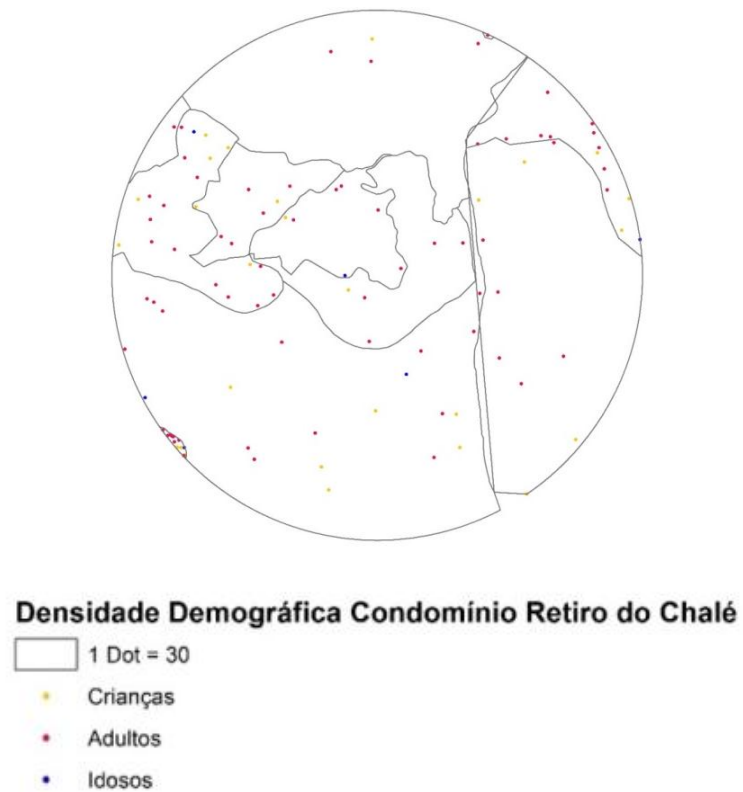


Figura 27: Densidade demográfica na região do Condomínio Retiro do Chalé, B  
Fonte: Autor (2015).

A Tabela 5 mostra os locais amostrados, as coordenadas UTM e as fontes de poluição próximas identificadas visualmente.

Tabela 5: Detalhes dos locais amostrados

Local Amostrado	Município	Coordenadas UTM		Fontes de poluição
		X	Y	
UFMG	Belo Horizonte (BH1)	609055	7803326	Veicular
CDTN	Belo Horizonte (BH2)	607743	7802345	Veicular
Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado	Belo Horizonte (BH3)	614706	7804359	Veicular, industrial
Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET - MG)	Belo Horizonte (BH4)	607158	7795930	Veicular
Garagem de transporte urbano	Belo Horizonte (BH5)	608406	7792176	Veicular
Condomínio Retiro do Chalé	Brumadinho (B)	605601	7766040	Industrial
Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro	Contagem (C)	602056	7792146	Veicular, industrial
Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa	Matozinhos (M)	596487	7836179	Veicular, industrial

## 5.2. Coleta do Material Particulado no Ar

O equipamento utilizado para obtenção do material particulado foi o AGV com cabeça de separação por “impactação inercial”, para coleta de partículas MP<sub>10</sub> da marca Energética – Qualidade do ar, com vazão de 1,13 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> e com uma incerteza na vazão menor do que 1%, para o período de coleta que foi de 24 horas (ENERGÉTICA, 2015). Este tempo de coleta foi definido conforme a resolução CONAMA n°3/1990.

A cabeça do AGV é do tipo “impactação inercial”, constituído por um domo de alumínio ionizado que permite a passagem do ar através de uma abertura periférica. Há, também, um módulo de separação de partículas de 10 µm que é composto por 9 placas tobeiras de aceleração, placa de impactação, placa com 16 tubos de saída e tela de retenção de insetos, como demonstrado na Figura 28 (ENERGÉTICA, 2012).

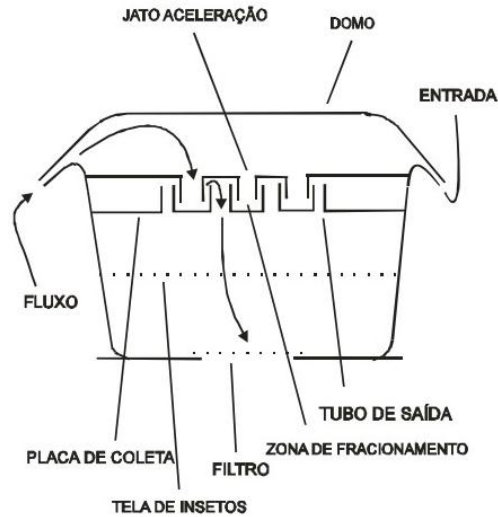


Figura 28: Cabeça Amostrador de Grande Volume  
Fonte: Energética (2012).

A base é constituída por uma casinhola de alumínio anodizado, porta-filtro, Controlador Volumétrico de Vazão (CVV) do tipo venturi, porta motor de fibra de vidro de forma cilíndrica, painel de controle para programação (timer), registrador de eventos contínuos, manômetro de coluna d'água, ventilador interno e sistema de alimentação elétrica, como demonstrado na Figura 29 (ENERGÉTICA, 2012).

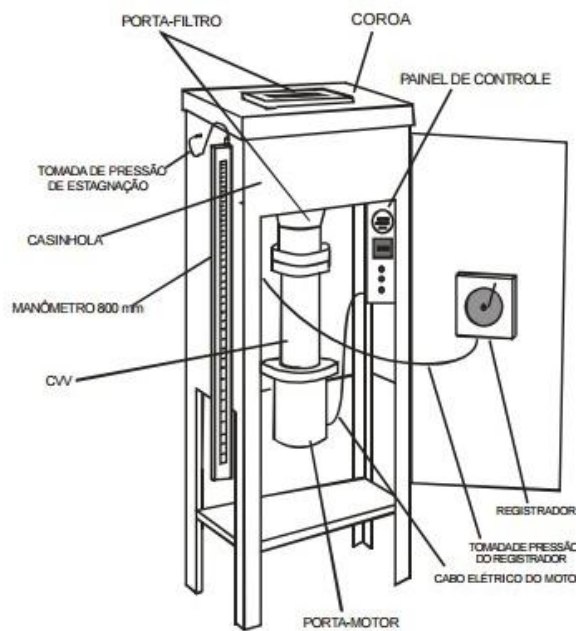


Figura 29: Base Amostrador de Grande Volume  
Fonte: Energética (2012).

O CVV do tipo venturi, o ar atravessa passando pelo estrangulamento, que é um orifício crítico, podendo chegar à velocidade do som onde a energia perdida é recuperada para obter o vácuo necessário. Para a condição de estrangulamento, a vazão depende das condições de montagem do estrangulamento, perda de carga do filtro, pressão barométrica e da temperatura do ambiente (ENERGÉTICA, 2012).

A realização da amostragem no AGV é feita quando o ar adentra na cabeça de separação e direcionada para zona de amortecimento, em que segue para nove boqueiras de aceleração e em seguida para a câmara de impactação, onde as partículas maiores que 10  $\mu\text{m}$  são impactadas em uma placa que está coberta com graxa de silicone. As partículas de até 10  $\mu\text{m}$  são direcionadas para o filtro onde são retidas as partículas (ENERGÉTICA, 2012).

Para a calibração do amostrador de grande volume, utilizou-se um kit de calibração da marca Graseby-Anderson, USA, com certificado de calibração.

O filtro utilizado para a coleta de particulados no ar foi o borossilicato sem aglutinantes, tipo padrão WHATMAN GF/A, de modelo GFA8X10IN da marca Energética – Qualidade do ar, com dimensões de 203 x 254  $\text{mm}^2$ . Esse filtro é o utilizado em amostradores de grande volume para monitoramento da qualidade do ar para determinação da concentração de particulados, emissões em chaminés e aerossóis na atmosfera (ENERGÉTICA, 2015).

O preparo dos filtros consistiu em aquecê-los em uma mufla da marca Quimis, modelo Q318M24, a uma temperatura a 400 °C, nos laboratórios do Departamento de Química, UFMG, pelo período de 4 horas para a eliminação de umidade e compostos orgânicos. Os filtros foram armazenados em um dessecador. No laboratório da Divisão de Meio Ambiente, CDTN, para evitar o contato com a umidade do ar.

Um barômetro para aferição da pressão atmosférica e um termômetro para verificação da temperatura local foram utilizados para a coleta de material particulado.

Os filtros foram pesados antes e depois da amostragem em uma balança de precisão da marca Sartorius, modelo TE214S, com capacidade máxima de 210 g e um desvio padrão de 0,1 mg (DWS, 2015), com certificado de calibração. O objetivo das pesagens foi fornecer dados para a análise gravimétrica.

### 5.3. Calibração

Para uma calibração válida é necessário calibrar os instrumentos de amostragem como o calibrador padrão de vazão (CPV) e o CVV. O manual de calibração fornece a equação da reta para o CPV, que por sua vez, resulta numa  $Q_r$  (vazão em condições reais) versus  $dH_c$  (pressão diferencial manométrica), possuindo uma relação na forma de uma reta (ENERGÉTICA, 2012).

A equação da reta é descrita por:

$$Q_r(\text{CPV}) = \frac{1}{a_1} \cdot \left( \sqrt{dH_c \cdot \frac{T_2}{P_2}} - b_1 \right) \quad (3)$$

onde,

$Q_r(\text{CPV})$  é a vazão volumétrica real conforme indicada pelo CPV,  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ;

$dH_c$  é a perda de carga através do orifício,  $\text{cm H}_2\text{O}$ ;

$T_2$  é a temperatura ambiente durante uso, K ( $K = ^\circ\text{C} + 273$ );

$P_2$  é a pressão ambiente,  $\text{mm Hg}$ ;

$a_1$  é a inclinação da relação de calibração do CPV;

$b_1$  é o intercepto da relação de calibração do CPV.

A partir do cálculo da vazão em condições reais, é possível calcular a vazão do amostrador através da equação:

$$\frac{P_0}{P_2} = a_2 \cdot \left[ \frac{Q_r(\text{CPV})}{\sqrt{T_2}} \right] + b_2 \quad (4)$$

onde,

$P_0$  é a pressão de estagnação em  $\text{mmHg}$ ;

$P_2$  é a pressão barométrica durante a calibração do amostrador,  $\text{mmHg}$ ;

$Q_r(\text{CPV})$  é a vazão volumétrica em condições padrão indicada pelo CPV,  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ;

$T_2$  é a temperatura ambiente durante a calibração do amostrador, K ( $K = ^\circ\text{C} + 273$ );

$a_2$  é a inclinação da relação de calibração do amostrador, a ser obtida por regressão linear;

$b_2$  é a intercepto da relação de calibração do amostrador, a ser obtida por regressão linear.

Foi utilizado um CPV de válvula de resistência variada, conforme a Figura 30, que consiste num cilindro que contém uma válvula de resistência variável onde é colocado no local do porta-filtro do AGV e conectado por um adaptador e um manômetro de 400 mm de água para verificação da perda de carga gerada pelo orifício.



Figura 30: Válvula de resistência variada  
Fonte: Autor (2015).

A válvula é girada, oferecendo diversas resistências para a perda de carga. Através desse mecanismo, é construída uma curva de calibração com cinco pontos distintos de vazão, que se referem à leitura dos manômetros em centímetros de água.

## 5.4. Amostragem e Cálculos

O transporte do AGV para realizar as amostragens foi em camionete, tendo sido fixado com cordas quando na posição vertical ou na posição horizontal. Um cuidado maior foi necessário com o manômetro, por este estar fixo no AGV. Isso era devido aos riscos de quebra. Um cuidado adicional foi observar bem a tensão da corrente elétrica antes de o equipamento ser ligado.

A calibração foi realizada sempre que houve deslocamento do equipamento.

### 5.4.1. Preparo dos filtros

Antes da amostragem, os filtros foram aquecidos a 400°C durante 4 horas para remoção de impurezas e umidade. Posteriormente, foram embrulhados em papel alumínio e guardados em um dessecador com sílica-gel por no mínimo 24 horas antes da realização da amostragem. Antes e após as amostragens, foram pesados os filtros em uma balança de precisão e a concentração foi determinada através da equação 5:

$$C = 10^6 \cdot \left( \frac{m_f - m_0}{V_p} \right) \quad (5)$$

onde,

C é a concentração;

$m_0$  é a massa inicial do filtro em g (filtro branco);

$m_f$  é a massa final do filtro em g (após coleta);

$v_p$  é o volume de ar amostrado corrigido para as condições padrão (298 K, 760 mmHg) em  $m^3$

### 5.4.2. Amostragem

O procedimento de amostragem, descrito a seguir, foi executado em todas as atividades de monitoramento.

O filtro foi inserido no porta-filtro e posteriormente a cabeça do amostrador foi fechada. Conforme a resolução CONAMA nº3/1990, na realização das amostragens foram coletadas medidas de temperatura e pressão atmosférica em um período de 24 horas.

Posteriormente a amostragem, os filtros foram embalados em papel alumínio, dirigidos ao laboratório, identificados e acondicionados em freezer a -18 °C até o início das análises químicas.

Durante as coletas foram realizadas leituras de parâmetros como pressão de estagnação diferencial no filtro inicial e final, pressão atmosférica no início e no fim da coleta do material particulado, temperatura média, dados relacionados ao horômetro, local, data e hora. Esses dados foram armazenados em uma planilha do Excel com os seguintes cálculos:

1. Média da pressão diferencial inicial e final em cm H<sub>2</sub>O (dH<sub>f</sub>) pela equação 6:

$$dH_f = \frac{dH_{fi} + dH_{ff}}{2} \quad (6)$$

onde:

dH<sub>fi</sub> é a pressão diferencial inicial no filtro;

dH<sub>ff</sub> é a pressão diferencial final no filtro

2. Conversão de dH<sub>f</sub> em cm de H<sub>2</sub>O para mmHg:

$$dH_{fHg} = \frac{dH_f}{1,36} \quad (7)$$

3. Cálculo da pressão de estagnação (P<sub>0</sub>) no CVV:

$$P_0 = P_a - dH_{fHg} \quad (8)$$



onde  $P_a$  é a pressão atmosférica média para o período de amostragem;

4. Cálculo da vazão média nas condições reais:

$$Q_r = \frac{1}{a_2} \cdot \left( \frac{P_0}{P_a} - b_2 \right) \cdot \sqrt{T_a} \quad (9)$$

onde:

$a_2$  é a inclinação da reta obtida da calibração;

$b_2$  é a intersecção da reta obtida da calibração;

$P_0$  é a pressão de estagnação;

$P_a$  é a pressão atmosférica média para o período de amostragem;

$T_a$  é a temperatura média para o período de amostragem

5. Cálculo da vazão média ( $Q_p$ ) para as condições padrão:

$$Q_p = Q_r \cdot \left( \frac{P_a}{P_p} \right) \cdot \left( \frac{T_p}{T_a} \right) \quad (10)$$

onde:

$P_a$  é a pressão atmosférica média para o período de amostragem;

$P_p$  é a pressão padrão, 760 mmHg;

$T_p$  é a temperatura padrão, 298 K;

$T_a$  é a temperatura média para o período de amostragem

6. Cálculo do volume de ar ( $V_p$ ) nas condições padrão:

$$V_p = Q_p \cdot t \quad (11)$$

onde  $t$  é a diferença entre as leituras final e inicial do horômetro convertida para minutos

7. Cálculo da massa líquida do filtro:

$$MP = m_f - m_i \quad (12)$$

Em todas as amostragens, utilizou-se balança analítica de precisão ( $\pm 0,1$  mg).

Os procedimentos da calibração e da amostragem estão descritos nos Apêndices I e II.

### 5.5. Determinação da Composição do Material Particulado

Para a determinação da composição elementar das amostras de filtro de ar, foi aplicada a técnica de análise por ativação neutrônica, método  $k_0$  padronizado [DE CORTE, 1987, 2000; DE CORTE, *et al.*, 1987; MENEZES *et al.*, 2003; MENEZES e JACIMOVIC, 2006a].

#### 5.5.1. Preparo das amostras para análise

Após a coleta do material particulado, os filtros de ar foram dobrados ao meio e inseridos em envelopes de plástico, para serem transportados para o laboratório. Tendo como exemplo a Figura 31, abaixo, que representa o filtro dobrado, está indicada uma área tracejada que corresponde à alíquota recortada. As dimensões do recorte foram de (150 x 20) mm.

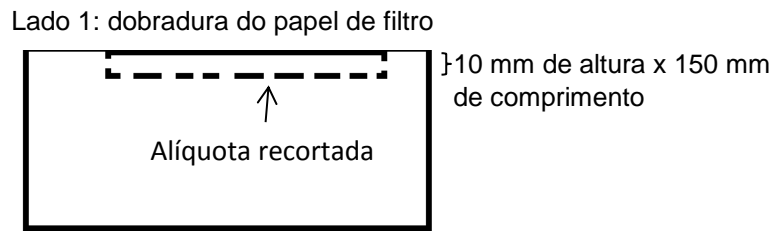


Figura 31: Papel de filtro dobrado e alíquota amostrada para análise  
Fonte: Autor (2015).

Cada alíquota foi enrolada como um pequeno cilindro e inserida em um frasco de polietileno, com 56 mm de altura e 16 mm de diâmetro. Os frascos de polietileno, F1, foram previamente limpos em solução nítrica, 0,1%, e estão apresentados na Figura 32.



Figura 32: Frasco de Polietileno, F1, com alíquota da amostra  
Fonte: Autor (2015).

Para a irradiação, em um segundo frasco de polietileno, F2, com dimensões de 23 mm de altura e 11 mm de diâmetro, dois frascos F1 com amostras foram empilhados, sendo intercalados por monitores de fluxo de nêutrons. Este monitor é um disco de uma liga de Al-Au (0,1%) (INSTITUTE FOR REFERENCE MATERIALS AND MEASUREMENTS, 2002), com 5 mm de diâmetro e 0,1 mm de espessura.

As amostras foram acompanhadas por uma amostra de referência certificada, em duplicata, BCR 176, "City Incineration Ash" (INSTITUTE FOR REFERENCE MATERIALS AND MEASUREMENTS, 1984), para verificar a exatidão e o

desempenho do método. Para o preparo dessa amostra de referência, foi recortada uma alíquota de um filtro não utilizado, nas mesmas dimensões da alíquota amostrada. Neste recorte foi colocada a amostra de referência e o conjunto foi enrolado da mesma forma que as amostras dos filtros em estudo e inserido em um frasco F1.

Para descontar a influência dos elementos químicos presentes no papel de filtro, as amostras de filtro não utilizado foram preparadas da mesma forma que as amostras e submetidas à análise.

### 5.5.2. Irradiação, Espectrometria Gama e Cálculos

Todas as amostras foram irradiadas por oito horas na mesa giratória do reator TRIGA MARK I IPR-R1 que a uma potência de 100 kW produz fluxo de nêutrons térmicos médio de  $6,35 \times 10^{11}$  nêutrons  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  e parâmetros espectrais médios  $f$  e  $\alpha$  de 22,32 e -0,0022 (MENEZES e JACIMOVIC, 2014), respectivamente.

A espectrometria gama foi executada em um sistema composto de detector HPGe, CANBERRA, de 50% de eficiência nominal e resolução de 1,85 keV para a energia de 1332keV do  $^{60}\text{Co}$  e eletrônica composta de DSA 2000. A aquisição dos espectros gama foi executada pelo programa Genie 2000, CANBERRA.

Cada amostra foi submetida à espectrometria gama no mesmo frasco em que foi irradiada e foi medida por três vezes para a análise dos radionuclídeos de meias vidas médias curtas (<15h), médias (<3 dias) e longas (>10dias), tendo, após a irradiação, sido esperados três dias para iniciar a primeira medida, tempo necessário para o decaimento dos radionuclídeos interferentes. Os monitores também foram submetidos à espectrometria gama.

Para a análise dos espectros gama, foi aplicado o programa HyperLab, versão 2009 (HYPERLAB, 2013) e para os cálculos de concentração elementar, o programa Kayzero for Windows<sup>®</sup>, v. 2.42 (KAYZERO FOR WINDOWS, 2011).

### 5.5.3. Avaliação da Qualidade do Método Analítico

O desempenho do método  $k_0$  de ativação neutrônica foi avaliado pelo teste estatístico “ $E_n$ -number”, de acordo com a norma ISO 13528:2005. Os cálculos foram

executados considerando os resultados experimentais e os valores certificados do material de referência.

“ $E_n$ -number” foi calculado para medir a concordância entre o resultado experimental e o valor certificado. O cálculo considera as incertezas com um fator de cobertura  $k=2$  incluindo as incertezas dos valores experimentais e certificados. No certificado do material de referência, a incerteza é dada com um intervalo de confiança de 95%, que corresponde a  $k=2$ .

A seguinte equação foi usada nos cálculos:

“ $E_n$ -number”:

$$E_n = \frac{\text{Valor}_{\text{Experimental}} - \text{Valor}_{\text{Certificadob}}}{\sqrt{U_{\text{LabExpand}}^2 + U_{\text{Certificadob}}^2}} \quad (13)$$

onde  $U_{\text{LabExpand}}$  e  $U_{\text{Certificadob}}$  são as incertezas expandidas ( $k=2$ ) do resultado experimental e do valor certificado, respectivamente, ou seja:

$$U_{\text{LabExpand}} = 2 \cdot U_{\text{Experimental}} \quad (14)$$

$$U_{\text{Certificadob}} = 2 \cdot \text{DesPadrão}_{\text{Certificadob}} \quad (15)$$

onde *DesPadrão* é o Desvio Padrão e  $U_{\text{Certificadob}}$  é a incerteza do resultado certificado.

Para comparar os resultados, o critério  $|E_n| \leq 1$  foi aplicado, significando que o desempenho do método foi satisfatório. Se  $|E_n| > 1$ , significa que o desempenho foi insatisfatório.

## 5.6. Análise Multivariada

Neste estudo foi aplicada a análise multivariada para verificar a contribuição das principais fontes de poluentes presentes em Belo Horizonte e na RMBH. A análise multivariada foi realizada baseando-se nas concentrações elementares do material

particulado de cada filtro e estação de monitoramento. A técnica utilizada foi a análise fatorial usando Método dos Componentes Principais.

Para a análise fatorial, foi aplicado o software Minitab *Statistical Software* versão 17.1.0. Para os demais cálculos foram utilizadas planilhas eletrônicas do Excel (Microsoft).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. Coleta do Material Particulado no Ar

As amostragens foram realizadas por 24 horas em datas diversas no período de 10 de abril de 2014 a 11 de março de 2015. Não ocorreram amostragens simultâneas, devido ao fato de o amostrador de grande volume semiautomático ser único, além das dificuldades de autorização para a instalação do equipamento.

A Tabela 6 mostra o número de filtros de ar amostrados correspondentes aos locais selecionados para coleta. No total foram 52 filtros coletados e analisados. É importante ressaltar que a razão de terem sido realizadas poucas coletas em BH3, BH4, BH5, B, C e M, foi em decorrência de fatores como a não autorização pelo responsável pelo local, para realizar mais amostragens. Ocorreram, também, problemas técnicos com o AGV.

Tabela 6: Número de filtros de ar amostrados nos locais de coleta

Local Amostrado	Município	Quantidade de filtros amostrados
UFMG	Belo Horizonte (BH1)	19
CDTN	Belo Horizonte (BH2)	17
Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado	Belo Horizonte (BH3)	2
Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET - MG)	Belo Horizonte (BH4)	4
Garagem de transporte urbano	Belo Horizonte (BH5)	3
Condomínio Retiro do Chalé	Brumadinho (B)	2
Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro	Contagem (C)	3
Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa	Matozinhos (M)	2

Segundo o CONAMA, 1990, a qualidade do ar, baseando-se na concentração de material particulado,  $MP_{10}$ , por volume amostrado e coletado no filtro de ar, é

considerada de boa qualidade quando essa concentração for menor do que  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ , regular, quando for entre 50 e  $150 \mu\text{g.m}^{-3}$ , inadequada, entre 150 e  $250 \mu\text{g.m}^{-3}$ , má, entre 250 e  $420 \mu\text{g.m}^{-3}$  e acima de  $420 \mu\text{g.m}^{-3}$ , péssima. A Tabela 7 abaixo indica os resultados obtidos em faixas de concentração do  $\text{PM}_{10}$ , os valores médios e os máximos obtidos e a classificação segundo os parâmetros do CONAMA, 1990.

Observa-se que na Tabela 7, que se a avaliação da concentração for baseada nos valores médios coletados, em comparação com os valores do CONAMA, a qualidade do ar será considerada de melhor qualidade do que ao se avaliar em relação aos valores máximos. Neste caso, apenas a região do Condomínio Retiro do Chalé em Brumadinho, apresentou a qualidade do ar considerada de boa qualidade.

Tabela 7: Resultados obtidos do  $\text{PM}_{10}$  comparados aos valores estabelecidos pelo CONAMA

LOCAL	Faixa de Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Concentração Média ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Concentração Máxima ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
BH1	28,95 – 68,33	48,10	68,33
BH2	9,39 – 123,90	48,56	123,90
BH3	38,61 – 55,98	47,30	55,98
BH4	40,81 – 64,93	54,01	64,93
BH5	27,71 – 59,87	39,62	59,87
B	8,27 – 15,71	11,55	15,71
C	47,42 – 63,33	53,81	63,33
M	74,90 – 92,30	83,60	92,30

O Apêndice III traz os resultados de todas as concentrações do material particulado.

A Figura 33 mostra o gráfico da variação da concentração de particulado por volume amostrado ao longo do tempo, para cada local onde foi realizada a coleta. Observa-se que o número de filtros amostrados por local, foi em Belo Horizonte e o menor em Matozinhos.

Em relação às coletas em Belo Horizonte, o menor valor de concentração por volume amostrado foi de  $9,39 \mu\text{g.m}^{-3}$ , assim como o maior valor foi de  $123,9 \mu\text{g.m}^{-3}$ , também no CDTN.



Quanto à RMBH, o menor valor de concentração por volume amostrado foi em Brumadinho, no Retiro do Chalé, com  $8,27 \mu\text{g.m}^{-3}$  e a maior concentração foi em Matozinhos, com  $92,3 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Observa-se que o menor valor em BH, de  $9,39 \mu\text{g.m}^{-3}$ , ainda foi mais elevado do que o de  $8,27 \mu\text{g.m}^{-3}$  na RMBH. Em comparação com as duas regiões, o valor de BH, foi o de maior valor. Isso significa que a cidade está com maior quantidade de  $\text{MP}_{10}$ , que, de acordo com a classificação do CONAMA, indica qualidade de ar regular, no período amostrado.

■ Belo Horizonte ■ Brumadinho ■ Contagem ■ Matozinhos

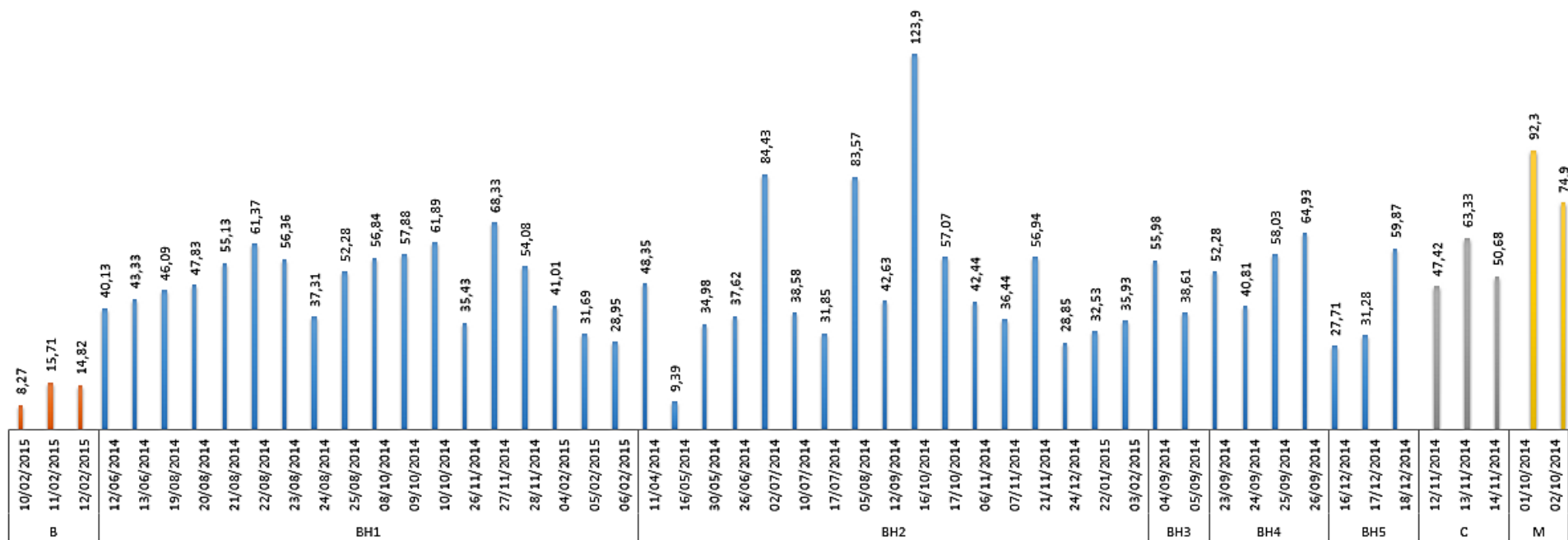


Figura 33: Concentração de particulado por volume amostrado ao longo do tempo, por região

Fonte: Autor (2015).

A Figura 34 mostra um filtro de ar após a coleta do material particulado, ainda dentro do amostrador. Observa-se que as bordas brancas do filtro correspondem à parte de vedação do equipamento. A parte de coloração cinza escuro corresponde ao material coletado.

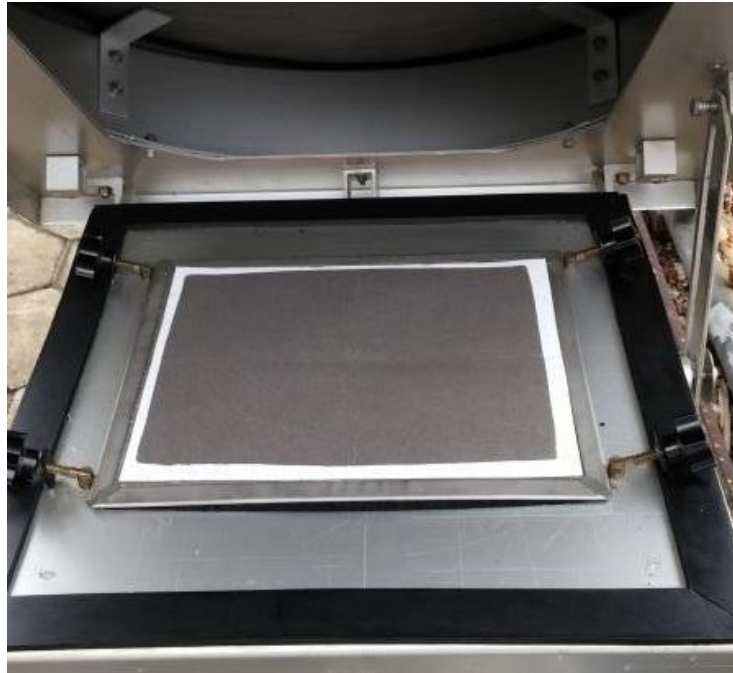


Figura 34: Vista do filtro de ar após coleta de  $MP_{10}$ , ainda dentro do amostrador  
Fonte: Autor (2015).

## 6.2. Determinação da Composição do Material Particulado

### 6.2.1. Avaliação da Qualidade do Método Analítico

Para verificar se o desempenho do método  $k_0$  aplicado foi satisfatório, foi calculado o “ $E_n$ -number” para cada valor certificado da amostra de referência certificada BCR 176, “City Incineration Ash” analisada. Na Tabela 8 estão os resultados experimentais e os valores certificados da amostra de referência certificada. Observa-se que todos os resultados são menores do que 1, indicando que o desempenho do método foi satisfatório.

Tabela 8: Resultados experimentais e certificados BCR 176 e “ $E_n$ -number”

Elemento	BCR 176		“ $E_n$ -number”
	Valor Experimental (mg.kg <sup>-1</sup> )	Valor Certificado (mg.kg <sup>-1</sup> )	
<b>Cd</b>	491 ± 19	470 ± 9	0,54
<b>Co</b>	31,4 ± 1,1	30,9 ± 1,3	0,19
<b>Cr</b>	883 ± 33	863 ± 30	0,28
<b>Fe</b>	21610 ± 764	21300 ± 1100	0,16
<b>Hg</b>	31,5 ± 1,2	31,4 ± 1,1	0,02
<b>Sb</b>	460 ± 17	412 ± 18	0,59
<b>Se</b>	46,5 ± 2,0	41,2 ± 2,1	0,64
<b>Zn</b>	34990 ± 1305	25770 ± 380	0,69

### 6.3. Composição Elementar

O Apêndice IV traz os resultados de todos os elementos químicos determinados nas amostras de MP<sub>10</sub> com suas incertezas associadas.

Nas Tabelas 9 e 10 estão as faixas de concentração em ng.m<sup>-3</sup> encontradas por elemento e por local no conjunto amostrado. Para os elementos que só foi reportado um valor, significa que apenas um resultado foi obtido nos conjuntos de filtros analisados.

Tabela 9: Faixas de concentração determinadas por elemento e por local amostrado– concentrações máximas e mínimas – cidade de Belo Horizonte

Elem.	Amostragem em Belo Horizonte				
	BH1 ng.m <sup>-3</sup>	BH2 ng.m <sup>-3</sup>	BH3 ng.m <sup>-3</sup>	BH4 ng.m <sup>-3</sup>	BH5 ng.m <sup>-3</sup>
Ag	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	0,023 - 0,039	0,002 – 0,008	<0,038	0,021 – 0,06	<0,057
Au	<0,0001 – 0,00023	<0,0001 – 0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ba	77,3 - 209	25 - 723	131 - 168	142 - 285	68,6 - 136
Br	0,012 – 0,053	0,004 – 0,29	0,067 – 0,092	0,038 – 0,084	<0,046
Ca	29,4 – 83,6	10,1 - 306	47 - 66	42,5 – 88,9	38,3 – 62,7
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ce	0,13 – 0,23	0,011 – 0,64	0,16 – 0,22	0,031 – 0,21	0,01
Co	0,0008 – 0,0039	0,00035 – 0,014	0,0019 – 0,0041	0,0013 – 0,0046	0,0017 – 0,011
Cr	0,059 – 0,25	0,037 – 0,98	0,15 – 0,22	0,11 – 0,23	0,042 – 0,23
Cs	0,0015 – 0,0033	0,0016 – 0,0079	0,0021 – 0,0032	0,0037	<0,0022
Eu	0,00097 – 0,012	0,0008 – 0,080	0,0011 - 0,0014	0,0012 – 0,0023	<0,0003
Fe	0,23 - 3,82	18,5 – 85,2	9,22 – 19,2	6,86 – 24,4	2,21 – 13,
Hf	0,012 – 0,093	0,0013 – 0,23	0,056 – 0,070	0,047 – 0,087	0,028 – 0,037
Hg	<2	<2	<2	<2	<2
K	61 - 308	30 - 470	65,4 - 102	84,3 - 197	90,2
La	0,008 – 0,12	0,0067 – 0,338	0,063 – 0,11	0,0084 – 0,084	0,0047 – 0,0067
Na	91,9 - 358	43,7 - 1,29	204 - 269	245 - 485	124 - 262
Nd	0,059 – 0,089	0,014 – 0,32	0,10	<0,1	<0,1
Rb	0,042 – 0,097	0,02 – 0,41	0,08 – 0,11	0,054 – 0,17	<0,084
Sb	0,011 – 0,053	0,003 – 0,32	0,011 – 0,053	0,008 – 0,035	0,003 – 0,015
Sc	0,0009 – 0,0038	0,00057 – 0,013	0,0026 – 0,0036	0,0016 – 0,0046	0,00077 – 0,002
Se	0,029 – 0,73	0,054 – 0,093	0,054	<0,02	<0,02
Sm	0,0012 – 0,017	0,0011 – 0,051	<0,0054	0,0013 – 0,0033	0,0009 – 0,001
Sr	2,85 - 8,13	0,93 – 28,9	3,78 - 7,00	5,77 – 11,5	<1,3
Ta	0,00039 – 0,057	0,0002 – 0,191	0,001 - 0,0015	0,0012 - 0,0053	<0,0006
Tb	0,00047 – 0,0051	0,0003 – 0,44	0,0034 – 0,0047	0,0003 – 0,0077	<0,0005
Th	0,004 – 0,030	0,0017 – 0,086	0,02 – 0,028	0,002 – 0,027	<0,003
U	0,0075 – 0,013	0,0017 – 0,034	0,01	<0,008	<0,007
W	1,58 - 4,21	37,5 – 41,5	<0,1	<0,1	<0,1
Yb	0,0034 – 0,034	0,0052 – 0,095	0,023 – 0,029	0,0023 – 0,030	<0,004
Zn	57 - 168	20 - 570	99 - 126	117 - 229	22 - 110
Zr	1,65 - 2,48	0,55 – 21	1,79 - 2,73	1,39 - 2,78	<1

Elem., Elemento; <, menor do que o valor correspondente ao limite de detecção

Tabela 10: Faixas de concentração determinadas por elemento e por local amostrado – concentrações máximas e mínimas – na RMBH

Elemento	Região Metropolitana de Belo Horizonte		
	B ng.m <sup>-3</sup>	C ng.m <sup>-3</sup>	M ng.m <sup>-3</sup>
Ag	<0,01	<0,01	0,01
As	0,0058 – 0,013	<0,053	0,068
Au	<0,002	<0,002	<0,002
Ba	26 – 51	143 - 195	300 - 303
Br	<0,01	0,03	<0,01
Ca	<15	50 – 66	117 - 136
Cd	<0,2	<0,2	<0,2
Ce	<0,005	0,016	0,034 – 0,048
Co	0,0002 – 0,0003	0,0033 – 0,0039	0,0027 – 0,0035
Cr	0,012 – 0,035	0,17 – 0,43	0,2 – 0,22
Cs	<0,0005	0,0022	0,0043
Eu	<0,00008	0,0012	0,002 – 0,0025
Fe	0,72 - 2,67	14 – 21	13 – 20
Hf	0,0065 – 0,018	0,033 – 0,05	0,054 – 0,076
Hg	<0,01	<0,01	<0,01
K	17 – 30	0,012	172 - 187
La	0,002 – 0,0035	0,0096 – 0,019	0,02 – 0,021
Na	45 – 82	0,023 - 345	484 - 489
Nd	<0,1	<0,1	<0,1
Rb	<0,025	0,066 – 0,096	0,13 – 0,14
Sb	0,00079 – 0,0021	0,014 – 0,02	0,0093 – 0,012
Sc	0,00023 – 0,00042	0,0016 – 0,0024	0,0038 – 0,0043
Se	0,0092	<0,03	<0,03
Sm	0,00026 – 0,00053	0,002 - 0,0033	0,0038 – 0,0040
Sr	<0,4	4,47	11
Ta	<0,00008	0,0083	0,0012 – 0,005
Tb	<0,0002	<0,0002	0,0008 – 0,0009
Th	<0,0008	0,002	0,0048
U	<0,01	<0,01	<0,01
W	1,24	<0,1	<0,1
Yb	<0,001	0,0019 – 0,0031	<0,001
Zn	21 – 40	117 - 156	240 - 241
Zr	<0,6	1,43	2,62

<, menor do que o valor correspondente ao limite de detecção

Na Tabela 9, Amostragem em Belo Horizonte, observa-se que 32 elementos foram determinados no MP<sub>10</sub> para 5 locais de amostragem, BH1, BH2, BH3, BH4 e BH5. Os elementos em que os resultados foram menores do que os seus respectivos limites de detecção para todos os locais, ou seja, Ag, Cd e Hg, não foram incluídos nos cálculos.

Na Tabela 9, então, foram assinalados os maiores valores para cada elemento, considerando os cinco locais amostrados. Em seguida, foram contados quantos valores máximos tinham sido assinalados. O somatório foi considerado 100%. Para cada local de coleta, foram somados quantos elementos tinham apresentado valores máximos e, então, calculado o percentual em relação ao total.

O mesmo procedimento foi aplicado em relação aos valores mínimos, considerando, neste caso os valores de limite de detecção como valor mínimo. Observa-se que BH2, CDTN, obteve tanto em relação aos valores máximos e mínimos, os maiores percentuais, Tabela 11.

Para a RMBH, o mesmo cálculo foi aplicado. O Condomínio Retiro do Chalé apresentou o maior percentual de menor concentração e Matozinhos, o maior percentual para os valores maiores de concentração, Tabela 11.

Tabela 11: Percentuais de maiores e menores concentrações elementares determinados por local de amostragem

Belo Horizonte			RMBH		
Local amostrado em Belo Horizonte	Ocorrência de Maiores Resultados (%)	Ocorrência de Menores Resultados (%)	Local amostrado na RMBH	Ocorrência de Maiores Resultados (%)	Ocorrência de Menores Resultados (%)
BH1	3,33	12,9	B	7,41	68,9
BH2	86,7	64,49	C	25,9	17,2
BH3	3,33	6,49	M	66,7	13,8
BH4	6,67	6,45			
BH5	0	9,67			

Não há valores previstos na legislação brasileira para nenhum elemento. Entretanto, o Instituto de Energia e de Meio Ambiente, IEEMA (2012), reporta em relação à qualidade do ar, valores limites para As, Cd, Cr, Hg e Ni previstos pela legislação do Reino Unido, Nova Zelândia e Índia. Na Tabela 11, estão os valores reportados pelo IEEMA e os obtidos experimentalmente neste estudo para As, Cd, Cr

e Hg. Não foi incluído o níquel, porque esse elemento não tem características nucleares adequadas para ser analisado por ativação neutrônica em amostras ambientais.

Os resultados experimentais reais foram obtidos em  $\mu\text{g.m}^{-3}$  em 24 horas de coleta. Só para efeito de comparação com os valores previstos nas legislações internacionais, uma vez que não há valores na legislação brasileira, foi necessário calcular proporcionalmente para 365 dias, ou seja, concentração em um ano. Desta forma, foi suposto que em todos os dias do ano, a coleta teria a mesma concentração.

Os valores experimentais para As e Cr na Tabela 12 foram obtidos baseando-se no maior resultado encontrado para esses elementos, entre aqueles determinados em todas as amostras de material particulado em BH e RMBH. Os valores de Cd e Hg se referem aos limites de detecção obtidos, uma vez que nenhum outro valor foi determinado.

Baseando-se na suposição acima, e comparando, então, os valores experimentais com os previstos nas legislações internacionais, observa-se que para As e Cr, os valores experimentais ultrapassaram aqueles previstos. Isso significa que a qualidade do ar amostrado estaria inadequada se tivesse sido avaliada naqueles países. Quanto aos elementos Cd e Hg não é possível afirmar se a qualidade do ar amostrado estaria inadequada ou não.

Tabela 12: Valores limites de concentração previstos pelo Instituto de Energia e de Meio Ambiente e valores experimentais deste estudo

Elemento	Concentração máxima experimental anual ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Valores anuais previstos pela legislação			
		Brasil	Reino Unido ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Nova Zelândia ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Índia ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
As	0,0290	NP	0,006	$5,5 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-6}$
Cd	< 2	NP	0,005	NP	NP
Cr	0,3567	NP	NP	0,0011	NP
Hg	< 2	NP	NP	0,13	NP

NP, Não Previsto



## 6.4. Condições Meteorológicas

Durante o período de amostragem do material particulado, foram realizadas medidas de parâmetros meteorológicos em Belo Horizonte, BH1 e BH2, devido à proximidade com a estação meteorológica do CDTN. Os parâmetros medidos foram a direção e a velocidade do vento, estabilidade atmosférica e temperatura. Os períodos das medições referem-se aos anos de 2014 e 2015 e são apresentados graficamente referentes às estações do ano.

Segundo o INMET (2015), as estações do ano se iniciaram em:

- no ano de 2014: 20 de março, outono; 21 de junho, inverno; 22 de setembro, primavera e 21 de dezembro, verão;
- no ano de 2015: 20 de março, outono; 21 de junho, inverno; 23 de setembro, primavera e 22 de dezembro, verão.

Para a UFMG e CDTN serão apresentadas as figuras correspondentes às rosas dos ventos, que indicam a direção e a estabilidade dos ventos durante o período de amostragem.

### 6.4.1. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (BH1)

Os dados apresentados são referentes às condições meteorológicas na UFMG. Foram realizadas dezenove amostragens, sendo 15 em 2014 (11 e 12 de junho; de 18 a 24 de agosto; 7 a 9 de outubro; de 25 a 27 de novembro) e 4 em 2015 (de 3 a 5 de fevereiro e 10 de março).

Na Figura 35 estão as rosas dos ventos correspondentes às medidas de cada estação do ano.

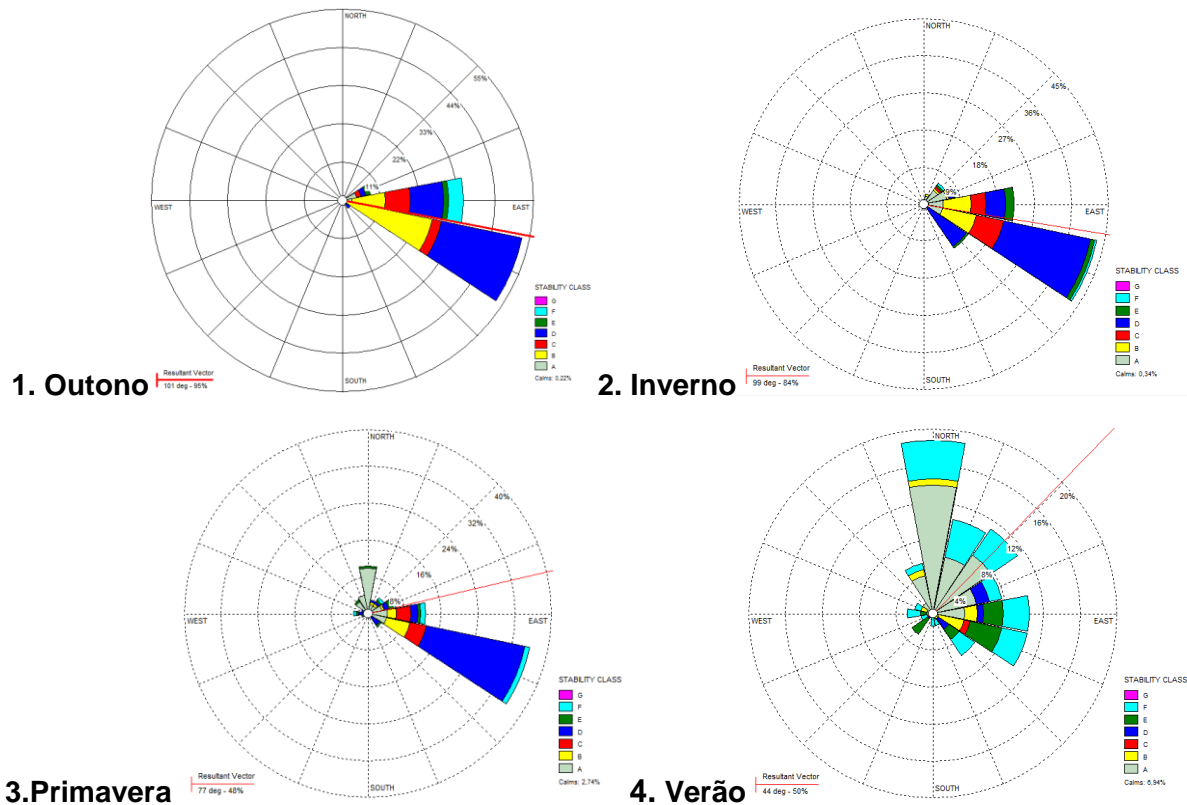


Figura 35: Rosa dos Ventos correspondentes às medidas de direção e estabilidade dos ventos na UFMG e CDTN  
Fonte: Autor (2015).

## 6.5. Análise Multivariada

Para verificar a contribuição das principais fontes de poluentes presentes em Belo Horizonte e na RMBH, foi aplicada a técnica estatística de análise multivariada. O método utilizado foi a Análise Fatorial usando o Método das Componentes Principais (MINGOTI, 2005). As variáveis consideradas foram as concentrações dos elementos determinados no  $MP_{10}$  amostrado.

O número de variáveis (elementos químicos) determinadas foi maior do que o número de amostras. Assim, de acordo com Mingoti, 2005, quando necessário foi feita a redução do número de variáveis. Isso foi feito baseando-se na frequência dos elementos químicos ocorrido na amostra, ou seja, aqueles elementos que ocorreram nas amostras em menor concentração foram excluídos da análise, dependendo da situação.

Foi utilizado o programa Minitab, Versão 17.1.0.0, executando a rotação VARIMAX para melhor interpretação dos dados, que forneceu os fatores – explicam

o percentual da variabilidade dos dados e mostram quais variáveis contribuem positivamente e negativamente nessa variabilidade, realçados em negrito e itálico – e a comunalidade, que indica a contribuição total da variável nos fatores. A contribuição negativa significa que contribui de forma oposta aos que contribuem positivamente. Quanto mais próximo de 1, maior a contribuição.

Para aplicar o método, as variáveis foram analisadas em quatro grupos: Grupo 1, os dados obtidos em Belo Horizonte, na UFMG, BH1; Grupo 2, Belo Horizonte, no CDTN, BH2; Grupo 3, os dados de Belo Horizonte, BH1 a BH5, e Grupo 4, Belo Horizonte e região metropolitana, BH1 a BH5 mais B, C e M.

#### 6.5.1. Grupo 1 – Belo Horizonte, UFMG, BH1

Para a realização da análise de componentes principais com os dados da UFMG, BH1, foram utilizadas dezessete variáveis (Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Fe, Hf, K, La, Na, Sb, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Zn) relativas aos dados, que foram as dezoito amostras.

O programa reduziu as variáveis originais, fornecendo três fatores, conforme a Figura 36, os autovalores e variâncias associadas às componentes elementares do material particulado presente nas amostras da UFMG. Os resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX do material particulado presente nas amostras da UFMG, os fatores e a comunalidade, estão na Tabela 13 e a Tabela 14 mostra os autovalores e as variâncias obtidos.

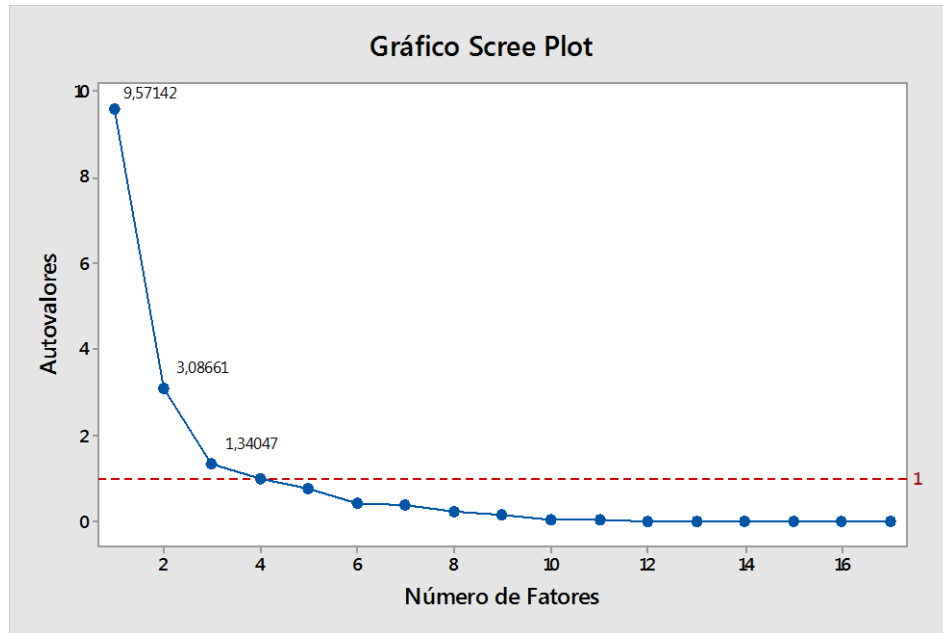


Figura 36: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras da UFMG, BH1  
Fonte: Autor (2015).

Tabela 13: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras da UFMG, BH1

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
Ba	<b>0,958</b>	0,106	0,037	0,930
Ca	<b>0,864</b>	0,192	-0,259	0,850
Ce	0,195	<b>0,961</b>	-0,063	0,966
Co	<b>0,865</b>	0,026	0,360	0,878
Cr	0,686	<b>0,710</b>	0,074	0,979
Fe	<b>0,863</b>	0,294	0,134	0,849
Hf	<b>0,700</b>	0,484	0,258	0,791
K	0,108	0,072	<b>0,606</b>	0,384
La	0,216	<b>0,954</b>	0,021	0,956
Na	<b>0,938</b>	0,180	-0,084	0,920
Sb	<b>0,606</b>	0,508	0,387	0,775
Sc	<b>0,879</b>	0,348	0,183	0,927
Sm	-0,055	0,580	0,381	0,485
Sr	0,433	<b>0,679</b>	-0,146	0,670
Ta	0,031	0,561	<b>-0,656</b>	0,746
Tb	0,181	<b>0,968</b>	-0,040	0,971
Zn	<b>0,958</b>	0,041	-0,009	0,920

Fonte: Autor (2015).

Tabela 14: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras da UFMG, BH1

<b>Fator</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Variância (%)</b>	<b>Variância Acumulada (%)</b>
F1	9,5714	56,3	56,3
F2	3,0866	18,2	74,5
F3	1,3405	7,9	82,4

Fonte: Autor (2015).

Verifica-se que a variância total explicada é de 82,4% da variabilidade dos dados. O fator F1 explica 56,3% da variância total, onde Ba, Ca, Co, Fe, Hf, Na, Sb, Sc, Zn, contribuem positivamente.

Os fatores F2 e F3 explicam, respectivamente, 18,2% e 7,9% da variação total. No Fator 2, Ce, Cr, La, Sr e Tb contribuem positivamente. No F3, K contribui mais positivamente e Ta, negativamente.

#### 6.5.2. Grupo 2 – Belo Horizonte, CDTN, BH2

Para a realização da análise de componentes principais com os dados do CDTN, BH2, foram utilizadas dezesseis variáveis (Ba, Br, Ca, Ce, Cr, Co, Fe, Hf, La, Na, Sb, Sc, Th, Tb, Zn) relativas aos dados, que foram dezessete amostras.

O programa reduziu as variáveis originais, fornecendo três fatores, conforme a Figura 37, os autovalores e variâncias associadas às componentes elementares do material particulado presente nas amostras do CDTN. Os resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX do material particulado presente nas amostras do CDTN, os fatores e a comunalidade, estão na Tabela 15 e a Tabela 16 mostra os autovalores e as variâncias obtidos.

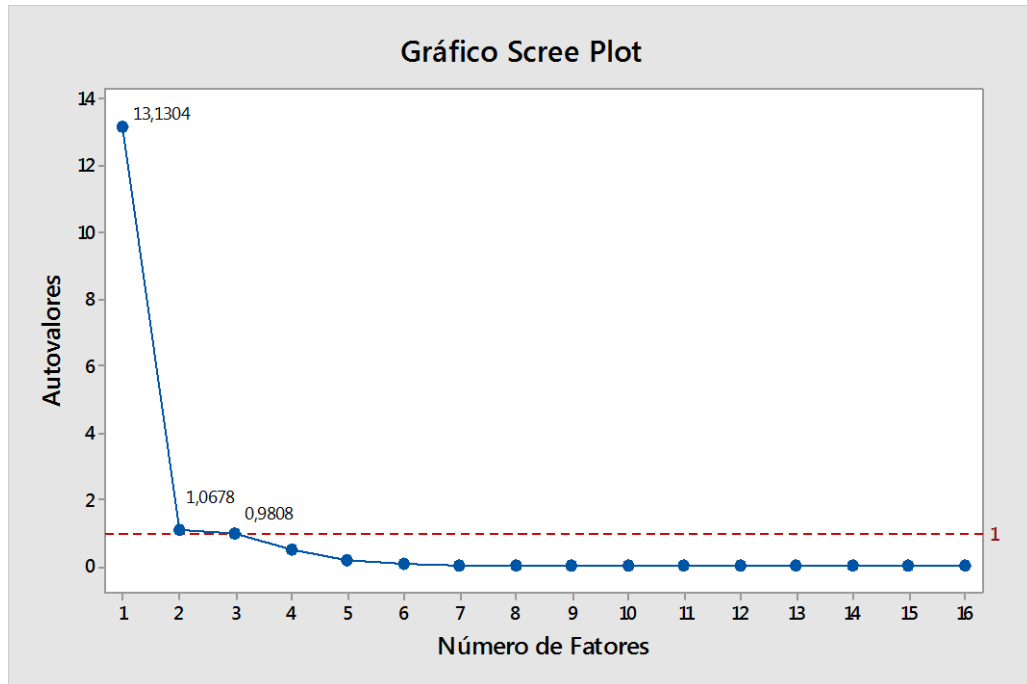


Figura 37: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras do CDTN, BH2  
Fonte: Autor (2015)

Tabela 15: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras do CDTN, BH2

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
Ba	<b>0,820</b>	0,558	-0,005	0,984
Br	<b>0,939</b>	0,184	-0,097	0,925
Ca	<b>0,769</b>	0,620	0,001	0,976
Ce	0,357	<b>0,920</b>	-0,073	0,979
Co	<b>0,847</b>	0,480	-0,019	0,949
Cr	0,685	<b>0,722</b>	-0,024	0,991
Fe	<b>0,825</b>	0,532	-0,022	0,964
Hf	0,530	<b>0,754</b>	-0,046	0,852
K	<b>0,801</b>	0,564	-0,025	0,960
La	0,393	<b>0,907</b>	-0,058	0,980
Na	<b>0,780</b>	0,403	-0,026	0,771
Sb	0,598	<b>0,769</b>	0,026	0,950
Sc	<b>0,833</b>	0,497	-0,054	0,944
Tb	-0,042	-0,064	<b>0,996</b>	0,998
Th	0,412	<b>0,896</b>	-0,072	0,978
Zn	<b>0,820</b>	0,552	-0,003	0,978

Fonte: Autor (2015).

Tabela 16: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras do CDTN, BH2

<b>Fator</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Variância (%)</b>	<b>Variância Acumulada (%)</b>
F1	13,130	82,1	82,1
F2	1,068	6,7	88,8
F3	0,981	6,1	94,9

Fonte: Autor (2015).

Verifica-se que a variância total explicada é de 94,9% da variabilidade dos dados. O fator F1 explica 82,1% da variância total, onde Ba, Br, Ca, Co, Fe, K, Na, Sc, Zn, contribuem positivamente.

Os fatores F2 e F3 explicam, respectivamente, 6,7% e 6,1% da variação total. No Fator 2, Ce, Cr, Hf, La, Sb, Th contribuem positivamente. No F3, Tb contribui mais positivamente.

### 6.5.3. Discussão sobre Grupo 1, UFMG, BH1, e Grupo 2, CDTN, BH2 – Belo Horizonte

Nos resultados das amostras da UFMG, verificou-se que o fator F1 explicou 56,3% da variância total, a maioria da variabilidade, onde Ba, Ca, Co, Fe, Hf, Na, Sb, Sc, Zn, contribuem positivamente.

Já nos resultados das amostras do CDTN, o fator F1 explicou 82,1% da variância total, onde Ba, Br, Ca, Co, Fe, K, Na, Sc, Zn, contribuem positivamente.

Observa-se que os elementos comuns aos dois locais amostrados, são Ba, Ca, Co, Fe, Na, Sc, Zn, enquanto que o Br, Hf, K foram encontrados no CDTN e Sb, na UFMG, apesar de ambos locais estarem na mesma região e a uma distância de cerca de 2km entre eles.

Os resultados em relação ao F1 sugerem que:

- Ba, Ca, Co, Fe, Na, Sc, Zn, elementos em comum, indicam a influência de mineradoras (Fe), solo, cimento (Ba, Fe, Sc, Na, Ca), desgaste de freio (Co, Zn), asfalto (Na), etc. em ambos locais (SPECIATE, 2015);

- a presença de Br (produto da queima de combustível, de óleo, de gasolina, de diesel, motores veiculares), Hf (proveniente de solo e emissão de diesel) e K (solo, queima de combustível, óleo, indústria de cimento) indicam maior influência veicular e de solo no CDTN (SPECIATE, 2015);

- a presença de Sb na portaria da UFMG, reforça a influência veicular (queima de óleo, combustível – diesel, gasolina, exaustão de motor veicular) (SPECIATE, 2015).

Quando se consideram os fatores F2 e F3, verifica-se a presença de Ce, Cr, La, Sr, Tb, K e Ta, nas amostras da UFMG, e de Ce, Cr, Hf, La, Sb, Th e Tb, nas do CDTN. Isso significa que:

- a presença de Ce, La, Tb, K sugere a influência menor de solo na portaria da UFMG, e reforça, em menor extensão, a influência de queima de combustível veicular (Ta) (SPECIATE, 2015),

- a presença de Ce, La, Th e Tb reforça a influência de solo no CDTN e indica a influência de emissões veiculares em menor extensão (Sb, Hf) assim como emissão industrial (Cr) (SPECIATE, 2015).

Em suma, na portaria da UFMG, verificou-se a influência de emissões veiculares com mais intensidade do que no CDTN e menor influência do solo e emissões industriais. Por outro lado, no CDTN, verificou-se maior influência do solo, sendo menor a veicular e industrial.

A Figura 38 mostra os locais de amostragem no CDTN e na Portaria Principal da UFMG. Observa-se a distância pequena entre os locais de amostragem da UFMG e CDTN. A Estação Meteorológica (EM) do CDTN também está em destaque. Em azul, estão os raios de distância da EM, onde o menor corresponde a uma distância de 1 km e o maior, a 5 km. Realçado em amarelo, está o aeroporto da Pampulha. O traçado em vermelho é o Campus da UFMG e o laranja, é o perímetro do CDTN. O indicativo da localização da Estação Meteorológica está no centro da rosa dos ventos. A maioria dos ventos é proveniente da direção leste, na parte inferior da figura, onde se vê o Anel Rodoviário.



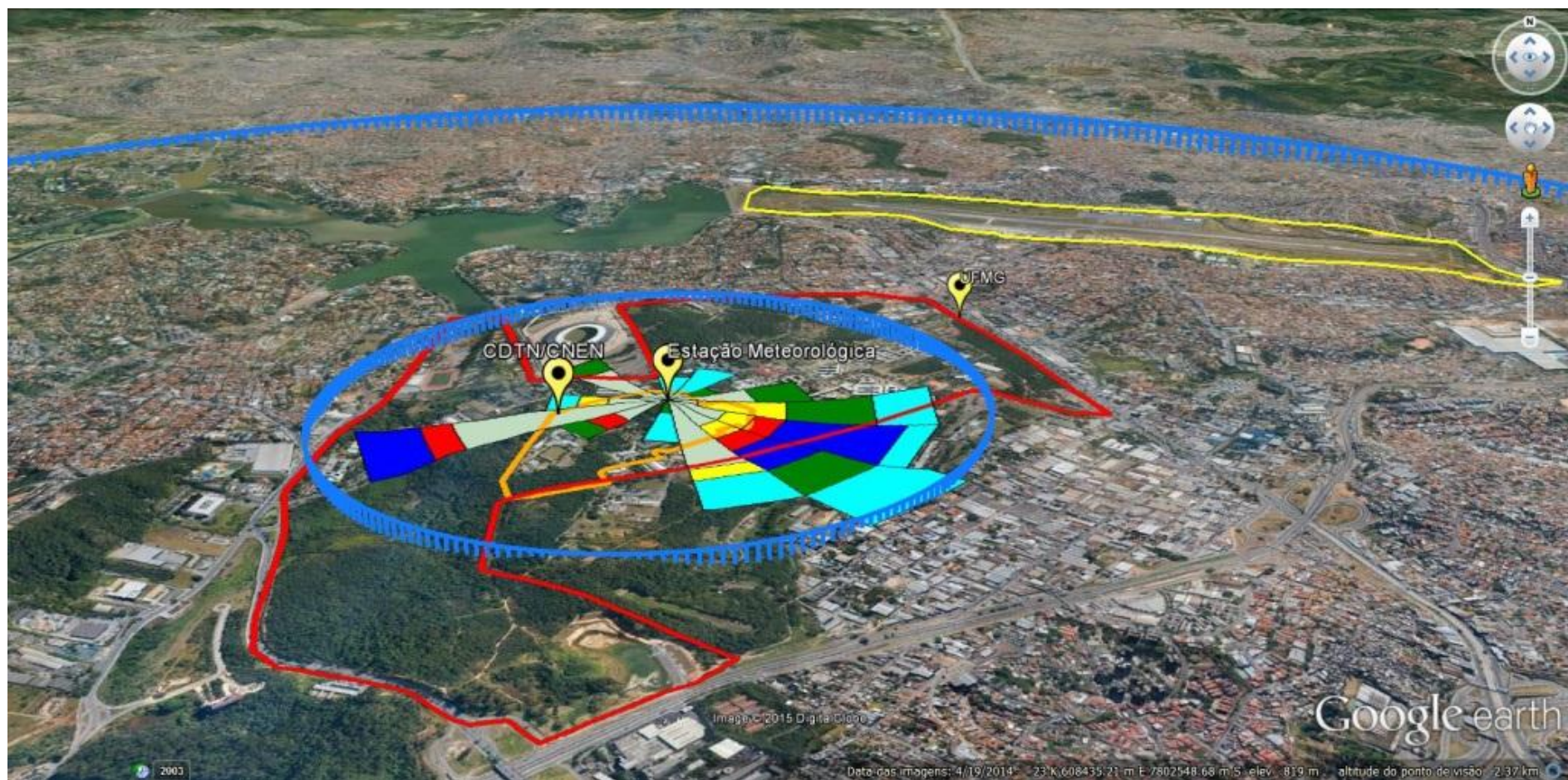


Figura 38: Vista geral do Campus da UFMG, CDTN e o entorno  
Fonte: Autor (2015).

#### 6.5.4. Grupo 3, de BH1 a BH5 – Belo Horizonte

Neste Grupo 3, foram agrupados todos os resultados das amostras coletadas em Belo Horizonte. Para a aplicação da análise de componentes principais aos resultados das amostras, foram utilizadas trinta variáveis (As, Au, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, W, Yb, Zn, Zr) e relativas a quarenta e cinco amostras.

O programa reduziu as variáveis originais, fornecendo cinco fatores, conforme a Figura 39, os autovalores e variâncias associadas às componentes elementares do material particulado presente nas amostras do CDTN. Os resultados da análise de componentes principais, os fatores e a comunalidade, estão na Tabela 17 e na Tabela 18 mostra os autovalores e as variâncias obtidos.

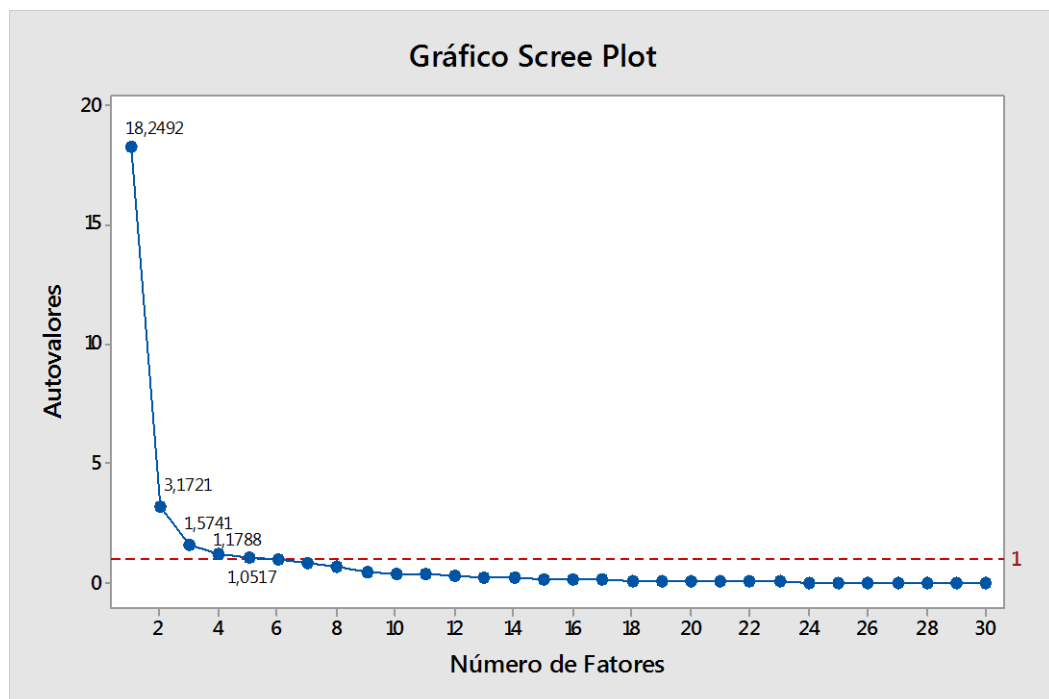


Figura 39: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras de Belo Horizonte, BH1 a BH5

Fonte: Autor (2015).

Tabela 17: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras de Belo Horizonte, BH1 a BH5

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Comunalidade
As	-0,077	<b>-0,842</b>	0,042	-0,205	0,250	0,821
Au	<b>0,724</b>	-0,306	-0,219	-0,397	0,035	0,825
Ba	<b>0,641</b>	<b>-0,738</b>	-0,034	-0,033	0,124	0,974
Br	0,373	<b>-0,854</b>	0,085	0,069	-0,109	0,892
Ca	<b>0,688</b>	<b>-0,656</b>	-0,073	0,001	0,136	0,928
Ce	<b>0,930</b>	-0,131	0,161	0,151	-0,133	0,949
Co	0,474	<b>-0,685</b>	-0,133	0,046	0,045	0,716
Cr	<b>0,818</b>	-0,552	-0,019	0,015	0,011	0,975
Cs	-0,252	<b>-0,708</b>	0,336	-0,021	-0,280	0,757
Eu	<b>0,778</b>	-0,398	-0,248	-0,145	0,145	0,868
Fe	<b>0,653</b>	<b>-0,712</b>	-0,055	0,020	-0,003	0,938
Hf	<b>0,799</b>	-0,390	0,095	-0,037	0,163	0,827
K	0,560	<b>-0,613</b>	-0,039	-0,098	0,153	0,724
La	<b>0,940</b>	-0,169	0,122	0,107	-0,117	0,953
Na	0,552	<b>-0,663</b>	-0,100	-0,020	0,173	0,785
Nd	<b>0,898</b>	-0,170	-0,123	-0,019	-0,009	0,851
Rb	<b>0,705</b>	-0,563	0,132	0,166	-0,051	0,862
Sb	<b>0,848</b>	-0,441	-0,144	-0,090	0,080	0,949
Sc	<b>0,618</b>	<b>-0,744</b>	0,027	0,063	-0,036	0,942
Se	-0,141	-0,130	0,007	0,151	<b>0,815</b>	0,724
Sm	<b>0,663</b>	-0,297	-0,126	-0,083	0,172	0,581
Sr	<b>0,824</b>	-0,324	0,184	0,100	0,016	0,829
Ta	<b>0,820</b>	-0,300	-0,090	0,005	0,027	0,770
Tb	-0,100	-0,045	<b>-0,623</b>	0,377	-0,319	0,644
Th	<b>0,924</b>	-0,175	0,150	0,167	-0,147	0,956
U	<b>0,904</b>	-0,120	0,019	0,083	-0,094	0,848
W	-0,190	-0,064	-0,025	<b>-0,864</b>	-0,178	0,818
Yb	<b>0,946</b>	-0,053	0,161	0,153	-0,124	0,963
Zn	<b>0,624</b>	<b>-0,746</b>	-0,035	-0,039	0,136	0,968
Zr	0,051	-0,071	<b>0,736</b>	0,162	-0,111	0,588

Fonte: Autor (2015).

Tabela 18: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras de Belo Horizonte, BH1 a BH5

<b>Fatores</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Variância (%)</b>	<b>Variância Acumulada (%)</b>
F1	18,249	60,8%	60,8%
F2	3,172	10,6%	71,4%
F3	1,574	5,2%	76,7%
F4	1,179	3,9%	80,6%
F5	1,052	3,5%	84,1%

Fonte: Autor (2015).

Verifica-se que a variância total explicada é de 84,1% da variabilidade dos dados. O fator F1 explica 60,8% da variância total, onde Au, Ba, Ca, Ce, Cr, Eu, Fe, Hf, La, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, Yb, Zn, contribuem positivamente.

O fator F2 explica 10,6% da variação total. No fator, os elementos As, Ba, Br, Ca, Co, Cs, Fe, K, Na, Sc, Zn, contribuem negativamente.

O fator F3, por sua vez, explica 5,2% da variação total. Neste fator, os elementos Tb e Zr, contribuem negativamente e positivamente, respectivamente.

Os fatores F4 e F5, explicam 3,9% e 3,5%, respectivamente, da variação total. No F4, o elemento W contribui negativamente, e no F5, o Se contribui positivamente.

#### 6.5.5. Grupo 4, BH1 a BH5 e B, C e M – Belo Horizonte e RMBH

No Grupo 4 foram agrupados todos os resultados das amostras coletadas em Belo Horizonte – BH1 a BH5 - e na RMBH – B, C e M. Foram utilizadas trinta e uma variáveis (Ag, As, Au, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, W, Yb, Zn, Zr) relativas a cinquenta e duas amostras, para a aplicação da análise de componentes principais.

O programa reduziu as variáveis originais, fornecendo seis fatores, conforme a Figura 40, os autovalores e variâncias associadas às componentes elementares do material particulado presente nas amostras de Belo Horizonte e da RMBH. Os resultados da análise de componentes principais, os fatores e a comunalidade estão na Tabela 19 e a Tabela 20 mostra os autovalores e as variâncias obtidos.

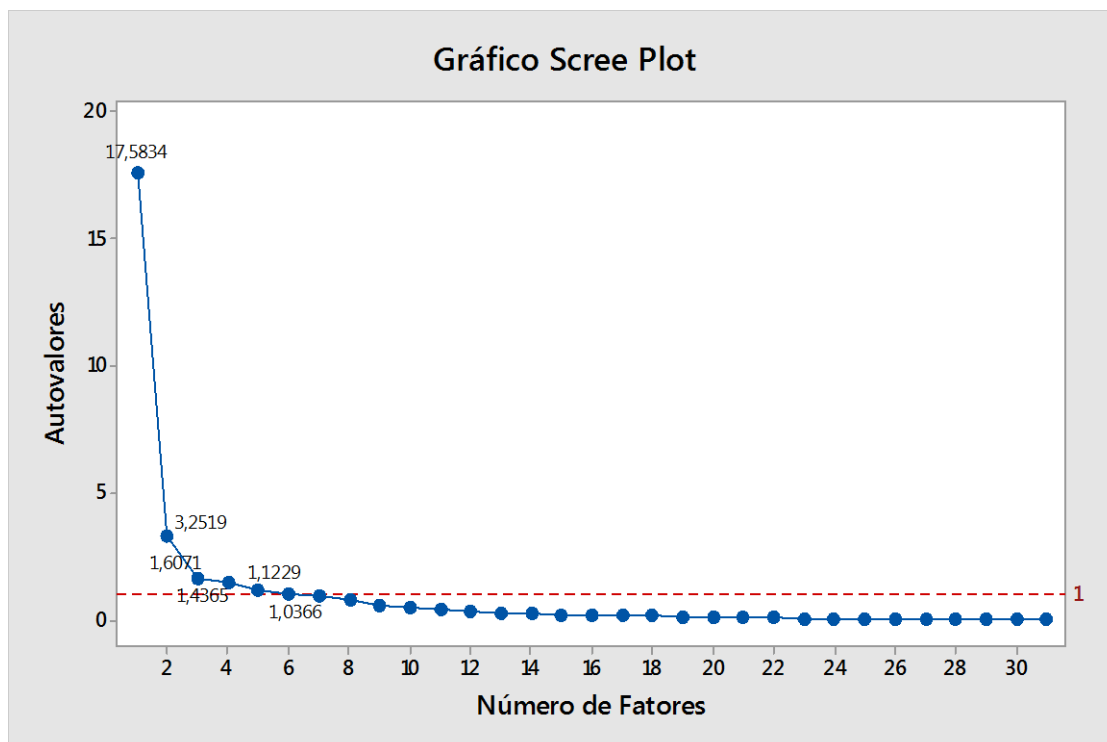


Figura 40: Gráfico Scree Plot dos valores das amostras de Belo Horizonte e da RMBH, BH1 a BH5 e B, C e M  
Fonte: Autor (2015).

Tabela 19: Resultados da análise de componentes principais após rotação VARIMAX, amostras de Belo Horizonte e da RMBH, BH1 a BH5 e B, C e M

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Comunalidade
Ag	0,147	-0,137	-0,037	<b>-0,856</b>	-0,082	-0,020	0,782
As	<b>0,772</b>	-0,239	0,167	0,233	0,143	-0,192	0,792
Au	0,482	<b>0,609</b>	-0,280	0,012	0,380	-0,031	0,828
Ba	<b>0,892</b>	0,392	0,039	-0,167	-0,012	-0,038	0,980
Br	<b>0,774</b>	0,315	0,199	0,251	0,004	0,095	0,810
Ca	<b>0,841</b>	0,425	0,004	-0,172	-0,053	-0,036	0,922
Ce	0,255	<b>0,931</b>	0,122	0,055	-0,091	0,006	0,958
Co	<b>0,770</b>	0,324	-0,055	0,028	-0,061	0,081	0,713
Cr	<b>0,707</b>	<b>0,608</b>	-0,022	-0,058	-0,032	0,030	0,876
Cs	0,501	-0,237	0,592	0,320	0,111	0,049	0,775
Eu	<b>0,604</b>	<b>0,623</b>	-0,280	-0,062	0,124	-0,003	0,851
Fe	<b>0,816</b>	0,504	0,039	0,065	-0,009	0,058	0,929
Hf	0,586	<b>0,656</b>	0,014	-0,189	-0,016	-0,153	0,833
K	<b>0,765</b>	0,349	-0,030	-0,112	0,037	-0,089	0,730
La	0,302	<b>0,928</b>	0,075	0,052	-0,057	0,006	0,965
Na	<b>0,823</b>	0,335	-0,034	-0,143	-0,031	-0,036	0,814
Nd	0,348	<b>0,841</b>	-0,177	0,029	0,033	0,014	0,862
Rb	<b>0,689</b>	0,544	0,200	-0,171	-0,139	0,038	0,860
Sb	<b>0,617</b>	<b>0,726</b>	-0,181	0,027	0,082	-0,002	0,948
Sc	<b>0,828</b>	0,475	0,137	0,030	-0,043	0,042	0,934
Se	0,192	-0,205	-0,327	0,305	-0,436	-0,598	0,826
Sm	0,478	0,548	-0,182	-0,065	0,051	-0,060	0,572
Sr	0,449	<b>0,719</b>	0,138	-0,315	-0,083	-0,042	0,846
Ta	0,466	<b>0,665</b>	-0,065	-0,211	-0,014	0,014	0,708
Tb	0,034	-0,093	-0,261	0,115	-0,207	<b>0,755</b>	0,704
Th	0,280	<b>0,925</b>	0,127	0,092	-0,094	0,031	0,969
U	0,262	<b>0,891</b>	-0,031	0,059	-0,043	0,022	0,870
W	0,000	-0,186	-0,070	0,118	<b>0,861</b>	-0,104	0,806
Yb	0,178	<b>0,960</b>	0,092	0,046	-0,094	0,004	0,973
Zn	<b>0,898</b>	0,370	0,037	-0,170	-0,011	-0,044	0,975
Zr	0,033	0,089	<b>0,770</b>	-0,032	-0,085	-0,136	0,629

Fonte: Autor (2015).

Tabela 20: Autovalores e variâncias do material particulado presente nas amostras de Belo Horizonte e da RMBH, BH1 a BH5 e B, C e M

<b>Fatores</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Variância (%)</b>	<b>Variância Acumulada (%)</b>
F1	17,583	56,7%	56,7%
F2	3,252	10,5%	67,2%
F3	1,607	5,2%	72,4%
F4	1,437	4,6%	77,0%
F5	1,123	3,6%	80,7%
F6	1,037	3,3%	84,0%

Fonte: Autor (2015).

Verifica-se que a variância total explicada é de 84,0% da variabilidade dos dados. O fator F1 explica 56,7% da variância total, onde As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Eu, Fe, K, Na, Rb, Sb, Sc, Zn, contribuem positivamente.

É interessante observar que os elementos As, Br, Co, K, Na, passaram a fazer parte do F1 ao se agruparem todos os resultados das amostras, tanto de BH como de RMBH, o que não havia acontecido nos resultados de F1 de BH. Mesmo com menor número de amostras coletadas na RMBH, esse resultado sugere a contribuição importante de mineradoras (As); produtos da queima de combustível, de óleo, de gasolina, de diesel, motores veiculares por ser uma região mais industrializada; desgaste de freio e emissões industriais por ser uma região próxima a rodovias com grande fluxo veicular não só de automóveis mas também de caminhões e asfalto (Br, Co e Na). Presença de solo, queima de combustível, óleo, indústria de cimento (K) (SPECIATE, 2015).

Os outros elementos de F1 indicam e confirmam a influência de mineradoras (Fe), solo, cimento (Ba, Ca, Eu, Fe, Rb, Sc), desgaste de freio (Zn), influência veicular, queima de óleo, combustível – diesel, gasolina, exaustão de motor veicular (Sb), emissões industriais (Cr), etc. em ambos locais (SPECIATE, 2015).

O fator F2 explica respectivamente, 10,5% da variação total, em que Au, Ce, Cr, Eu, Hf, La, Nd, Sb, Sr, Ta, Th, U, Yb, contribuem positivamente. Observa-se a influência de mineradoras (Au), do solo (Ce, La, Nd, Sm, Tb, Th, U, Yb), de emissões veiculares, queima de combustível veicular, (Hf, Ta) (SPECIATE, 2015).

O fator F3 explica 5,2% da variação total, sendo que apenas o Zr contribui e de forma positiva. Os fatores F4, F5 e F6, explicam, 4,6%, 3,6% e 3,3% da variação total, sendo a Ag, W e Tb, os elementos que contribuem no F4, F5 e F6, respectivamente. Desses elementos, apenas a Ag contribui negativamente. Os resultados sugerem e confirmam a influência de asfalto (Zr), queima de óleo, indústria cimenteira (Ag), queima de carvão, emissão de diesel (W) e de solo (Tb) (SPECIATE, 2015).



## 7. CONCLUSÕES

Neste estudo, foram realizadas amostragens semiautomáticas de  $MP_{10}$ , com AGV, em locais que refletissem a qualidade do ar em termos de material particulado. Estes locais foram divididos em duas áreas, uma sendo a cidade de Belo Horizonte e outra o entorno da cidade.

Em BH, a escolha foi a Portaria Principal da UFMG, devido à proximidade de avenida de elevado fluxo veicular; o CDTN, que se localiza no Campus da UFMG, ao lado da Estação Ecológica da universidade e é cercado de vias de acesso; o CEFET-MG, que se situa em avenida de elevado fluxo veicular; a Escola Municipal Edgar da Mata Machado, próxima de vias de acesso e indústrias e, por fim, uma garagem de transporte urbano, onde há movimento constante de ônibus e é também próxima de vias de acesso e de indústrias.

Na RMBH, os locais selecionados foram a Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro, em Contagem, e Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa em Matozinhos, ambas próximas a importantes vias de acesso e a indústrias. Por fim, como um local de referência por ser, aparentemente, menos poluído, foi selecionado o Condomínio Retiro do Chalé, Brumadinho, local afastado de vias de acesso, em meio a matas de preservação.

Ao se comparar os resultados das concentrações de  $MP_{10}$  nas amostras coletadas, com os índices anuais da qualidade do ar estipulados pelo CONAMA, verificou-se que 42,2% das amostras de Belo Horizonte ultrapassaram os limites previstos. Em Contagem, 66,7% das amostras, e em Matozinhos, 100% das amostras também apresentaram valores acima daqueles previstos pelo órgão ambiental. Os resultados de Brumadinho estavam dentro dos valores permitidos.

Em comparação com as duas regiões estudadas, o valor de  $MP_{10}$  em BH apresentou maior valor de concentração no período amostrado. Isso significa que a cidade está com maior quantidade de  $MP_{10}$ , do que a RMBH que, de acordo com a classificação do CONAMA, indica qualidade de ar regular.

A composição elementar dos particulados nos filtros de ar foi determinada pela técnica nuclear de ativação neutrônica, método  $k_0$ -padronizado. A avaliação da qualidade do método analítico foi realizada aplicando o teste “ $E_n$ -number” recomendado pela ISO 13528:2005. Foi analisada a amostra de referência certificada BCR 176, “City Incineration Ash”, preparada com geometria idêntica à

amostra. Os resultados mostraram o excelente desempenho do método, que foi aplicado de forma inédita, pois as amostras foram analisadas de forma cilíndrica, o que não é usual em ativação neutrônica.

No período em que foram realizadas as amostragens na UFMG e CDTN de 24 horas, em diversos dias em todas as estações do ano, foram realizadas as medidas dos dados meteorológicos pela Estação Meteorológica do CDTN. Os resultados indicaram que a direção do vento predominante durante todo o ano, foi a direção leste. Isso sugere que havendo pouca variabilidade das condições climáticas nos dias de coletas, não foi, aparentemente, muito significativo o fato de as amostragens terem sido realizadas em estações diferentes no ano.

Quanto a composição química do  $MP_{10}$ , os valores mínimos e máximos de concentração elementar foram determinados. Observou-se que em BH, o CDTN apresentou os maiores percentuais tanto dos maiores valores de concentração elementar, 86,7%, como dos menores valores, 64,49%. Na RMBH, o Condomínio Retiro do Chalé apresentou o percentual de 68,9% para os menores valores e a Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa em Matozinhos, 66,7% para os maiores resultados.

Para verificar as possíveis fontes de poluentes presentes em Belo Horizonte e na RMBH e suas contribuições na presença de material particulado, foi aplicada a técnica estatística de análise multivariada, utilizando a análise fatorial e o método das componentes principais. As variáveis consideradas foram as concentrações dos elementos determinados no material particulado amostrado. Os dados foram agrupados em Grupo 1, Portaria Principal da UFMG, Grupo 2, CDTN, todas as amostras coletadas em Belo Horizonte, Grupo 3, e todos os resultados de todas as amostras de BH e RMBH, Grupo 4.

Avaliando os resultados obtidos do Grupo 1, Portaria Principal da UFMG, verificou-se a influência de emissões veiculares com mais intensidade do que no CDTN, Grupo 2, e menor influência do solo e emissões industriais. Por outro lado, no CDTN, verificou-se maior influência do solo, sendo menor a veicular e industrial. Observa-se que apenas 2 km é a distância entre um local e outro, mas os resultados sugerem impacto maior das fontes emissoras do entorno das estações de coleta.

Ao se agruparem todos os resultados das amostras, tanto de BH como da RMBH, Grupo 4, foi verificada a contribuição de elementos que não tinham se

sobressaído nos resultados do Grupo 3, Belo Horizonte. Assim, é interessante observar que o menor número de amostras coletadas na RMBH contribuiu de forma significativa para o conjunto de elementos químicos, consequentemente indicadores de fontes de emissões poluidoras. Esse resultado sugere a contribuição importante de mineradoras (As); produtos da queima de combustível, de óleo, de gasolina, de diesel, motores veiculares por ser uma região mais industrializada; desgaste de freio e emissões industriais por ser uma região próxima a rodovias com grande fluxo veicular não só de automóveis, mas também de caminhões e asfalto (Br, Co e Na). Presença de solo, queima de combustível, óleo, indústria de cimento (K).

Em suma, os resultados deste estudo sugerem a influência significativa das fontes emissoras da RMBH e na cidade de Belo Horizonte. Mesmo o Condomínio Retiro do Chalé, Brumadinho, área considerada de melhor qualidade do ar, está sob influência das atividades minerárias. Os valores de  $MP_{10}$  confirmam a atuação das principais fontes emissoras como a veicular e industrial, com destaque para a atividade mineradora na qualidade do ar.

A técnica de ativação neutrônica foi eficiente na determinação da composição elementar do material particulado, mas sugere-se que outras técnicas analíticas sejam aplicadas para a determinação de elementos cuja análise não é tecnicamente adequada por ativação. É o caso de Ni, Cd, Hg e Pb. Outras técnicas analíticas também poderão indicar a composição química do material particulado, o que auxiliará a definir, com mais exatidão, as fontes emissoras.

Sugere-se, como trabalhos futuros, a ampliação do número de amostragens, principalmente na RMBH, de preferência nas mesmas estações do ano e amostragens simultâneas em diversos locais.

Outra sugestão é realizar simulações de efeitos meteorológicos na dispersão dos poluentes atmosféricos.

Este estudo, que foi uma avaliação preliminar de  $MP_{10}$ , é parte do projeto de pesquisa “Caracterização do material particulado atmosférico da Região Metropolitana de Belo Horizonte”, aprovado no Edital Universal 01/2013 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e coordenado por Alberto Avellar Barreto. O projeto tem como objetivo, a caracterização do material particulado da Região Metropolitana de Belo Horizonte, identificando as fontes poluidoras.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. S. **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. 1. Ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ALFASSI, Z. B. **Activation Analysis**, Florida. CRC Press Inc. v. 1 e 2, 1990.

ARAÚJO, G. M. **Segurança na Armazenagem, Manuseio e Transporte de Produtos Perigosos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005.

ARCAL: **Regional Strategic Profile for Latin American and the Caribbean (RSP) 2016-2021**. Viena: International Atomic Energy Agency, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13412. **Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas**, 2005.

BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. New York: W.H. Freeman and Company, 557 p, 1998.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera Tempo e Clima**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BODE, P.; GREENBERG, R. R.; FERNANDES, E. A. N. **Neutron Activation Analysis: A Primary (Ratio) Method to Determine SI-Traceable Values of Element Content in Complex Samples**, *Chimia*, v. 63, p. 678-680, 2009.

BOUÇAS, J. G. **Aplicação de técnicas nucleares nos estudos de avaliação da poluição do ar da Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação(Mestrado em Ciências e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais). Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2009.

BRANQUINHO, F.; FELZENSWALB, I. **Meio Ambiente: experiências em pesquisa multidisciplinar e formação de pesquisadores**. Rio de Janeiro: Ed. Mauad X: FAPERJ, 2007.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F.. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

**Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)**. Disponível em: <[www.cdtm.br](http://www.cdtm.br)>. Acesso em: 2015.

**CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo - 2005**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 2005.

**CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2002**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 2002. 132p. Relatório.

**CETESB** - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2008**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 2008. 298p. Relatório.

**CETESB** - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2010**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 2010. 237p. Relatório.

CONSELHO DE POLÍTICA DE MEIO AMBIENTE (COPAM). **Deliberação Normativa 49 – Dispõe sobre o controle ambiental das indústrias não integradas de produção de ferro gusano Estado de Minas Geras**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

**CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**. Resolução CONAMA No 003/90, Brasília, 1990.

CRAPEZ, M.;MORAES, R.; PFEIFFER, W.; FARINA, M.; BAINY, A.; TEIXEIRA, V. **Efeitos de poluentes em organismos marinhos**. São Paulo: Arte & Ciência Villipress, 2001.

**DWS - Data Weighing Systems**. Disponível em: <<http://www.dataweigh.com/products/sartorius/te-series-analytical-balance/te-214s/>>. Acesso em: 2015.

DE CORTE F., SIMONITS A., WISPELAERE A., DE HOSTE J. **Accuracy and Applicability of the  $k_0$ -Standardization Method**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles, v. 113, p. 145-161, 1987b.

DE CORTE, F.  **$k_0$  and Comparator NAA: Influences and Interactions**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 245, p. 157-161, 2000.

DE CORTE, F. **The  $k_0$ -standardization method: A move to the optimization of NAA**. Thesis. Belgium: University of Gent. 1987a

DE SOETE, D., GIJBELS, R.; HOSTE, J. **Neutron Activation Analysis**. John Wiley and Sons: New York, NY, 1972.

**DSM RESEARCH**. Kayzero/Solcoi, Disponível em: Disponível em: <<http://www.kayzero.com>> Acesso em: 2015.

DUTRA, E. G. **Metodologia Teórico-Experimental para Determinação dos Parâmetros Básicos para Elaboração de Inventários de Emissão de Veículos Leves do Ciclo Otto**. 2007. 166 p. Tese (Doutorado em Calor e Fluidos) Universidade Federal de Minas Gerais – Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, 2007.

ENERGÉTICA . **Manual de operação AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME (AGV) MP<sub>10</sub>**, 2012.

**ENERGÉTICA.** Energética – Qualidade do ar. <http://www.energetica.ind.br/> Acesso em: 2015.

**ESRI.** Disponível em: <<http://www.esri.com/what-is-gis>>. Acesso em: 2 fev. 2015.

FRIEDLANDER, G.; KENNEDY, J. W.; MACIAS, E. S.; MILLER, J. M. **Nuclear and Radiochemistry**, John Wiley & Sons, Inc., 3rd Edition, 704 p., 1981.

FRONDIZI, C. A. **Monitoramento da qualidade do ar: teoria e prática**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos, estudo de dispersão atmosférica e projeto de rede otimizada de monitoramento atmosférico para a Região Metropolitana de Belo Horizonte eixo Belo Horizonte – Contagem – Betim**. Belo Horizonte, 2003.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte no Ano Base de 2011**. Relatório Técnico. Belo Horizonte, 2013.

FURTADO, V.. **Tecnologia e Gestão da Informação em Segurança Pública**. Rio de Janeiro: Garamond. 2002, 268 p.

GERALDO, S. M. **Anéis de crescimento de árvores Tipuana Tipu como biomonitores da poluição ambiental: quantificação pela técnica de fluorescência de raios X por reflexão total com radiação sincrotron. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: área de saneamento e ambiente)**. Universidade Estadual de Campinas, 2011.

GÓES, K. **AutoCAD Map 3D: aplicando o sistema de informações geográficas**. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

**Governo de Minas Gerais (GMG)**. Disponível em: < <https://www.mg.gov.br>>. Acesso em: 2015.

HAIR, Joseph F.;BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.. **Análise Multivariada**. 6. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

**HYPERLAB** - “HyperLab Software”. Disponível em: <[www.hlabs.com](http://www.hlabs.com)>, Acesso: 2015.

**INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA)**. Padrão de Qualidade do ar: Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia. São Paulo, 2012.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)** - Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 2015.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)** - Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Censo, 2010.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (INEA). **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) das obras da interligação da Linha 4 (Etapa 1 – Barra da Tijuca) com a Linha 1 (Estação General Osório) do metrô da cidade do Rio de Janeiro**, 2011.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory**. Vienna IAEA, 1990, p. 7-32 (TECDOC-564).

IRMM, **INSTITUTE FOR REFERENCE MATERIALS AND MEASUREMENTS, European Commission – Joint Research Centre**, Geel, Belgium, BCR 176, City incineration Ash, 1984.

IRMM, **INSTITUTE FOR REFERENCE MATERIALS AND MEASUREMENTS. Certified reference material IRMM-530R**. Certificate of analysis, Gold mass fraction in Al-(0.1%)Au Alloy. Geel, Belgium. 2002

ISO 13528:2005, **Statistical methods for use in proficiency testing by Interlaborator comparisons**, ISO, Geneve, Switzerland.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1999.

JÚNIOR, J. A. C.; LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

KAC, Gilberto; SICHIERI, Rosely; GIGANTE, Denise Petrucci. **Epidemiologia nutricional**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz/Atheneu, 2007.

KAYZERO FOR WINDOWS<sup>®</sup>, **User's Manual for reactor neutron activation analysis (NAA) using the  $k_0$  standardization method**, Ver. 2.42, 2011.

LIESEL, K. H. **Nuclear and Radiochemistry: Fundamentals and Applications**. 2nd Edition, WILEY-VCH, 472p. 2008

LUZ, L. M.; RODRIGUES, J. E. C. **Atlas de áreas verdes da cidade de Belém. Projeto “Estudo e valorização das áreas verdes urbanas na cidade de Belém-PA”. Programa de Apoio a Projetos de Intervenção Metodológica – PAPIM/2011**. Universidade Federal do Pará, 2012.

MACEDO, R. B. **Segurança, saúde, higiene e medicina do trabalho**. Curitiba – PR: IESDE Brasil, 2012.

MENEZES, M. Â. B. C.; JACIMOVIC, R. **Implementation of a methodology to analyse cylindrical 5-g sample by neutron activation technique,  $k_0$  method, at CDTN/CNEN**. Belo Horizonte. Brazil. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. v. 300, p. 523-531, 2014.

MENEZES, M. Â. B. C.; JACIMOVIC, R. **Optimised  $k_0$ -instrumental neutron activation method using the TRIGA MARK I IPR-R1 reactor at CDTN/CNEN, Belo Horizonte, Brazil**. Nuclear Instruments and Methods Physics Research A, v. 564, p. 707-715, 2006.

MENEZES, M. Â. B. C.; SABINO, C. V. S.; FRANCO, M. B.; KASTNER, G. F.; ROSSI, E. H. M..  **$k_0$ -Instrumental Neutron Activation Analysis Establishment at CDTN, Brazil: A successful story**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. v. 257, p. 627-632, 2003.

MENEZES, M. A. B. C.; SABINO, C. V.S.; FRANCO, M.B.; MAIA, E.C.P.; ALBINATI, C. **Assessment of workers contamination caused by air pollution exposure in industry using biomonitors**. Journal of Atmospheric Chemistry, v. 49, p. 403-414, 2004.

MINGOTI, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES**. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/sig.html>>. Acesso em: 17 fev. 2015.

**MINITAB**. Disponível em: <<http://www.minitab.com/pt-BR/>>. Acesso em 2015.

MIRANDA, E. E. **A Ecologia – Coleção 50 Palavras**. São Paulo: Edições Loyola. 1995.

**BRASIL**. Disponível em: Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 2015.

MOZETO, A. A. **Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Edição Especial, 2001

NATIONAL ENVIRONMENT AGENCY (NEA). **Pollutant Standard Index (PSI)**. Disponível em: <<http://www.nea.gov.sg/anti-pollution-radiation-protection/air-pollution-control/psi>>. Acesso em: 2014.

NOGUEIRA, H. **Os Lugares e a Saúde**. Ed. Imprensa da Universidade de Coimbra.

NOGUEIRA, L. A. H.; CAPAZ, R. S. **Ciências ambientais para engenharia**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

OKUDA, T.; FUJIMORI E., HATOYA, K.; TAKADA, H.; KUMATA, H.; NAKAJIMA, F.; HATAKEYAMA, S.; UCHIDA, M.; TANAKA, S.; HE, K.; MA, Y.; HARAGUCHI, H. **Rapid and Simple Determination of Multi-Elements in Aerosol Samples Collected on Quartz Fiber Filters by Using EDXRF Coupled with Fundamental Parameter Quantification Technique**. Aerosol and Air Quality Research, v. 13, p. 1864–1876, 2013.

PEIXOTO, A. M. **Enciclopédia Agrícola Brasileira**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2006.

**Plano Metropolitano: Macro zoneamento RMBH (RMBH)**. Disponível em: <<http://www.rmbh.org.br/>>. Acesso em: 2015.

PMBOK. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (GUIA PMBOK)**. 5ª Edição. 2013.



**Prefeitura de Belo Horizonte (PBH).** Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br/>>. Acesso em: 2015.

QUEIROZ, P. G. M., JACOMINO, V. M. F., MENEZES, M. Â. B. C. **Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas**, Minas Gerais. *Quim. Nova*, v. 30, p. 1233-1239, 2007.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos níveis Basais de concentração de metais nos sedimentos do sistema estuarino da Baixada Santista**. 1. Ed. São Paulo: Biblioteca24horas, 2012.

**RMBH.** Disponível em: <<http://www.rmbh.org.br/>>. Acesso em: 2015.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; CARLOS, V. M. **Meio Ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

RUSSOMANO, T.; CASTRO, J. C. **Fisiologia aeroespacial: conhecimentos essenciais para voar com segurança**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2012.

SALGADO, P. E. T. **Informações gerais e ecotoxicológicas de material particulado**. Salvador. CRA, 2003. Inclui índice. (Série Cadernos de Referência Ambiental, 14).

SANTOS, D. P. **Guia Máximo de Geografia**. Ed. Clube de autores, 2010.

SENA, M. M.; POPPI, R. J.; ROSA T.S.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos**. *Química Nova*, vol.23, n.4. São Paulo, 2000.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics. Second Edition**. Wiley & Sons, Inc. 2006.

SILVA, J. X. **O que é geoprocessamento. Conceito não pode ser confundido com todo o conjunto das geotecnologias, como sensoriamento remoto, a cartográfica e os sistemas de posicionamento global (GPS)**. *Revista do Crea - RJ*. p. 42-44 OUT/NOV, 2009

Sociedade Brasileira da Física (SBF). **Física para o Brasil - Pensando o futuro: O desenvolvimento da física e sua inserção na vida social e econômica do país**. Livraria da Física, 2010.

SOUZA, J. **A expansão Urbana de Belo Horizonte e da Região Metropolitana de Belo Horizonte: O caso específico do município de Ribeirão das Neves**. (Tese de Doutorado). Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas. Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.

**SPECIATE v.4.4.** Disponível em: <<http://www3.epa.gov/ttnchie1/software/speciate/>>. Acesso em: 2015.

TAVARES, Fernando António de Oliveira. **Avaliação imobiliária: Entre a ciência da avaliação e a arte da apreciação**. Editora Vida Econômica, 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). **Air Quality Criteria for particulate matter. Vol. and II. Research Triangle Park, NC, New York, 2004.**

**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA).** Disponível em: < <http://www3.epa.gov/pm/basic.html>>. Acesso em: 2015.

VERRI, Lewton Burity. **Educação Ambiental nas Empresas: Qualidade Ambiental**. Rio de Janeiro, 1996.

VIEIRA, N. R. **Poluição do ar: indicadores ambientais**. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

WERNICK, E. **Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica**. São Paulo: Editora UNESP, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia, 2013.**

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO air quality guidelines global update. Report on a Working Group meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005, 2005.**

ZAMBONI, C. B. **Fundamentos da física de nêutrons**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

## APÊNDICE I - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DO AGV - MP<sub>10</sub>

O procedimento de calibração do AGV para MP<sub>10</sub> foi estabelecido baseando-se no manual do equipamento e adaptado para aplicação de rotina no Serviço de Meio Ambiente do CDTN.

- 1) Montar o kit no amostrador com o copo de medição automática totalmente aberto;
- 2) Zerar os manômetros;
- 3) Certificar-se de que o manômetro do kit de calibração esteja alinhado verticalmente;
- 4) Fechar todas as válvulas dos manômetros;
- 5) Ligar o amostrador;
- 6) Testar estanqueidade;
- 7) Abrir planilha: verificar se os dados de calibração do kit conferem (usar planilha padrão);
- 8) Inserir dados do cabeçalho da planilha (pressão, temperatura);
- 9) Abrir cuidadosamente as válvulas dos manômetros (atenção com a sucção do líquido dos manômetros);
- 10) Realizar a primeira medida com o copo de medição automática na posição totalmente aberta;
- 11) Inserir dados das medidas dos manômetros na planilha;
- 12) Repetir o passo 10 para as posições próximas aos valores de 12, 19, 26 e 33 do manômetro do amostrador;
- 13) Verificar se o coeficiente de regressão (R) está igual ou superior a 0,99;
- 14) Caso o valor R seja menor que 0,99, repetir os pontos com maior erro em relação à reta de regressão;
- 15) Atualizar as medidas finais de temperatura e pressão;

## APÊNDICE II - PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM DO MP<sub>10</sub>

1. Registrar a massa inicial do filtro e registrar a sua massa na planilha;
2. No local da amostragem medir a temperatura, a pressão atmosférica e registrar na planilha;
3. Registrar a medida do horâmetro;
4. Abrir a cabeça do amostrador, colocar o filtro no porta-filtro e fechar a cabeça;
5. Zerar o manômetro abrindo as válvulas e fechar logo em seguida para que a água não seja sugada ao ligar o equipamento;
6. Programar o tempo de amostragem seguindo os passos a seguir:
  - 6.1. Apertar o botão **prog**;
  - 6.2. Selecionar o dia da semana a ser iniciada a amostragem clicando no botão **D**;
  - 6.3. Selecionar hora e minuto a ser iniciada a amostragem clicando em **H** e **M** ;
  - 6.4. Clicar novamente no botão **prog** para programar o fim da amostragem;
  - 6.5. Selecionar o dia da semana a ser finalizada a amostragem clicando no botão **D**;
  - 6.6. Selecionar hora e minuto a ser finalizada a amostragem clicando em **H** e **M** ;
  - 6.7. Clicar no botão para retornar a tela principal;
  - 6.8. Clicar no botão para indicar a posição “automático” e esperar o equipamento ligar;
7. Medir a perda de carga abrindo cuidadosamente as válvulas do manômetro somente para a leitura e registrar as medidas na planilha;
8. Ao fim da amostragem repetir os passos 2 e 3;
9. Ligar o amostrador clicando no botão **manual** para medir a perda de carga no final da amostragem (passo 7);
10. Retirar o filtro e armazená-lo em papel alumínio;
11. Pesar o filtro e registrar sua massa final.

### APÊNDICE III – CONCENTRAÇÃO DE MP<sub>10</sub> NAS AMOSTRAS COLETADAS

Amostra	Local	Data inicial	Data final	Município	Conc. (µg.m <sup>-3</sup> )
1	CDTN	10/4/2014	11/04/2014	Belo Horizonte	48,35
2	CDTN	15/05/2014	16/05/2014	Belo Horizonte	9,39
3	CDTN	29/05/2014	30/05/2014	Belo Horizonte	34,98
4	UFMG	11/06/2014	12/06/2014	Belo Horizonte	40,13
5	UFMG	12/06/2014	13/06/2014	Belo Horizonte	43,33
6	CDTN	25/06/2014	26/06/2014	Belo Horizonte	37,62
7	CDTN	01/07/2014	02/07/2014	Belo Horizonte	84,43
8	CDTN	09/07/2014	10/07/2014	Belo Horizonte	38,58
9	CDTN	16/07/2014	17/07/2014	Belo Horizonte	31,85
10	CDTN	04/08/2014	05/08/2014	Belo Horizonte	83,57
11	UFMG	18/08/2014	19/08/2014	Belo Horizonte	46,09
12	UFMG	19/08/2014	20/08/2014	Belo Horizonte	47,83
13	UFMG	20/08/2014	21/08/2014	Belo Horizonte	55,13
14	UFMG	21/08/2014	22/08/2014	Belo Horizonte	61,37
15	UFMG	22/08/2014	23/08/2014	Belo Horizonte	56,36
16	UFMG	23/08/2014	24/08/2014	Belo Horizonte	37,31
17	UFMG	24/08/2014	25/08/2014	Belo Horizonte	52,28
18	Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado	03/09/2014	04/09/2014	Belo Horizonte	55,98
19	Escola Municipal Professor Edgar da Mata Machado	04/09/2014	05/09/2014	Belo Horizonte	38,61
20	CDTN	11/09/2014	12/09/2014	Belo Horizonte	42,63
21	CEFET-MG	22/09/2014	23/09/2014	Belo Horizonte	52,28
22	CEFET-MG	23/09/2014	24/09/2014	Belo Horizonte	40,81
23	CEFET-MG	24/09/2014	25/09/2014	Belo Horizonte	58,03
24	CEFET-MG	25/09/2014	26/09/2014	Belo Horizonte	64,93
25	Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa	30/09/2014	01/10/2014	Matozinhos	92,3
26	Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa	01/10/2014	02/10/2014	Matozinhos	74,9
27	UFMG	07/10/2014	08/10/2014	Belo Horizonte	56,84
28	UFMG	08/10/2014	09/10/2014	Belo Horizonte	57,88
29	UFMG	09/10/2014	10/10/2014	Belo Horizonte	61,89

<b>Amostra</b>	<b>Local</b>	<b>Data inicial</b>	<b>Data final</b>	<b>Município</b>	<b>Conc. (<math>\mu\text{g.m}^{-3}</math>)</b>
30	CDTN	15/10/2014	16/10/2014	Belo Horizonte	123,9
31	CDTN	16/10/2014	17/10/2014	Belo Horizonte	57,07
32	CDTN	05/11/2014	06/11/2014	Belo Horizonte	42,44
33	CDTN	06/11/2014	07/11/2014	Belo Horizonte	36,44
34	Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro	11/11/2014	12/11/2014	Contagem	47,42
35	Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro	12/11/2014	13/11/2014	Contagem	63,33
36	Escola Estadual Deputado Cláudio Pinheiro	13/11/2014	14/11/2014	Contagem	50,68
37	CDTN	20/11/2014	21/11/2014	Belo Horizonte	56,94
38	UFMG	25/11/2014	26/11/2014	Belo Horizonte	35,43
39	UFMG	26/11/2014	27/11/2014	Belo Horizonte	68,33
40	UFMG	27/11/2014	28/11/2014	Belo Horizonte	54,08
41	Garagem de transporte urbano	15/12/2014	16/12/2014	Belo Horizonte	27,71
42	Garagem de transporte urbano	16/12/2014	17/12/2014	Belo Horizonte	31,28
43	Garagem de transporte urbano	17/12/2014	18/12/2014	Belo Horizonte	59,87
44	CDTN	23/12/2014	24/12/2014	Belo Horizonte	28,85
45	CDTN	21/01/2015	22/01/2015	Belo Horizonte	32,53
46	CDTN	02/02/2015	03/02/2015	Belo Horizonte	35,93
47	UFMG	03/02/2015	04/02/2015	Belo Horizonte	41,01
48	UFMG	04/02/2015	05/02/2015	Belo Horizonte	31,69
49	UFMG	05/02/2015	06/02/2015	Belo Horizonte	28,95
50	Condomínio Retiro do Chalé	09/02/2015	10/02/2015	Brumadinho	8,27
52	Condomínio Retiro do Chalé	11/02/2015	12/02/2015	Brumadinho	14,82
54	UFMG	10/03/2015	11/03/2015	Belo Horizonte	37,96

## APÊNDICE IV- CONCENTRAÇÕES ELEMENTARES NO MP<sub>10</sub> DAS AMOSTRAS

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)	
	CDTN (1)			CDTN (2)	
	Concentração (µg.m <sup>-3</sup> )	Lim. Detecção		Concentração (µg.m <sup>-3</sup> )	Lim. Detecção
Ag		1,91x10 <sup>-5</sup>	Ag		3,37x10 <sup>-6</sup>
As		8,54x10 <sup>-6</sup>	As		1,58x10 <sup>-6</sup>
Au	8,47x10 <sup>-8</sup> ± 1,11x10 <sup>-8</sup>	7,18x10 <sup>-8</sup>	Au		1,10x10 <sup>-8</sup>
Ba	1,69x10 <sup>-1</sup> ± 6,53x10 <sup>-3</sup>	6,04x10 <sup>-4</sup>	Ba	2,46x10 <sup>-2</sup> ± 1,11x10 <sup>-3</sup>	1,09x10 <sup>-4</sup>
Br	1,73x10 <sup>-5</sup> ± 1,52x10 <sup>-6</sup>	1,05x10 <sup>-5</sup>	Br	4,83x10 <sup>-6</sup> ± 6,49x10 <sup>-7</sup>	1,70x10 <sup>-6</sup>
Ca	5,67x10 <sup>-2</sup> ± 9,31x10 <sup>-3</sup>	3,44x10 <sup>-2</sup>	Ca	1,01x10 <sup>-2</sup> ± 1,73x10 <sup>-3</sup>	5,92x10 <sup>-3</sup>
Cd		2,89x10 <sup>-5</sup>	Cd		1,44x10 <sup>-5</sup>
Ce	1,87x10 <sup>-4</sup> ± 7,42x10 <sup>-6</sup>	2,33x10 <sup>-5</sup>	Ce	3,55x10 <sup>-5</sup> ± 1,42x10 <sup>-6</sup>	4,11x10 <sup>-6</sup>
Co		2,09x10 <sup>-6</sup>	Co	3,87x10 <sup>-7</sup> ± 5,83x10 <sup>-8</sup>	3,76x10 <sup>-7</sup>
Cr	2,10x10 <sup>-4</sup> ± 1,55x10 <sup>-5</sup>	4,54x10 <sup>-5</sup>	Cr	3,71x10 <sup>-5</sup> ± 2,45x10 <sup>-6</sup>	7,83x10 <sup>-6</sup>
Cs		2,00x10 <sup>-6</sup>	Cs		5,88x10 <sup>-7</sup>
Eu		6,93x10 <sup>-7</sup>	Eu		1,32x10 <sup>-7</sup>
Fe	8,84x10 <sup>-3</sup> ± 4,70x10 <sup>-4</sup>	1,22x10 <sup>-3</sup>	Fe	3,12x10 <sup>-3</sup> ± 1,33x10 <sup>-4</sup>	2,02x10 <sup>-4</sup>
Hf	9,03x10 <sup>-5</sup> ± 1,82x10 <sup>-5</sup>	3,69x10 <sup>-6</sup>	Hf	1,50x10 <sup>-5</sup> ± 4,70x10 <sup>-6</sup>	6,41x10 <sup>-7</sup>
Hg		1,13x10 <sup>-5</sup>	Hg		2,48x10 <sup>-6</sup>
K	1,11x10 <sup>-1</sup> ± 1,23x10 <sup>-2</sup>	3,35x10 <sup>-2</sup>	K		1,21x10 <sup>-3</sup>
La	8,83x10 <sup>-5</sup> ± 3,48x10 <sup>-6</sup>	1,50x10 <sup>-6</sup>	La	1,19x10 <sup>-5</sup> ± 3,14x10 <sup>-6</sup>	2,47x10 <sup>-7</sup>
Na	3,09x10 <sup>-1</sup> ± 1,17x10 <sup>-2</sup>	1,50x10 <sup>-4</sup>	Na	4,37x10 <sup>-2</sup> ± 2,09x10 <sup>-3</sup>	9,99x10 <sup>-6</sup>
Nd	8,83x10 <sup>-5</sup> ± 8,69x10 <sup>-6</sup>	5,22x10 <sup>-5</sup>	Nd	1,37x10 <sup>-5</sup> ± 1,49x10 <sup>-6</sup>	9,29x10 <sup>-6</sup>
Rb	1,04x10 <sup>-4</sup> ± 1,82x10 <sup>-5</sup>	7,19x10 <sup>-5</sup>	Rb		1,25x10 <sup>-5</sup>
Sb	1,75x10 <sup>-5</sup> ± 1,90x10 <sup>-6</sup>	1,38x10 <sup>-6</sup>	Sb	5,15x10 <sup>-6</sup> ± 3,43x10 <sup>-7</sup>	2,56x10 <sup>-7</sup>
Sc	2,36x10 <sup>-6</sup> ± 1,12x10 <sup>-7</sup>	1,93x10 <sup>-7</sup>	Sc	6,39x10 <sup>-7</sup> ± 2,69x10 <sup>-8</sup>	3,38x10 <sup>-8</sup>
Se		5,80x10 <sup>-6</sup>	Se		6,36x10 <sup>-6</sup>
Sm		3,30x10 <sup>-6</sup>	Sm		8,53x10 <sup>-7</sup>
Sr	8,31x10 <sup>-3</sup> ± 3,36x10 <sup>-3</sup>	1,74x10 <sup>-3</sup>	Sr	9,28x10 <sup>-4</sup> ± 2,01x10 <sup>-3</sup>	3,09x10 <sup>-4</sup>
Ta	9,60x10 <sup>-6</sup> ± 9,97x10 <sup>-7</sup>	1,28x10 <sup>-6</sup>	Ta		2,20x10 <sup>-7</sup>
Tb	4,42x10 <sup>-6</sup> ± 2,52x10 <sup>-7</sup>	1,62x10 <sup>-6</sup>	Tb	7,76x10 <sup>-7</sup> ± 4,35x10 <sup>-8</sup>	2,59x10 <sup>-7</sup>
Th	2,54x10 <sup>-5</sup> ± 1,07x10 <sup>-6</sup>	2,98x10 <sup>-6</sup>	Th	4,93x10 <sup>-6</sup> ± 2,08x10 <sup>-7</sup>	5,24x10 <sup>-7</sup>
U	1,03x10 <sup>-5</sup> ± 1,66x10 <sup>-6</sup>	3,32x10 <sup>-6</sup>	U	1,67x10 <sup>-6</sup> ± 1,81x10 <sup>-7</sup>	7,70x10 <sup>-7</sup>
W		2,33x10 <sup>-5</sup>	W		2,78x10 <sup>-6</sup>
Yb	3,08x10 <sup>-5</sup> ± 1,16x10 <sup>-6</sup>	2,21x10 <sup>-6</sup>	Yb	5,21x10 <sup>-6</sup> ± 2,16x10 <sup>-7</sup>	4,07x10 <sup>-7</sup>
Zn	1,36x10 <sup>-1</sup> ± 6,33x10 <sup>-3</sup>	1,07x10 <sup>-4</sup>	Zn	2,00x10 <sup>-2</sup> ± 7,86x10 <sup>-4</sup>	1,90x10 <sup>-5</sup>
Zr		2,58x10 <sup>-3</sup>	Zr		4,09x10 <sup>-4</sup>

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	CDTN (3)				UFMG (4)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$1,31 \times 10^{-5}$	Ag			$1,06 \times 10^{-5}$
As			$8,74 \times 10^{-6}$	As			$1,07 \times 10^{-5}$
Au			$5,36 \times 10^{-8}$	Au			$4,60 \times 10^{-8}$
Ba	$1,10 \times 10^{-1} \pm 4,31 \times 10^{-3}$		$4,19 \times 10^{-4}$	Ba	$1,30 \times 10^{-1} \pm 5,20 \times 10^{-3}$		$3,79 \times 10^{-4}$
Br	$3,12 \times 10^{-5} \pm 2,06 \times 10^{-6}$		$1,29 \times 10^{-5}$	Br	$2,37 \times 10^{-5} \pm 2,21 \times 10^{-6}$		$1,25 \times 10^{-5}$
Ca	$3,97 \times 10^{-2} \pm 6,76 \times 10^{-3}$		$2,20 \times 10^{-2}$	Ca	$4,84 \times 10^{-2} \pm 7,50 \times 10^{-3}$		$1,80 \times 10^{-2}$
Cd			$3,53 \times 10^{-5}$	Cd			$7,45 \times 10^{-5}$
Ce	$1,30 \times 10^{-4} \pm 7,03 \times 10^{-6}$		$1,60 \times 10^{-5}$	Ce	$1,73 \times 10^{-4} \pm 6,62 \times 10^{-6}$		$1,45 \times 10^{-5}$
Co	$2,22 \times 10^{-6} \pm 2,51 \times 10^{-7}$		$1,32 \times 10^{-6}$	Co	$2,00 \times 10^{-6} \pm 2,04 \times 10^{-7}$		$9,74 \times 10^{-7}$
Cr	$1,43 \times 10^{-4} \pm 8,46 \times 10^{-6}$		$3,07 \times 10^{-5}$	Cr	$1,66 \times 10^{-4} \pm 1,09 \times 10^{-5}$		$2,73 \times 10^{-5}$
Cs			$2,48 \times 10^{-6}$	Cs	$2,73 \times 10^{-6} \pm 3,83 \times 10^{-7}$		$2,43 \times 10^{-6}$
Eu			$4,11 \times 10^{-7}$	Eu			$3,62 \times 10^{-7}$
Fe	$7,20 \times 10^{-3} \pm 3,50 \times 10^{-4}$		$7,56 \times 10^{-4}$	Fe	$1,18 \times 10^{-2} \pm 4,78 \times 10^{-4}$		$5,61 \times 10^{-4}$
Hf	$5,99 \times 10^{-5} \pm 1,01 \times 10^{-5}$		$2,47 \times 10^{-6}$	Hf	$7,26 \times 10^{-5} \pm 1,56 \times 10^{-5}$		$2,21 \times 10^{-6}$
Hg			$9,62 \times 10^{-6}$	Hg			$8,46 \times 10^{-6}$
K	$6,49 \times 10^{-2} \pm 6,69 \times 10^{-3}$		$1,76 \times 10^{-2}$	K	$8,57 \times 10^{-2} \pm 6,70 \times 10^{-3}$		$1,46 \times 10^{-2}$
La	$5,66 \times 10^{-5} \pm 2,36 \times 10^{-6}$		$9,80 \times 10^{-7}$	La	$8,39 \times 10^{-5} \pm 7,21 \times 10^{-6}$		$8,97 \times 10^{-7}$
Na	$1,93 \times 10^{-1} \pm 9,31 \times 10^{-3}$		$9,99 \times 10^{-5}$	Na	$2,29 \times 10^{-1} \pm 9,49 \times 10^{-3}$		$8,58 \times 10^{-5}$
Nd	$5,87 \times 10^{-5} \pm 6,21 \times 10^{-6}$		$3,63 \times 10^{-5}$	Nd	$5,90 \times 10^{-5} \pm 5,38 \times 10^{-6}$		$3,27 \times 10^{-5}$
Rb			$4,83 \times 10^{-5}$	Rb	$6,71 \times 10^{-5} \pm 8,54 \times 10^{-6}$		$4,04 \times 10^{-5}$
Sb	$1,27 \times 10^{-5} \pm 1,57 \times 10^{-6}$		$1,02 \times 10^{-6}$	Sb	$2,35 \times 10^{-5} \pm 1,36 \times 10^{-6}$		$1,05 \times 10^{-6}$
Sc	$1,78 \times 10^{-6} \pm 1,09 \times 10^{-7}$		$1,32 \times 10^{-7}$	Sc	$2,40 \times 10^{-6} \pm 9,99 \times 10^{-8}$		$9,35 \times 10^{-8}$
Se			$2,46 \times 10^{-5}$	Se			$2,15 \times 10^{-5}$
Sm			$4,27 \times 10^{-6}$	Sm			$4,60 \times 10^{-6}$
Sr	$6,34 \times 10^{-3} \pm 1,50 \times 10^{-3}$		$1,19 \times 10^{-3}$	Sr	$5,76 \times 10^{-3} \pm 8,85 \times 10^{-4}$		$1,05 \times 10^{-3}$
Ta			$8,82 \times 10^{-7}$	Ta	$8,45 \times 10^{-7} \pm 1,28 \times 10^{-7}$		$5,63 \times 10^{-7}$
Tb	$2,89 \times 10^{-6} \pm 1,71 \times 10^{-7}$		$9,54 \times 10^{-7}$	Tb	$3,54 \times 10^{-6} \pm 1,67 \times 10^{-7}$		$6,98 \times 10^{-7}$
Th	$1,68 \times 10^{-5} \pm 7,37 \times 10^{-7}$		$2,02 \times 10^{-6}$	Th	$2,09 \times 10^{-5} \pm 8,61 \times 10^{-7}$		$1,80 \times 10^{-6}$
U	$7,18 \times 10^{-6} \pm 7,48 \times 10^{-7}$		$3,09 \times 10^{-6}$	U	$7,52 \times 10^{-6} \pm 9,49 \times 10^{-7}$		$3,22 \times 10^{-6}$
W			$2,33 \times 10^{-5}$	W			$2,18 \times 10^{-5}$
Yb	$2,04 \times 10^{-5} \pm 9,16 \times 10^{-7}$		$1,60 \times 10^{-6}$	Yb	$2,47 \times 10^{-5} \pm 9,20 \times 10^{-7}$		$1,55 \times 10^{-6}$
Zn	$8,58 \times 10^{-2} \pm 3,25 \times 10^{-3}$		$7,40 \times 10^{-5}$	Zn	$1,00 \times 10^{-1} \pm 5,03 \times 10^{-3}$		$5,54 \times 10^{-5}$
Zr			$1,98 \times 10^{-3}$	Zr			$2,08 \times 10^{-3}$



Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)	
	UFMG (5)			CDTN (6)	
	Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$1,71 \times 10^{-5}$	Ag		$1,20 \times 10^{-5}$
As		$1,25 \times 10^{-5}$	As		$6,40 \times 10^{-6}$
Au		$8,68 \times 10^{-8}$	Au		0,00
Ba	$1,24 \times 10^{-1} \pm 4,97 \times 10^{-3}$	$5,87 \times 10^{-4}$	Ba	$1,04 \times 10^{-1} \pm 5,70 \times 10^{-3}$	$3,97 \times 10^{-4}$
Br		$1,75 \times 10^{-5}$	Br	$1,54 \times 10^{-5} \pm 1,88 \times 10^{-6}$	$1,09 \times 10^{-5}$
Ca	$5,39 \times 10^{-2} \pm 9,28 \times 10^{-3}$	$2,97 \times 10^{-2}$	Ca	$2,85 \times 10^{-2} \pm 5,85 \times 10^{-3}$	$1,85 \times 10^{-2}$
Cd		$1,19 \times 10^{-4}$	Cd		$8,28 \times 10^{-5}$
Ce	$1,69 \times 10^{-4} \pm 7,10 \times 10^{-6}$	$2,17 \times 10^{-5}$	Ce	$1,31 \times 10^{-4} \pm 5,27 \times 10^{-6}$	$1,43 \times 10^{-5}$
Co		$1,52 \times 10^{-6}$	Co	$1,50 \times 10^{-6} \pm 3,76 \times 10^{-7}$	$1,13 \times 10^{-6}$
Cr	$1,52 \times 10^{-4} \pm 1,14 \times 10^{-5}$	$4,20 \times 10^{-5}$	Cr	$1,24 \times 10^{-4} \pm 8,28 \times 10^{-6}$	$2,56 \times 10^{-5}$
Cs		$2,88 \times 10^{-6}$	Cs		$1,88 \times 10^{-6}$
Eu		$4,92 \times 10^{-7}$	Eu		$3,76 \times 10^{-7}$
Fe	$8,43 \times 10^{-3} \pm 6,42 \times 10^{-4}$	$9,05 \times 10^{-4}$	Fe	$6,98 \times 10^{-3} \pm 3,48 \times 10^{-4}$	$5,58 \times 10^{-4}$
Hf	$2,90 \times 10^{-5} \pm 1,38 \times 10^{-6}$	$3,39 \times 10^{-6}$	Hf	$5,64 \times 10^{-5} \pm 1,35 \times 10^{-5}$	$2,26 \times 10^{-6}$
Hg		$1,29 \times 10^{-5}$	Hg		$8,65 \times 10^{-6}$
K	$7,82 \times 10^{-2} \pm 8,14 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-2}$	K	$6,22 \times 10^{-2} \pm 6,26 \times 10^{-3}$	$1,56 \times 10^{-2}$
La	$8,56 \times 10^{-5} \pm 7,28 \times 10^{-6}$	$1,39 \times 10^{-6}$	La	$7,04 \times 10^{-5} \pm 6,40 \times 10^{-6}$	$1,13 \times 10^{-6}$
Na	$2,24 \times 10^{-1} \pm 1,16 \times 10^{-2}$	$1,27 \times 10^{-4}$	Na	$1,71 \times 10^{-1} \pm 1,27 \times 10^{-2}$	$8,65 \times 10^{-5}$
Nd	$6,82 \times 10^{-5} \pm 8,74 \times 10^{-6}$	$5,02 \times 10^{-5}$	Nd	$4,59 \times 10^{-5} \pm 5,27 \times 10^{-6}$	$3,35 \times 10^{-5}$
Rb	$7,26 \times 10^{-5} \pm 1,32 \times 10^{-5}$	$6,36 \times 10^{-5}$	Rb	$6,73 \times 10^{-5} \pm 9,41 \times 10^{-6}$	$4,21 \times 10^{-5}$
Sb	$1,55 \times 10^{-5} \pm 1,40 \times 10^{-6}$	$1,67 \times 10^{-6}$	Sb	$1,05 \times 10^{-5} \pm 1,13 \times 10^{-6}$	$7,52 \times 10^{-7}$
Sc	$1,44 \times 10^{-6} \pm 1,08 \times 10^{-7}$	$1,35 \times 10^{-7}$	Sc	$1,88 \times 10^{-6} \pm$	0,00
Se		$3,28 \times 10^{-5}$	Se		$2,22 \times 10^{-5}$
Sm		$6,47 \times 10^{-6}$	Sm	$6,02 \times 10^{-6} \pm 3,39 \times 10^{-6}$	$3,76 \times 10^{-7}$
Sr	$5,42 \times 10^{-3} \pm 5,24 \times 10^{-3}$	$1,62 \times 10^{-3}$	Sr	$2,95 \times 10^{-3} \pm 2,67 \times 10^{-3}$	$1,08 \times 10^{-3}$
Ta	$5,66 \times 10^{-6} \pm 4,18 \times 10^{-6}$	$8,46 \times 10^{-7}$	Ta	$3,76 \times 10^{-6} \pm 3,76 \times 10^{-6}$	$7,52 \times 10^{-7}$
Tb	$3,40 \times 10^{-6} \pm 2,26 \times 10^{-7}$	$9,43 \times 10^{-7}$	Tb	$2,63 \times 10^{-6} \pm$	$7,52 \times 10^{-7}$
Th	$2,09 \times 10^{-5} \pm 9,43 \times 10^{-7}$	$2,76 \times 10^{-6}$	Th	$1,66 \times 10^{-5} \pm 7,52 \times 10^{-7}$	$1,88 \times 10^{-6}$
U		$5,07 \times 10^{-6}$	U	$8,28 \times 10^{-6} \pm 1,13 \times 10^{-6}$	$3,76 \times 10^{-6}$
W		$3,14 \times 10^{-5}$	W		$1,99 \times 10^{-5}$
Yb	$2,50 \times 10^{-5} \pm 1,01 \times 10^{-6}$	$2,44 \times 10^{-6}$	Yb	$2,03 \times 10^{-5} \pm 7,52 \times 10^{-7}$	$1,50 \times 10^{-6}$
Zn	$9,85 \times 10^{-2} \pm 4,38 \times 10^{-3}$	$8,10 \times 10^{-5}$	Zn	$7,14 \times 10^{-2} \pm 2,85 \times 10^{-3}$	$6,47 \times 10^{-5}$
Zr		$2,40 \times 10^{-3}$	Zr		$1,38 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (n <sup>o</sup> da amostra)		Elem.	Local de coleta (n <sup>o</sup> da amostra)	
	CDTN (7)			CDTN (8)	
	Concentração (µg.m <sup>-3</sup> )	Lim. Detecção		Concentração (µg.m <sup>-3</sup> )	Lim. Detecção
Ag		2,70x10 <sup>-5</sup>	Ag		1,16x10 <sup>-5</sup>
As		2,03x10 <sup>-5</sup>	As		5,02x10 <sup>-6</sup>
Au		0,00	Au		0,00
Ba	2,15x10 <sup>-1</sup> ± 8,92x10 <sup>-3</sup>	8,82x10 <sup>-4</sup>	Ba	8,70x10 <sup>-2</sup> ± 3,77x10 <sup>-3</sup>	4,69x10 <sup>-4</sup>
Br	7,68x10 <sup>-5</sup> ± 5,07x10 <sup>-6</sup>	2,96x10 <sup>-5</sup>	Br	1,81x10 <sup>-5</sup> ± 1,54x10 <sup>-6</sup>	7,33x10 <sup>-6</sup>
Ca	7,70x10 <sup>-2</sup> ± 1,34x10 <sup>-2</sup>	4,75x10 <sup>-2</sup>	Ca	3,59x10 <sup>-2</sup> ± 7,18x10 <sup>-3</sup>	1,97x10 <sup>-2</sup>
Cd		1,03x10 <sup>-4</sup>	Cd		6,13x10 <sup>-5</sup>
Ce	3,59x10 <sup>-4</sup> ± 1,44x10 <sup>-5</sup>	3,21x10 <sup>-5</sup>	Ce	1,19x10 <sup>-4</sup> ± 8,10x10 <sup>-6</sup>	1,62x10 <sup>-5</sup>
Co	6,75x10 <sup>-6</sup> ± 8,44x10 <sup>-7</sup>	2,53x10 <sup>-6</sup>	Co	1,54x10 <sup>-6</sup> ±	7,72x10 <sup>-7</sup>
Cr	3,48x10 <sup>-4</sup> ± 1,77x10 <sup>-5</sup>	6,08x10 <sup>-5</sup>	Cr	1,12x10 <sup>-4</sup> ± 6,95x10 <sup>-6</sup>	3,16x10 <sup>-5</sup>
Cs		5,07x10 <sup>-6</sup>	Cs		2,70x10 <sup>-6</sup>
Eu		8,44x10 <sup>-7</sup>	Eu		3,86x10 <sup>-7</sup>
Fe	4,29x10 <sup>-2</sup> ± 1,65x10 <sup>-3</sup>	1,40x10 <sup>-3</sup>	Fe	6,54x10 <sup>-3</sup> ± 3,41x10 <sup>-4</sup>	5,34x10 <sup>-4</sup>
Hf	4,81x10 <sup>-5</sup> ± 2,53x10 <sup>-6</sup>	5,07x10 <sup>-6</sup>	Hf	1,27x10 <sup>-5</sup> ± 7,72x10 <sup>-7</sup>	2,70x10 <sup>-6</sup>
Hg		5,91x10 <sup>-6</sup>	Hg		9,65x10 <sup>-6</sup>
K	1,29x10 <sup>-1</sup> ± 1,64x10 <sup>-2</sup>	4,45x10 <sup>-2</sup>	K	5,89x10 <sup>-2</sup> ± 6,64x10 <sup>-3</sup>	1,74x10 <sup>-2</sup>
La	1,74x10 <sup>-4</sup> ± 1,52x10 <sup>-5</sup>	2,53x10 <sup>-6</sup>	La	6,91x10 <sup>-5</sup> ± 6,56x10 <sup>-6</sup>	1,16x10 <sup>-6</sup>
Na	3,65x10 <sup>-1</sup> ± 1,53x10 <sup>-2</sup>	2,44x10 <sup>-4</sup>	Na	1,65x10 <sup>-1</sup> ± 7,47x10 <sup>-3</sup>	8,33x10 <sup>-5</sup>
Nd	1,19x10 <sup>-4</sup> ± 1,18x10 <sup>-5</sup>	7,43x10 <sup>-5</sup>	Nd	6,13x10 <sup>-5</sup> ± 6,56x10 <sup>-6</sup>	4,24x10 <sup>-5</sup>
Rb	1,45x10 <sup>-4</sup> ± 2,03x10 <sup>-5</sup>	9,46x10 <sup>-5</sup>	Rb	6,29x10 <sup>-5</sup> ± 1,04x10 <sup>-5</sup>	4,75x10 <sup>-5</sup>
Sb	7,09x10 <sup>-5</sup> ± 3,38x10 <sup>-6</sup>	2,53x10 <sup>-6</sup>	Sb	1,20x10 <sup>-5</sup> ± 1,16x10 <sup>-6</sup>	1,16x10 <sup>-6</sup>
Sc	7,60x10 <sup>-6</sup> ±	0,00	Sc	1,54x10 <sup>-6</sup> ±	0,00
Se		4,90x10 <sup>-5</sup>	Se		2,47x10 <sup>-5</sup>
Sm		1,10x10 <sup>-5</sup>	Sm	9,65x10 <sup>-6</sup> ± 1,54x10 <sup>-6</sup>	3,86x10 <sup>-7</sup>
Sr	7,43x10 <sup>-3</sup> ± 8,77x10 <sup>-3</sup>	2,41x10 <sup>-3</sup>	Sr		1,24x10 <sup>-3</sup>
Ta	1,10x10 <sup>-5</sup> ± 2,53x10 <sup>-6</sup>	1,69x10 <sup>-6</sup>	Ta		7,72x10 <sup>-7</sup>
Tb	6,75x10 <sup>-6</sup> ±	1,69x10 <sup>-6</sup>	Tb	3,09x10 <sup>-6</sup> ±	7,72x10 <sup>-7</sup>
Th	4,56x10 <sup>-5</sup> ± 1,69x10 <sup>-6</sup>	4,22x10 <sup>-6</sup>	Th	1,62x10 <sup>-5</sup> ± 7,72x10 <sup>-7</sup>	2,32x10 <sup>-6</sup>
U	2,11x10 <sup>-5</sup> ± 3,38x10 <sup>-6</sup>	8,44x10 <sup>-6</sup>	U		2,32x10 <sup>-6</sup>
W		5,49x10 <sup>-5</sup>	W		1,50x10 <sup>-5</sup>
Yb	4,56x10 <sup>-5</sup> ± 1,69x10 <sup>-6</sup>	3,38x10 <sup>-6</sup>	Yb	1,93x10 <sup>-5</sup> ± 7,72x10 <sup>-7</sup>	1,93x10 <sup>-6</sup>
Zn	1,60x10 <sup>-1</sup> ± 6,76x10 <sup>-3</sup>	1,40x10 <sup>-4</sup>	Zn	7,01x10 <sup>-2</sup> ± 4,74x10 <sup>-3</sup>	7,68x10 <sup>-5</sup>
Zr		4,58x10 <sup>-3</sup>	Zr		1,79x10 <sup>-3</sup>

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	CDTN (9)				CDTN (10)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$2,52 \times 10^{-6}$	Ag			$5,21 \times 10^{-5}$
As			$1,62 \times 10^{-6}$	As	$5,25 \times 10^{-5} \pm 7,24 \times 10^{-6}$		$2,24 \times 10^{-5}$
Au			0,00	Au	$4,21 \times 10^{-7} \pm 3,66 \times 10^{-8}$		$3,02 \times 10^{-7}$
Ba	$4,53 \times 10^{-2} \pm 1,62 \times 10^{-3}$		$1,12 \times 10^{-4}$	Ba	$7,23 \times 10^{-1} \pm 2,59 \times 10^{-2}$		$1,85 \times 10^{-3}$
Br	$4,08 \times 10^{-6} \pm 3,50 \times 10^{-7}$		$2,04 \times 10^{-6}$	Br	$2,57 \times 10^{-4} \pm 1,05 \times 10^{-5}$		$3,14 \times 10^{-5}$
Ca	$1,67 \times 10^{-2} \pm 1,62 \times 10^{-3}$		$5,09 \times 10^{-3}$	Ca	$3,06 \times 10^{-1} \pm 3,14 \times 10^{-2}$		$1,03 \times 10^{-1}$
Cd			$1,73 \times 10^{-5}$	Cd			$2,40 \times 10^{-4}$
Ce	$3,65 \times 10^{-5} \pm 1,50 \times 10^{-6}$		$3,82 \times 10^{-6}$	Ce	$6,42 \times 10^{-4} \pm 3,50 \times 10^{-5}$		$6,34 \times 10^{-5}$
Co	$3,50 \times 10^{-7} \pm 3,19 \times 10^{-8}$		$2,23 \times 10^{-7}$	Co	$1,37 \times 10^{-5} \pm 1,10 \times 10^{-6}$		$4,26 \times 10^{-6}$
Cr	$4,65 \times 10^{-5} \pm 2,68 \times 10^{-6}$		$6,98 \times 10^{-6}$	Cr	$9,78 \times 10^{-4} \pm 4,77 \times 10^{-5}$		$1,21 \times 10^{-4}$
Cs			$7,01 \times 10^{-7}$	Cs			$7,18 \times 10^{-6}$
Eu			$6,37 \times 10^{-8}$	Eu	$8,03 \times 10^{-5} \pm 5,67 \times 10^{-6}$		$1,69 \times 10^{-6}$
Fe	$1,85 \times 10^{-3} \pm 1,19 \times 10^{-4}$		$1,38 \times 10^{-4}$	Fe	$8,52 \times 10^{-2} \pm 3,59 \times 10^{-3}$		$2,71 \times 10^{-3}$
Hf	$1,29 \times 10^{-5} \pm 9,56 \times 10^{-7}$		$6,05 \times 10^{-7}$	Hf	$2,29 \times 10^{-4} \pm 2,30 \times 10^{-5}$		$9,59 \times 10^{-6}$
Hg			$2,26 \times 10^{-6}$	Hg			$3,77 \times 10^{-5}$
K	$3,00 \times 10^{-2} \pm 1,83 \times 10^{-3}$		$5,28 \times 10^{-3}$	K	$4,70 \times 10^{-1} \pm 3,36 \times 10^{-2}$		$8,72 \times 10^{-2}$
La	$1,54 \times 10^{-5} \pm 5,73 \times 10^{-7}$		$3,19 \times 10^{-7}$	La	$3,38 \times 10^{-4} \pm 1,93 \times 10^{-5}$		$5,64 \times 10^{-6}$
Na	$8,33 \times 10^{-2} \pm 2,98 \times 10^{-3}$		$2,48 \times 10^{-5}$	Na	$1,29 \pm 4,62 \times 10^{-2}$		$4,05 \times 10^{-4}$
Nd	$1,40 \times 10^{-5} \pm 1,53 \times 10^{-6}$		$9,24 \times 10^{-6}$	Nd	$3,23 \times 10^{-4} \pm 2,56 \times 10^{-5}$		$1,51 \times 10^{-4}$
Rb	$2,00 \times 10^{-5} \pm 2,13 \times 10^{-6}$		$1,14 \times 10^{-5}$	Rb	$4,08 \times 10^{-4} \pm 3,95 \times 10^{-5}$		$1,90 \times 10^{-4}$
Sb	$2,83 \times 10^{-6} \pm 1,91 \times 10^{-7}$		$2,23 \times 10^{-7}$	Sb	$3,22 \times 10^{-4} \pm 2,11 \times 10^{-5}$		$4,28 \times 10^{-6}$
Sc	$5,73 \times 10^{-7} \pm 3,19 \times 10^{-8}$		$3,19 \times 10^{-8}$	Sc	$1,30 \times 10^{-5} \pm 4,95 \times 10^{-7}$		$4,57 \times 10^{-7}$
Se			$5,80 \times 10^{-6}$	Se			$9,64 \times 10^{-5}$
Sm	$3,06 \times 10^{-6} \pm 9,56 \times 10^{-8}$		$6,37 \times 10^{-8}$	Sm	$5,10 \times 10^{-5} \pm 3,94 \times 10^{-6}$		$1,20 \times 10^{-6}$
Sr	$1,52 \times 10^{-3} \pm 6,28 \times 10^{-4}$		$2,80 \times 10^{-4}$	Sr	$2,89 \times 10^{-2} \pm 1,39 \times 10^{-2}$		$4,77 \times 10^{-3}$
Ta	$7,33 \times 10^{-7} \pm 3,19 \times 10^{-8}$		$1,27 \times 10^{-7}$	Ta	$1,91 \times 10^{-5} \pm 9,55 \times 10^{-6}$		$2,55 \times 10^{-6}$
Tb	$8,28 \times 10^{-7} \pm 3,19 \times 10^{-8}$		$1,59 \times 10^{-7}$	Tb	$1,47 \times 10^{-5} \pm 7,25 \times 10^{-7}$		$3,10 \times 10^{-6}$
Th	$4,75 \times 10^{-6} \pm 1,91 \times 10^{-7}$		$4,78 \times 10^{-7}$	Th	$8,61 \times 10^{-5} \pm 4,28 \times 10^{-6}$		$8,36 \times 10^{-6}$
U			$7,01 \times 10^{-7}$	U	$3,35 \times 10^{-5} \pm 4,10 \times 10^{-6}$		$1,06 \times 10^{-5}$
W			$4,36 \times 10^{-6}$	W			$6,81 \times 10^{-5}$
Yb	$5,73 \times 10^{-6} \pm 2,55 \times 10^{-7}$		$5,10 \times 10^{-7}$	Yb	$9,47 \times 10^{-5} \pm 3,56 \times 10^{-6}$		$8,53 \times 10^{-6}$
Zn	$3,76 \times 10^{-2} \pm 1,32 \times 10^{-3}$		$1,39 \times 10^{-5}$	Zn	$5,70 \times 10^{-1} \pm 2,17 \times 10^{-2}$		$2,74 \times 10^{-4}$
Zr	$5,54 \times 10^{-4} \pm 6,72 \times 10^{-5}$		$4,28 \times 10^{-4}$	Zr			$7,82 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	UFMG (11)				UFMG (12)		
	Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$1,15 \times 10^{-5}$	Ag			$5,09 \times 10^{-6}$
As			$7,84 \times 10^{-6}$	As			$1,48 \times 10^{-5}$
Au			0,00	Au			$3,75 \times 10^{-8}$
Ba	$2,06 \times 10^{-1}$	$\pm 8,07 \times 10^{-3}$	$5,45 \times 10^{-4}$	Ba	$1,31 \times 10^{-1}$	$\pm 5,22 \times 10^{-3}$	$4,78 \times 10^{-4}$
Br	$2,30 \times 10^{-5}$	$\pm 2,30 \times 10^{-6}$	$1,29 \times 10^{-5}$	Br	$2,47 \times 10^{-5}$	$\pm 4,65 \times 10^{-6}$	$1,56 \times 10^{-5}$
Ca	$6,33 \times 10^{-2}$	$\pm 7,91 \times 10^{-3}$	$2,46 \times 10^{-2}$	Ca	$4,00 \times 10^{-2}$	$\pm 8,88 \times 10^{-3}$	$3,28 \times 10^{-2}$
Cd			$1,10 \times 10^{-4}$	Cd			$7,61 \times 10^{-5}$
Ce	$2,27 \times 10^{-4}$	$\pm 8,76 \times 10^{-6}$	$1,89 \times 10^{-5}$	Ce	$1,67 \times 10^{-4}$	$\pm 6,72 \times 10^{-6}$	$1,01 \times 10^{-5}$
Co	$2,30 \times 10^{-6}$	$\pm 4,61 \times 10^{-7}$	$9,22 \times 10^{-7}$	Co	$2,24 \times 10^{-6}$	$\pm 1,21 \times 10^{-7}$	$3,51 \times 10^{-7}$
Cr	$2,52 \times 10^{-4}$	$\pm 1,20 \times 10^{-5}$	$3,60 \times 10^{-5}$	Cr	$1,73 \times 10^{-4}$	$\pm 7,64 \times 10^{-6}$	$2,11 \times 10^{-5}$
Cs			$1,84 \times 10^{-6}$	Cs	$2,34 \times 10^{-6}$	$\pm 2,25 \times 10^{-7}$	$1,62 \times 10^{-6}$
Eu			$4,61 \times 10^{-7}$	Eu	$1,24 \times 10^{-6}$	$\pm 1,89 \times 10^{-7}$	$1,45 \times 10^{-7}$
Fe	$1,58 \times 10^{-2}$	$\pm 6,42 \times 10^{-4}$	$6,46 \times 10^{-4}$	Fe	$1,22 \times 10^{-2}$	$\pm 4,67 \times 10^{-4}$	$2,82 \times 10^{-4}$
Hf	$9,26 \times 10^{-5}$	$\pm 1,52 \times 10^{-5}$	$2,77 \times 10^{-6}$	Hf	$6,80 \times 10^{-5}$	$\pm 1,18 \times 10^{-5}$	$1,42 \times 10^{-6}$
Hg			$1,11 \times 10^{-5}$	Hg			$5,74 \times 10^{-6}$
K	$1,10 \times 10^{-1}$	$\pm 1,21 \times 10^{-2}$	$3,87 \times 10^{-2}$	K	$9,22 \times 10^{-2}$	$\pm 1,17 \times 10^{-2}$	$4,09 \times 10^{-2}$
La	$1,12 \times 10^{-4}$	$\pm 1,11 \times 10^{-5}$	$1,84 \times 10^{-6}$	La	$8,69 \times 10^{-5}$	$\pm 5,55 \times 10^{-6}$	$1,43 \times 10^{-6}$
Na	$3,58 \times 10^{-1}$	$\pm 1,35 \times 10^{-2}$	$1,76 \times 10^{-4}$	Na	$2,31 \times 10^{-1}$	$\pm 1,12 \times 10^{-2}$	$2,85 \times 10^{-4}$
Nd			$4,56 \times 10^{-5}$	Nd			$4,14 \times 10^{-5}$
Rb	$9,08 \times 10^{-5}$	$\pm 1,15 \times 10^{-5}$	$5,58 \times 10^{-5}$	Rb	$7,20 \times 10^{-5}$	$\pm 8,20 \times 10^{-6}$	$4,32 \times 10^{-5}$
Sb	$2,90 \times 10^{-5}$	$\pm 1,84 \times 10^{-6}$	$1,38 \times 10^{-6}$	Sb	$2,72 \times 10^{-5}$	$\pm 1,46 \times 10^{-6}$	$5,66 \times 10^{-7}$
Sc	$3,23 \times 10^{-6}$	$\pm$	0,00	Sc	$2,42 \times 10^{-6}$	$\pm 1,03 \times 10^{-7}$	$6,59 \times 10^{-8}$
Se			$1,06 \times 10^{-5}$	Se			$3,71 \times 10^{-6}$
Sm	$1,71 \times 10^{-5}$	$\pm 4,61 \times 10^{-7}$	$4,61 \times 10^{-7}$	Sm	$1,48 \times 10^{-5}$	$\pm 5,80 \times 10^{-7}$	$4,98 \times 10^{-7}$
Sr	$7,34 \times 10^{-3}$	$\pm 1,26 \times 10^{-3}$	$1,40 \times 10^{-3}$	Sr	$6,55 \times 10^{-3}$	$\pm 9,46 \times 10^{-4}$	$7,71 \times 10^{-4}$
Ta	$1,38 \times 10^{-6}$	$\pm 4,61 \times 10^{-7}$	$4,61 \times 10^{-7}$	Ta	$9,56 \times 10^{-7}$	$\pm 5,51 \times 10^{-8}$	$2,39 \times 10^{-7}$
Tb	$5,07 \times 10^{-6}$	$\pm$	$9,22 \times 10^{-7}$	Tb	$3,74 \times 10^{-6}$	$\pm 1,49 \times 10^{-7}$	$3,08 \times 10^{-7}$
Th	$2,77 \times 10^{-5}$	$\pm 9,22 \times 10^{-7}$	$2,30 \times 10^{-6}$	Th	$2,21 \times 10^{-5}$	$\pm 8,24 \times 10^{-7}$	$1,44 \times 10^{-6}$
U	$1,11 \times 10^{-5}$	$\pm 1,84 \times 10^{-6}$	$4,15 \times 10^{-6}$	U	$9,58 \times 10^{-6}$	$\pm 1,02 \times 10^{-6}$	$3,46 \times 10^{-6}$
W			$2,86 \times 10^{-5}$	W			$6,07 \times 10^{-5}$
Yb	$3,36 \times 10^{-5}$	$\pm 1,38 \times 10^{-6}$	$2,30 \times 10^{-6}$	Yb	$2,56 \times 10^{-5}$	$\pm 9,87 \times 10^{-7}$	$1,97 \times 10^{-6}$
Zn	$1,56 \times 10^{-1}$	$\pm 5,92 \times 10^{-3}$	$8,07 \times 10^{-5}$	Zn	$9,86 \times 10^{-2}$	$\pm 3,68 \times 10^{-3}$	$3,47 \times 10^{-5}$
Zr	$2,48 \times 10^{-3}$	$\pm 6,21 \times 10^{-4}$	$2,07 \times 10^{-3}$	Zr	$1,94 \times 10^{-3}$	$\pm 4,79 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	UFMG (13)				UFMG (14)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$7,25 \times 10^{-6}$	Ag			$6,86 \times 10^{-6}$
As			$1,44 \times 10^{-5}$	As			$4,08 \times 10^{-5}$
Au	$8,48 \times 10^{-8}$	$\pm 7,62 \times 10^{-9}$	$4,56 \times 10^{-8}$	Au			$4,32 \times 10^{-8}$
Ba	$1,54 \times 10^{-1}$	$\pm 6,10 \times 10^{-3}$	$4,24 \times 10^{-4}$	Ba	$1,70 \times 10^{-1}$	$\pm 6,75 \times 10^{-3}$	$6,65 \times 10^{-4}$
Br	$3,01 \times 10^{-5}$	$\pm 2,40 \times 10^{-6}$	$1,25 \times 10^{-5}$	Br	$3,44 \times 10^{-5}$	$\pm 4,22 \times 10^{-6}$	$2,74 \times 10^{-5}$
Ca	$5,78 \times 10^{-2}$	$\pm 1,18 \times 10^{-2}$	$2,37 \times 10^{-2}$	Ca	$5,57 \times 10^{-2}$	$\pm 1,12 \times 10^{-2}$	$4,07 \times 10^{-2}$
Cd			$5,90 \times 10^{-5}$	Cd			$1,17 \times 10^{-4}$
Ce	$2,01 \times 10^{-4}$	$\pm 7,39 \times 10^{-6}$	$1,45 \times 10^{-5}$	Ce	$2,23 \times 10^{-4}$	$\pm 9,16 \times 10^{-6}$	$1,30 \times 10^{-5}$
Co	$3,85 \times 10^{-6}$	$\pm 1,88 \times 10^{-7}$	$5,39 \times 10^{-7}$	Co	$3,80 \times 10^{-6}$	$\pm 1,82 \times 10^{-7}$	$4,46 \times 10^{-7}$
Cr	$2,17 \times 10^{-4}$	$\pm 8,98 \times 10^{-6}$	$3,03 \times 10^{-5}$	Cr	$2,54 \times 10^{-4}$	$\pm 1,12 \times 10^{-5}$	$2,76 \times 10^{-5}$
Cs			$2,30 \times 10^{-6}$	Cs	$3,27 \times 10^{-6}$	$\pm 2,98 \times 10^{-7}$	$2,08 \times 10^{-6}$
Eu			$2,05 \times 10^{-7}$	Eu	$1,62 \times 10^{-6}$	$\pm 3,37 \times 10^{-7}$	$1,82 \times 10^{-7}$
Fe	$1,88 \times 10^{-2}$	$\pm 6,94 \times 10^{-4}$	$4,30 \times 10^{-4}$	Fe	$2,33 \times 10^{-2}$	$\pm 8,57 \times 10^{-4}$	$3,87 \times 10^{-4}$
Hf	$7,72 \times 10^{-5}$	$\pm 1,46 \times 10^{-5}$	$2,05 \times 10^{-6}$	Hf	$6,43 \times 10^{-5}$	$\pm 1,08 \times 10^{-5}$	$1,86 \times 10^{-6}$
Hg			$2,54 \times 10^{-6}$	Hg			$7,40 \times 10^{-6}$
K	$9,78 \times 10^{-2}$	$\pm 1,39 \times 10^{-2}$	$4,93 \times 10^{-2}$	K	$1,25 \times 10^{-1}$	$\pm 1,49 \times 10^{-2}$	$4,90 \times 10^{-2}$
La	$1,04 \times 10^{-4}$	$\pm 6,96 \times 10^{-6}$	$9,84 \times 10^{-7}$	La	$1,18 \times 10^{-4}$	$\pm 8,02 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-6}$
Na	$2,65 \times 10^{-1}$	$\pm 1,04 \times 10^{-2}$	$3,47 \times 10^{-4}$	Na	$2,97 \times 10^{-1}$	$\pm 1,87 \times 10^{-2}$	$3,52 \times 10^{-4}$
Nd	$8,07 \times 10^{-5}$	$\pm 1,14 \times 10^{-5}$	$3,58 \times 10^{-5}$	Nd			$5,36 \times 10^{-5}$
Rb	$8,30 \times 10^{-5}$	$\pm 8,50 \times 10^{-6}$	$5,32 \times 10^{-5}$	Rb	$8,67 \times 10^{-5}$	$\pm 1,01 \times 10^{-5}$	$5,71 \times 10^{-5}$
Sb	$3,70 \times 10^{-5}$	$\pm 1,75 \times 10^{-6}$	$8,21 \times 10^{-7}$	Sb	$4,38 \times 10^{-5}$	$\pm 1,78 \times 10^{-6}$	$7,52 \times 10^{-7}$
Sc	$3,43 \times 10^{-6}$	$\pm 1,34 \times 10^{-7}$	$7,39 \times 10^{-8}$	Sc	$3,85 \times 10^{-6}$	$\pm 1,46 \times 10^{-7}$	$8,04 \times 10^{-8}$
Se			$1,87 \times 10^{-5}$	Se			$9,21 \times 10^{-6}$
Sm			$4,67 \times 10^{-7}$	Sm			$6,91 \times 10^{-6}$
Sr	$4,96 \times 10^{-3}$	$\pm 8,02 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-3}$	Sr	$5,84 \times 10^{-3}$	$\pm 7,70 \times 10^{-4}$	$9,99 \times 10^{-4}$
Ta	$1,12 \times 10^{-6}$	$\pm 7,74 \times 10^{-8}$	$3,61 \times 10^{-7}$	Ta	$1,30 \times 10^{-6}$	$\pm 7,56 \times 10^{-8}$	$3,36 \times 10^{-7}$
Tb	$4,20 \times 10^{-6}$	$\pm 1,69 \times 10^{-7}$	$4,51 \times 10^{-7}$	Tb	$4,92 \times 10^{-6}$	$\pm 1,94 \times 10^{-7}$	$4,19 \times 10^{-7}$
Th	$2,66 \times 10^{-5}$	$\pm 9,84 \times 10^{-7}$	$2,07 \times 10^{-6}$	Th	$3,02 \times 10^{-5}$	$\pm 1,42 \times 10^{-6}$	$1,86 \times 10^{-6}$
U	$1,06 \times 10^{-5}$	$\pm 7,45 \times 10^{-7}$	$2,64 \times 10^{-6}$	U	$1,25 \times 10^{-5}$	$\pm 1,33 \times 10^{-6}$	$5,25 \times 10^{-6}$
W			$7,12 \times 10^{-5}$	W			$7,51 \times 10^{-5}$
Yb	$3,07 \times 10^{-5}$	$\pm 1,14 \times 10^{-6}$	$1,46 \times 10^{-6}$	Yb	$3,29 \times 10^{-5}$	$\pm 1,28 \times 10^{-6}$	$2,70 \times 10^{-6}$
Zn	$1,18 \times 10^{-1}$	$\pm 4,39 \times 10^{-3}$	$4,49 \times 10^{-5}$	Zn	$1,26 \times 10^{-1}$	$\pm 4,70 \times 10^{-3}$	$4,24 \times 10^{-5}$
Zr			$1,70 \times 10^{-3}$	Zr			$1,53 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (n° da amostra)			Elem.	Local de coleta (n° da amostra)		
	UFMG (15)				UFMG (16)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$6,01 \times 10^{-6}$	Ag			$3,67 \times 10^{-6}$
As			$2,46 \times 10^{-5}$	As			$7,47 \times 10^{-6}$
Au			$5,10 \times 10^{-8}$	Au			$5,29 \times 10^{-8}$
Ba	$1,17 \times 10^{-1}$	$\pm 5,04 \times 10^{-3}$	$5,99 \times 10^{-4}$	Ba	$7,73 \times 10^{-2}$	$\pm 4,57 \times 10^{-3}$	$3,94 \times 10^{-4}$
Br			$2,36 \times 10^{-5}$	Br	$1,17 \times 10^{-5}$	$\pm 1,38 \times 10^{-6}$	$9,17 \times 10^{-6}$
Ca	$4,40 \times 10^{-2}$	$\pm 9,51 \times 10^{-3}$	$3,38 \times 10^{-2}$	Ca	$2,94 \times 10^{-2}$	$\pm 6,43 \times 10^{-3}$	$2,35 \times 10^{-2}$
Cd			$9,96 \times 10^{-5}$	Cd			$6,91 \times 10^{-5}$
Ce	$1,85 \times 10^{-4}$	$\pm 6,94 \times 10^{-6}$	$1,18 \times 10^{-5}$	Ce	$1,16 \times 10^{-4}$	$\pm 4,52 \times 10^{-6}$	$7,65 \times 10^{-6}$
Co	$2,53 \times 10^{-6}$	$\pm 1,39 \times 10^{-7}$	$4,03 \times 10^{-7}$	Co	$1,13 \times 10^{-6}$	$\pm 7,47 \times 10^{-8}$	$2,43 \times 10^{-7}$
Cr	$1,78 \times 10^{-4}$	$\pm 8,06 \times 10^{-6}$	$2,49 \times 10^{-5}$	Cr	$1,11 \times 10^{-4}$	$\pm 1,12 \times 10^{-5}$	$1,63 \times 10^{-5}$
Cs			$1,87 \times 10^{-6}$	Cs	$1,52 \times 10^{-6}$	$\pm 2,26 \times 10^{-7}$	$1,20 \times 10^{-6}$
Eu	$1,60 \times 10^{-6}$	$\pm 2,50 \times 10^{-7}$	$1,77 \times 10^{-7}$	Eu	$9,74 \times 10^{-7}$	$\pm 1,47 \times 10^{-7}$	$9,54 \times 10^{-8}$
Fe	$1,83 \times 10^{-2}$	$\pm 6,85 \times 10^{-4}$	$3,43 \times 10^{-4}$	Fe	$7,07 \times 10^{-3}$	$\pm 2,85 \times 10^{-4}$	$2,01 \times 10^{-4}$
Hf	$4,73 \times 10^{-5}$	$\pm 1,16 \times 10^{-5}$	$1,68 \times 10^{-6}$	Hf	$1,21 \times 10^{-5}$	$\pm 1,06 \times 10^{-6}$	$1,08 \times 10^{-6}$
Hg			$6,64 \times 10^{-6}$	Hg			$4,31 \times 10^{-6}$
K	$8,13 \times 10^{-2}$	$\pm 1,41 \times 10^{-2}$	$5,04 \times 10^{-2}$	K			$5,53 \times 10^{-2}$
La	$7,73 \times 10^{-5}$	$\pm 3,19 \times 10^{-6}$	$1,51 \times 10^{-6}$	La	$5,23 \times 10^{-5}$	$\pm 2,75 \times 10^{-6}$	$9,15 \times 10^{-7}$
Na	$1,97 \times 10^{-1}$	$\pm 9,18 \times 10^{-3}$	$3,45 \times 10^{-4}$	Na	$1,28 \times 10^{-1}$	$\pm 8,41 \times 10^{-3}$	$2,18 \times 10^{-4}$
Nd			$4,89 \times 10^{-5}$	Nd			$3,24 \times 10^{-5}$
Rb	$7,64 \times 10^{-5}$	$\pm 8,96 \times 10^{-6}$	$5,23 \times 10^{-5}$	Rb	$4,18 \times 10^{-5}$	$\pm 5,82 \times 10^{-6}$	$3,44 \times 10^{-5}$
Sb	$3,81 \times 10^{-5}$	$\pm 1,69 \times 10^{-6}$	$6,74 \times 10^{-7}$	Sb	$1,24 \times 10^{-5}$	$\pm 6,37 \times 10^{-7}$	$3,78 \times 10^{-7}$
Sc	$3,12 \times 10^{-6}$	$\pm 1,22 \times 10^{-7}$	$5,88 \times 10^{-8}$	Sc	$1,52 \times 10^{-6}$	$\pm 9,30 \times 10^{-8}$	$3,72 \times 10^{-8}$
Se			$1,49 \times 10^{-5}$	Se	$2,98 \times 10^{-5}$	$\pm 3,75 \times 10^{-6}$	$7,43 \times 10^{-6}$
Sm	$1,57 \times 10^{-5}$	$\pm 7,04 \times 10^{-7}$	$6,76 \times 10^{-7}$	Sm	$1,00 \times 10^{-5}$	$\pm 5,56 \times 10^{-7}$	$3,55 \times 10^{-7}$
Sr	$4,12 \times 10^{-3}$	$\pm 7,07 \times 10^{-4}$	$9,09 \times 10^{-4}$	Sr	$2,85 \times 10^{-3}$	$\pm 5,61 \times 10^{-4}$	$5,88 \times 10^{-4}$
Ta	$1,26 \times 10^{-6}$	$\pm 7,06 \times 10^{-8}$	$2,94 \times 10^{-7}$	Ta	$6,54 \times 10^{-7}$	$\pm 4,15 \times 10^{-8}$	$1,74 \times 10^{-7}$
Tb	$3,89 \times 10^{-6}$	$\pm 1,57 \times 10^{-7}$	$3,69 \times 10^{-7}$	Tb	$2,62 \times 10^{-6}$	$\pm 1,05 \times 10^{-7}$	$2,14 \times 10^{-7}$
Th	$2,44 \times 10^{-5}$	$\pm 9,13 \times 10^{-7}$	$1,68 \times 10^{-6}$	Th	$1,49 \times 10^{-5}$	$\pm 7,13 \times 10^{-7}$	$1,10 \times 10^{-6}$
U	$1,00 \times 10^{-5}$	$\pm 1,02 \times 10^{-6}$	$4,45 \times 10^{-6}$	U			$2,87 \times 10^{-6}$
W			$6,93 \times 10^{-5}$	W			$2,50 \times 10^{-5}$
Yb	$2,70 \times 10^{-5}$	$\pm 1,07 \times 10^{-6}$	$2,29 \times 10^{-6}$	Yb	$1,77 \times 10^{-5}$	$\pm 8,52 \times 10^{-7}$	$1,57 \times 10^{-6}$
Zn	$8,80 \times 10^{-2}$	$\pm 3,42 \times 10^{-3}$	$3,58 \times 10^{-5}$	Zn	$5,70 \times 10^{-2}$	$\pm 5,53 \times 10^{-3}$	$2,29 \times 10^{-5}$
Zr			$1,39 \times 10^{-3}$	Zr			$9,00 \times 10^{-4}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	UFMG (17)				E. M. Prof. Edgar da Mata Machado (18)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$6,51 \times 10^{-6}$	Ag			$6,84 \times 10^{-6}$
As			$2,50 \times 10^{-5}$	As			$3,83 \times 10^{-5}$
Au	$1,22 \times 10^{-7}$	$\pm 1,00 \times 10^{-8}$	$6,33 \times 10^{-8}$	Au			$5,84 \times 10^{-8}$
Ba	$1,52 \times 10^{-1}$	$\pm 5,98 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-4}$	Ba	$1,68 \times 10^{-1}$	$\pm 8,11 \times 10^{-3}$	$4,45 \times 10^{-4}$
Br	$5,32 \times 10^{-5}$	$\pm 5,83 \times 10^{-6}$	$2,05 \times 10^{-5}$	Br	$9,17 \times 10^{-5}$	$\pm 4,39 \times 10^{-6}$	$1,97 \times 10^{-5}$
Ca	$4,86 \times 10^{-2}$	$\pm 8,11 \times 10^{-3}$	$2,70 \times 10^{-2}$	Ca	$6,63 \times 10^{-2}$	$\pm 7,41 \times 10^{-3}$	$2,54 \times 10^{-2}$
Cd			$8,45 \times 10^{-5}$	Cd			$7,93 \times 10^{-5}$
Ce	$1,97 \times 10^{-4}$	$\pm 1,96 \times 10^{-5}$	$1,29 \times 10^{-5}$	Ce	$2,16 \times 10^{-4}$	$\pm 2,11 \times 10^{-5}$	$1,34 \times 10^{-5}$
Co	$2,23 \times 10^{-6}$	$\pm 1,26 \times 10^{-7}$	$4,42 \times 10^{-7}$	Co	$4,07 \times 10^{-6}$	$\pm 1,82 \times 10^{-7}$	$4,64 \times 10^{-7}$
Cr	$2,04 \times 10^{-4}$	$\pm 8,42 \times 10^{-6}$	$2,72 \times 10^{-5}$	Cr	$2,19 \times 10^{-4}$	$\pm 1,28 \times 10^{-5}$	$2,91 \times 10^{-5}$
Cs	$2,60 \times 10^{-6}$	$\pm 5,87 \times 10^{-7}$	$1,91 \times 10^{-6}$	Cs	$3,20 \times 10^{-6}$	$\pm 2,49 \times 10^{-7}$	$2,03 \times 10^{-6}$
Eu	$1,78 \times 10^{-6}$	$\pm 2,38 \times 10^{-7}$	$1,82 \times 10^{-7}$	Eu	$1,43 \times 10^{-6}$	$\pm 2,43 \times 10^{-7}$	$1,93 \times 10^{-7}$
Fe	$1,32 \times 10^{-2}$	$\pm 5,03 \times 10^{-4}$	$3,65 \times 10^{-4}$	Fe	$1,92 \times 10^{-2}$	$\pm 7,08 \times 10^{-4}$	$4,02 \times 10^{-4}$
Hf	$7,11 \times 10^{-5}$	$\pm 1,38 \times 10^{-5}$	$1,87 \times 10^{-6}$	Hf	$7,04 \times 10^{-5}$	$\pm 1,21 \times 10^{-5}$	$1,85 \times 10^{-6}$
Hg			$7,04 \times 10^{-6}$	Hg			$7,46 \times 10^{-6}$
K	$1,02 \times 10^{-1}$	$\pm 1,43 \times 10^{-2}$	$5,02 \times 10^{-2}$	K	$1,02 \times 10^{-1}$	$\pm 1,56 \times 10^{-2}$	$5,75 \times 10^{-2}$
La	$1,04 \times 10^{-4}$	$\pm 1,06 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-6}$	La	$1,15 \times 10^{-4}$	$\pm 8,49 \times 10^{-6}$	$1,11 \times 10^{-6}$
Na	$2,53 \times 10^{-1}$	$\pm 1,25 \times 10^{-2}$	$3,42 \times 10^{-4}$	Na	$2,69 \times 10^{-1}$	$\pm 1,14 \times 10^{-2}$	$3,88 \times 10^{-4}$
Nd	$8,88 \times 10^{-5}$	$\pm 1,11 \times 10^{-5}$	$4,20 \times 10^{-5}$	Nd	$1,01 \times 10^{-4}$	$\pm 8,63 \times 10^{-6}$	$3,71 \times 10^{-5}$
Rb	$8,69 \times 10^{-5}$	$\pm 8,64 \times 10^{-6}$	$5,54 \times 10^{-5}$	Rb	$1,15 \times 10^{-4}$	$\pm 9,20 \times 10^{-6}$	$4,99 \times 10^{-5}$
Sb	$5,30 \times 10^{-5}$	$\pm 2,16 \times 10^{-6}$	$7,48 \times 10^{-7}$	Sb	$5,34 \times 10^{-5}$	$\pm 2,68 \times 10^{-6}$	$7,71 \times 10^{-7}$
Sc	$2,85 \times 10^{-6}$	$\pm 1,14 \times 10^{-7}$	$6,38 \times 10^{-8}$	Sc	$3,63 \times 10^{-6}$	$\pm 1,37 \times 10^{-7}$	$6,63 \times 10^{-8}$
Se			$1,53 \times 10^{-5}$	Se	$5,42 \times 10^{-5}$	$\pm 6,86 \times 10^{-6}$	$1,22 \times 10^{-5}$
Sm	$1,24 \times 10^{-5}$	$\pm 1,80 \times 10^{-6}$	$5,80 \times 10^{-7}$	Sm			$4,70 \times 10^{-6}$
Sr	$5,97 \times 10^{-3}$	$\pm 1,43 \times 10^{-3}$	$9,99 \times 10^{-4}$	Sr	$7,00 \times 10^{-3}$	$\pm 1,53 \times 10^{-3}$	$1,03 \times 10^{-3}$
Ta	$1,09 \times 10^{-6}$	$\pm 6,94 \times 10^{-8}$	$3,19 \times 10^{-7}$	Ta	$1,50 \times 10^{-6}$	$\pm 8,92 \times 10^{-8}$	$3,15 \times 10^{-7}$
Tb	$4,27 \times 10^{-6}$	$\pm 1,68 \times 10^{-7}$	$3,94 \times 10^{-7}$	Tb	$4,67 \times 10^{-6}$	$\pm 1,81 \times 10^{-7}$	$4,30 \times 10^{-7}$
Th	$2,61 \times 10^{-5}$	$\pm 9,68 \times 10^{-7}$	$1,85 \times 10^{-6}$	Th	$2,79 \times 10^{-5}$	$\pm 1,41 \times 10^{-6}$	$1,98 \times 10^{-6}$
U	$1,10 \times 10^{-5}$	$\pm 1,36 \times 10^{-6}$	$3,76 \times 10^{-6}$	U	$9,86 \times 10^{-6}$	$\pm 9,61 \times 10^{-7}$	$3,26 \times 10^{-6}$
W			$6,61 \times 10^{-5}$	W			$7,46 \times 10^{-5}$
Yb	$2,84 \times 10^{-5}$	$\pm 1,07 \times 10^{-6}$	$1,88 \times 10^{-6}$	Yb	$2,95 \times 10^{-5}$	$\pm 1,11 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-6}$
Zn	$1,12 \times 10^{-1}$	$\pm 4,29 \times 10^{-3}$	$3,76 \times 10^{-5}$	Zn	$1,26 \times 10^{-1}$	$\pm 8,96 \times 10^{-3}$	$3,85 \times 10^{-5}$
Zr	$1,65 \times 10^{-3}$	$\pm 2,30 \times 10^{-4}$	$1,49 \times 10^{-3}$	Zr	$2,73 \times 10^{-3}$	$\pm 9,97 \times 10^{-4}$	$1,56 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			
	E. M. Prof. Edgar da Mata Machado (19)			CDTN (20)			
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )			Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )			
		Lim. Detecção			Lim. Detecção		
Ag			4,69x10 <sup>-6</sup>	Ag		4,23x10 <sup>-6</sup>	
As			1,94x10 <sup>-5</sup>	As		1,29x10 <sup>-5</sup>	
Au			4,05x10 <sup>-8</sup>	Au		7,13x10 <sup>-8</sup>	
Ba	1,31x10 <sup>-1</sup>	± 5,04x10 <sup>-3</sup>	4,47x10 <sup>-4</sup>	Ba	1,03x10 <sup>-1</sup>	± 4,24x10 <sup>-3</sup>	4,75x10 <sup>-4</sup>
Br	6,75x10 <sup>-5</sup>	± 3,82x10 <sup>-6</sup>	2,00x10 <sup>-5</sup>	Br	2,30x10 <sup>-5</sup>	± 2,57x10 <sup>-6</sup>	1,74x10 <sup>-5</sup>
Ca	4,66x10 <sup>-2</sup>	± 6,65x10 <sup>-3</sup>	2,14x10 <sup>-2</sup>	Ca	3,53x10 <sup>-2</sup>	± 7,03x10 <sup>-3</sup>	2,04x10 <sup>-2</sup>
Cd			8,74x10 <sup>-5</sup>	Cd			4,80x10 <sup>-5</sup>
Ce	1,59x10 <sup>-4</sup>	± 5,85x10 <sup>-6</sup>	1,09x10 <sup>-5</sup>	Ce	1,49x10 <sup>-4</sup>	± 5,58x10 <sup>-6</sup>	9,65x10 <sup>-6</sup>
Co	1,92x10 <sup>-6</sup>	± 1,06x10 <sup>-7</sup>	3,16x10 <sup>-7</sup>	Co	1,96x10 <sup>-6</sup>	± 1,12x10 <sup>-7</sup>	2,73x10 <sup>-7</sup>
Cr	1,46x10 <sup>-4</sup>	± 9,50x10 <sup>-6</sup>	2,34x10 <sup>-5</sup>	Cr	1,46x10 <sup>-4</sup>	± 9,14x10 <sup>-6</sup>	2,09x10 <sup>-5</sup>
Cs	2,06x10 <sup>-6</sup>	± 2,38x10 <sup>-7</sup>	1,61x10 <sup>-6</sup>	Cs	2,13x10 <sup>-6</sup>	± 1,99x10 <sup>-7</sup>	1,43x10 <sup>-6</sup>
Eu	1,07x10 <sup>-6</sup>	± 1,96x10 <sup>-7</sup>	1,21x10 <sup>-7</sup>	Eu	8,02x10 <sup>-7</sup>	± 1,56x10 <sup>-7</sup>	1,10x10 <sup>-7</sup>
Fe	9,22x10 <sup>-3</sup>	± 3,59x10 <sup>-4</sup>	2,84x10 <sup>-4</sup>	Fe	1,25x10 <sup>-2</sup>	± 4,70x10 <sup>-4</sup>	2,38x10 <sup>-4</sup>
Hf	5,60x10 <sup>-5</sup>	± 1,22x10 <sup>-5</sup>	1,50x10 <sup>-6</sup>	Hf	3,59x10 <sup>-5</sup>	± 4,86x10 <sup>-6</sup>	1,32x10 <sup>-6</sup>
Hg			5,97x10 <sup>-6</sup>	Hg			5,32x10 <sup>-6</sup>
K	6,54x10 <sup>-2</sup>	± 1,04x10 <sup>-2</sup>	3,84x10 <sup>-2</sup>	K	5,75x10 <sup>-2</sup>	± 9,05x10 <sup>-3</sup>	2,47x10 <sup>-2</sup>
La	6,27x10 <sup>-5</sup>	± 2,50x10 <sup>-6</sup>	1,08x10 <sup>-6</sup>	La	6,20x10 <sup>-5</sup>	± 2,47x10 <sup>-6</sup>	1,09x10 <sup>-6</sup>
Na	2,04x10 <sup>-1</sup>	± 1,26x10 <sup>-2</sup>	2,61x10 <sup>-4</sup>	Na	1,83x10 <sup>-1</sup>	± 1,09x10 <sup>-2</sup>	1,37x10 <sup>-4</sup>
Nd			3,74x10 <sup>-5</sup>	Nd			3,97x10 <sup>-5</sup>
Rb	7,82x10 <sup>-5</sup>	± 7,23x10 <sup>-6</sup>	4,74x10 <sup>-5</sup>	Rb			4,90x10 <sup>-5</sup>
Sb	1,09x10 <sup>-5</sup>	± 6,69x10 <sup>-7</sup>	5,44x10 <sup>-7</sup>	Sb	1,22x10 <sup>-5</sup>	± 7,10x10 <sup>-7</sup>	4,79x10 <sup>-7</sup>
Sc	2,58x10 <sup>-6</sup>	± 9,75x10 <sup>-8</sup>	5,22x10 <sup>-8</sup>	Sc	2,47x10 <sup>-6</sup>	± 9,48x10 <sup>-8</sup>	4,69x10 <sup>-8</sup>
Se			1,29x10 <sup>-5</sup>	Se			1,14x10 <sup>-5</sup>
Sm			5,37x10 <sup>-6</sup>	Sm			7,81x10 <sup>-7</sup>
Sr	3,78x10 <sup>-3</sup>	± 1,30x10 <sup>-3</sup>	8,21x10 <sup>-4</sup>	Sr	4,77x10 <sup>-3</sup>	± 8,82x10 <sup>-4</sup>	7,33x10 <sup>-4</sup>
Ta	9,82x10 <sup>-7</sup>	± 5,91x10 <sup>-8</sup>	2,22x10 <sup>-7</sup>	Ta	8,49x10 <sup>-7</sup>	± 5,08x10 <sup>-8</sup>	2,08x10 <sup>-7</sup>
Tb	3,43x10 <sup>-6</sup>	± 1,37x10 <sup>-7</sup>	2,91x10 <sup>-7</sup>	Tb	3,03x10 <sup>-6</sup>	± 1,20x10 <sup>-7</sup>	2,87x10 <sup>-7</sup>
Th	1,99x10 <sup>-5</sup>	± 9,67x10 <sup>-7</sup>	1,60x10 <sup>-6</sup>	Th	1,91x10 <sup>-5</sup>	± 7,17x10 <sup>-7</sup>	1,43x10 <sup>-6</sup>
U			3,84x10 <sup>-6</sup>	U			4,32x10 <sup>-6</sup>
W			4,98x10 <sup>-5</sup>	W			3,19x10 <sup>-5</sup>
Yb	2,31x10 <sup>-5</sup>	± 1,46x10 <sup>-6</sup>	1,74x10 <sup>-6</sup>	Yb	2,18x10 <sup>-5</sup>	± 1,13x10 <sup>-6</sup>	1,93x10 <sup>-6</sup>
Zn	9,93x10 <sup>-2</sup>	± 3,62x10 <sup>-3</sup>	3,08x10 <sup>-5</sup>	Zn	7,75x10 <sup>-2</sup>	± 2,94x10 <sup>-3</sup>	2,69x10 <sup>-5</sup>
Zr	1,79x10 <sup>-3</sup>	± 3,94x10 <sup>-4</sup>	1,24x10 <sup>-3</sup>	Zr	1,33x10 <sup>-3</sup>	± 1,95x10 <sup>-4</sup>	1,10x10 <sup>-3</sup>



Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	CEFET-MG (21)				CEFET-MG (22)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$4,47 \times 10^{-6}$	Ag			$3,87 \times 10^{-6}$
As			$1,95 \times 10^{-5}$	As	$2,13 \times 10^{-5} \pm 3,76 \times 10^{-6}$		$1,51 \times 10^{-5}$
Au			$8,56 \times 10^{-8}$	Au			$3,84 \times 10^{-8}$
Ba	$1,61 \times 10^{-1} \pm 6,27 \times 10^{-3}$		$6,48 \times 10^{-4}$	Ba	$1,42 \times 10^{-1} \pm 5,40 \times 10^{-3}$		$3,55 \times 10^{-4}$
Br	$3,76 \times 10^{-5} \pm 4,27 \times 10^{-6}$		$3,18 \times 10^{-5}$	Br			$1,44 \times 10^{-5}$
Ca	$4,53 \times 10^{-2} \pm 9,07 \times 10^{-3}$		$2,95 \times 10^{-2}$	Ca	$4,25 \times 10^{-2} \pm 5,09 \times 10^{-3}$		$1,13 \times 10^{-2}$
Cd			$1,41 \times 10^{-4}$	Cd			$7,89 \times 10^{-5}$
Ce	$2,10 \times 10^{-4} \pm 9,69 \times 10^{-6}$		$1,23 \times 10^{-5}$	Ce			$1,01 \times 10^{-5}$
Co	$2,40 \times 10^{-6} \pm 1,26 \times 10^{-7}$		$3,33 \times 10^{-7}$	Co	$1,33 \times 10^{-6} \pm 7,86 \times 10^{-8}$		$2,64 \times 10^{-7}$
Cr	$2,05 \times 10^{-4} \pm 1,09 \times 10^{-5}$		$2,67 \times 10^{-5}$	Cr	$1,06 \times 10^{-4} \pm 5,78 \times 10^{-6}$		$2,25 \times 10^{-5}$
Cs			$1,83 \times 10^{-6}$	Cs			$1,51 \times 10^{-6}$
Eu	$1,20 \times 10^{-6} \pm 2,05 \times 10^{-7}$		$1,23 \times 10^{-7}$	Eu	$1,31 \times 10^{-6} \pm 1,75 \times 10^{-7}$		$1,04 \times 10^{-7}$
Fe	$2,02 \times 10^{-2} \pm 7,42 \times 10^{-4}$		$3,04 \times 10^{-4}$	Fe	$6,86 \times 10^{-3} \pm 2,76 \times 10^{-4}$		$2,34 \times 10^{-4}$
Hf	$6,62 \times 10^{-5} \pm 1,41 \times 10^{-5}$		$1,67 \times 10^{-6}$	Hf	$4,68 \times 10^{-5} \pm 9,01 \times 10^{-6}$		$1,38 \times 10^{-6}$
Hg			$6,76 \times 10^{-6}$	Hg			$5,65 \times 10^{-6}$
K	$8,71 \times 10^{-2} \pm 1,51 \times 10^{-2}$		$5,90 \times 10^{-2}$	K	$8,43 \times 10^{-2} \pm 9,13 \times 10^{-3}$		$2,74 \times 10^{-2}$
La	$8,42 \times 10^{-5} \pm 3,40 \times 10^{-6}$		$1,63 \times 10^{-6}$	La	$8,35 \times 10^{-6} \pm 1,11 \times 10^{-6}$		$8,02 \times 10^{-7}$
Na	$2,79 \times 10^{-1} \pm 1,21 \times 10^{-2}$		$3,87 \times 10^{-4}$	Na	$2,45 \times 10^{-1} \pm 9,46 \times 10^{-3}$		$1,48 \times 10^{-4}$
Nd			$5,37 \times 10^{-5}$	Nd			$2,80 \times 10^{-5}$
Rb	$8,96 \times 10^{-5} \pm 9,56 \times 10^{-6}$		$6,30 \times 10^{-5}$	Rb	$5,35 \times 10^{-5} \pm 6,46 \times 10^{-6}$		$3,64 \times 10^{-5}$
Sb	$1,48 \times 10^{-5} \pm 8,98 \times 10^{-7}$		$6,51 \times 10^{-7}$	Sb	$8,01 \times 10^{-6} \pm 5,97 \times 10^{-7}$		$5,05 \times 10^{-7}$
Sc	$3,31 \times 10^{-6} \pm 1,28 \times 10^{-7}$		$6,06 \times 10^{-8}$	Sc	$1,59 \times 10^{-6} \pm 6,50 \times 10^{-8}$		$4,66 \times 10^{-8}$
Se			$1,44 \times 10^{-5}$	Se			$1,20 \times 10^{-5}$
Sm			$8,82 \times 10^{-6}$	Sm	$1,29 \times 10^{-6} \pm 3,74 \times 10^{-7}$		$5,50 \times 10^{-7}$
Sr	$7,70 \times 10^{-3} \pm 1,11 \times 10^{-3}$		$9,32 \times 10^{-4}$	Sr	$6,22 \times 10^{-3} \pm 1,80 \times 10^{-3}$		$7,58 \times 10^{-4}$
Ta	$1,15 \times 10^{-6} \pm 6,35 \times 10^{-8}$		$2,55 \times 10^{-7}$	Ta	$1,91 \times 10^{-6} \pm 1,01 \times 10^{-6}$		$1,75 \times 10^{-7}$
Tb	$4,46 \times 10^{-6} \pm 1,70 \times 10^{-7}$		$3,20 \times 10^{-7}$	Tb	$3,14 \times 10^{-7} \pm 5,44 \times 10^{-8}$		$2,54 \times 10^{-7}$
Th	$2,65 \times 10^{-5} \pm 1,04 \times 10^{-6}$		$1,84 \times 10^{-6}$	Th	$1,99 \times 10^{-6} \pm 2,41 \times 10^{-7}$		$1,54 \times 10^{-6}$
U			$6,11 \times 10^{-6}$	U			$3,24 \times 10^{-6}$
W			$7,16 \times 10^{-5}$	W			$3,34 \times 10^{-5}$
Yb	$3,01 \times 10^{-5} \pm 1,65 \times 10^{-6}$		$2,56 \times 10^{-6}$	Yb	$2,31 \times 10^{-6} \pm 2,80 \times 10^{-7}$		$1,48 \times 10^{-6}$
Zn	$1,23 \times 10^{-1} \pm 4,53 \times 10^{-3}$		$3,24 \times 10^{-5}$	Zn	$1,17 \times 10^{-1} \pm 5,02 \times 10^{-3}$		$2,71 \times 10^{-5}$
Zr	$2,31 \times 10^{-3} \pm 2,61 \times 10^{-4}$		$1,38 \times 10^{-3}$	Zr	$1,39 \times 10^{-3} \pm 1,95 \times 10^{-4}$		$1,15 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)	
	CEFET-MG (23)			CEFET-MG (24)	
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$5,39 \times 10^{-6}$	Ag		$7,14 \times 10^{-6}$
As		$2,35 \times 10^{-5}$	As	$5,89 \times 10^{-5} \pm 6,73 \times 10^{-6}$	$3,05 \times 10^{-5}$
Au		$1,22 \times 10^{-7}$	Au		$1,28 \times 10^{-7}$
Ba	$1,72 \times 10^{-1} \pm 6,74 \times 10^{-3}$	$7,02 \times 10^{-4}$	Ba	$2,85 \times 10^{-1} \pm 1,05 \times 10^{-2}$	$9,14 \times 10^{-4}$
Br	$4,81 \times 10^{-5} \pm 4,07 \times 10^{-6}$	$2,26 \times 10^{-5}$	Br	$8,43 \times 10^{-5} \pm 6,20 \times 10^{-6}$	$2,89 \times 10^{-5}$
Ca	$7,51 \times 10^{-2} \pm 1,06 \times 10^{-2}$	$2,51 \times 10^{-2}$	Ca	$8,89 \times 10^{-2} \pm 1,26 \times 10^{-2}$	$3,53 \times 10^{-2}$
Cd		$1,75 \times 10^{-4}$	Cd		$2,34 \times 10^{-4}$
Ce	$3,08 \times 10^{-5} \pm 2,50 \times 10^{-6}$	$1,35 \times 10^{-5}$	Ce	$4,44 \times 10^{-5} \pm 3,05 \times 10^{-6}$	$1,73 \times 10^{-5}$
Co	$2,63 \times 10^{-6} \pm 1,41 \times 10^{-7}$	$3,82 \times 10^{-7}$	Co	$4,61 \times 10^{-6} \pm 2,14 \times 10^{-7}$	$4,57 \times 10^{-7}$
Cr	$1,38 \times 10^{-4} \pm 8,00 \times 10^{-6}$	$2,98 \times 10^{-5}$	Cr	$2,31 \times 10^{-4} \pm 1,44 \times 10^{-5}$	$3,84 \times 10^{-5}$
Cs		$1,99 \times 10^{-6}$	Cs	$3,70 \times 10^{-6} \pm 3,94 \times 10^{-7}$	$2,55 \times 10^{-6}$
Eu	$2,08 \times 10^{-6} \pm 2,36 \times 10^{-7}$	$1,52 \times 10^{-7}$	Eu	$2,25 \times 10^{-6} \pm 2,82 \times 10^{-7}$	$2,00 \times 10^{-7}$
Fe	$1,67 \times 10^{-2} \pm 6,28 \times 10^{-4}$	$3,41 \times 10^{-4}$	Fe	$2,44 \times 10^{-2} \pm 9,54 \times 10^{-4}$	$4,29 \times 10^{-4}$
Hf	$6,98 \times 10^{-5} \pm 1,67 \times 10^{-5}$	$1,87 \times 10^{-6}$	Hf	$8,65 \times 10^{-5} \pm 1,83 \times 10^{-5}$	$2,33 \times 10^{-6}$
Hg		$7,49 \times 10^{-6}$	Hg		$9,60 \times 10^{-6}$
K	$9,73 \times 10^{-2} \pm 1,59 \times 10^{-2}$	$5,61 \times 10^{-2}$	K	$1,97 \times 10^{-1} \pm 2,24 \times 10^{-2}$	$7,52 \times 10^{-2}$
La	$1,80 \times 10^{-5} \pm 5,17 \times 10^{-6}$	$2,00 \times 10^{-6}$	La	$2,74 \times 10^{-5} \pm 2,64 \times 10^{-6}$	$2,14 \times 10^{-6}$
Na	$2,75 \times 10^{-1} \pm 1,15 \times 10^{-2}$	$2,73 \times 10^{-4}$	Na	$4,85 \times 10^{-1} \pm 1,84 \times 10^{-2}$	$3,65 \times 10^{-4}$
Nd		$3,87 \times 10^{-5}$	Nd		$6,67 \times 10^{-5}$
Rb	$1,70 \times 10^{-4} \pm 1,14 \times 10^{-5}$	$7,13 \times 10^{-5}$	Rb	$1,31 \times 10^{-4} \pm 1,39 \times 10^{-5}$	$9,36 \times 10^{-5}$
Sb	$1,99 \times 10^{-5} \pm 1,11 \times 10^{-6}$	$6,89 \times 10^{-7}$	Sb	$3,54 \times 10^{-5} \pm 1,53 \times 10^{-6}$	$8,59 \times 10^{-7}$
Sc	$3,07 \times 10^{-6} \pm 1,20 \times 10^{-7}$	$7,28 \times 10^{-8}$	Sc	$4,59 \times 10^{-6} \pm 1,72 \times 10^{-7}$	$8,33 \times 10^{-8}$
Se		$1,58 \times 10^{-5}$	Se		$2,03 \times 10^{-5}$
Sm	$2,35 \times 10^{-6} \pm 2,29 \times 10^{-7}$	$9,82 \times 10^{-7}$	Sm	$3,32 \times 10^{-6} \pm 2,43 \times 10^{-7}$	$1,28 \times 10^{-6}$
Sr	$5,77 \times 10^{-3} \pm 1,55 \times 10^{-3}$	$1,03 \times 10^{-3}$	Sr	$1,15 \times 10^{-2} \pm 3,34 \times 10^{-3}$	$1,33 \times 10^{-3}$
Ta		$2,97 \times 10^{-7}$	Ta	$5,25 \times 10^{-6} \pm 5,75 \times 10^{-6}$	$3,52 \times 10^{-7}$
Tb	$8,15 \times 10^{-7} \pm 7,07 \times 10^{-8}$	$3,68 \times 10^{-7}$	Tb	$7,66 \times 10^{-6} \pm 7,06 \times 10^{-7}$	$4,46 \times 10^{-7}$
Th	$3,79 \times 10^{-6} \pm 3,49 \times 10^{-7}$	$2,05 \times 10^{-6}$	Th	$5,81 \times 10^{-6} \pm 7,35 \times 10^{-7}$	$2,65 \times 10^{-6}$
U		$2,44 \times 10^{-6}$	U		$8,04 \times 10^{-6}$
W		$1,32 \times 10^{-5}$	W		$5,05 \times 10^{-5}$
Yb	$3,18 \times 10^{-6} \pm 4,91 \times 10^{-7}$	$2,81 \times 10^{-6}$	Yb	$5,07 \times 10^{-6} \pm 6,78 \times 10^{-7}$	$3,61 \times 10^{-6}$
Zn	$1,35 \times 10^{-1} \pm 5,79 \times 10^{-3}$	$3,57 \times 10^{-5}$	Zn	$2,29 \times 10^{-1} \pm 8,21 \times 10^{-3}$	$4,53 \times 10^{-5}$
Zr		$1,50 \times 10^{-3}$	Zr	$2,78 \times 10^{-3} \pm 8,28 \times 10^{-4}$	$1,90 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa (25)				Escola Meninada da Educação Infantil e Alternativa (25)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag	$9,41 \times 10^{-6}$	$\pm 1,78 \times 10^{-6}$	$7,40 \times 10^{-6}$	Ag			$7,70 \times 10^{-6}$
As			$3,84 \times 10^{-5}$	As	$6,78 \times 10^{-5}$	$\pm 8,06 \times 10^{-6}$	$3,43 \times 10^{-5}$
Au			$2,23 \times 10^{-7}$	Au			$1,94 \times 10^{-7}$
Ba	$3,03 \times 10^{-1}$	$\pm 1,16 \times 10^{-2}$	$1,26 \times 10^{-3}$	Ba	$3,00 \times 10^{-1}$	$\pm 1,19 \times 10^{-2}$	$1,05 \times 10^{-3}$
Br			$3,63 \times 10^{-5}$	Br			$3,22 \times 10^{-5}$
Ca	$1,17 \times 10^{-1}$	$\pm 1,75 \times 10^{-2}$	$3,91 \times 10^{-2}$	Ca	$1,36 \times 10^{-1}$	$\pm 1,60 \times 10^{-2}$	$3,25 \times 10^{-2}$
Cd			$3,20 \times 10^{-4}$	Cd			$2,87 \times 10^{-4}$
Ce	$3,36 \times 10^{-5}$	$\pm 4,44 \times 10^{-6}$	$2,22 \times 10^{-5}$	Ce	$4,80 \times 10^{-5}$	$\pm 4,14 \times 10^{-6}$	$2,21 \times 10^{-5}$
Co	$3,48 \times 10^{-6}$	$\pm 1,97 \times 10^{-7}$	$6,03 \times 10^{-7}$	Co	$2,66 \times 10^{-6}$	$\pm 1,68 \times 10^{-7}$	$5,52 \times 10^{-7}$
Cr	$1,99 \times 10^{-4}$	$\pm 3,18 \times 10^{-5}$	$4,92 \times 10^{-5}$	Cr	$2,17 \times 10^{-4}$	$\pm 1,26 \times 10^{-5}$	$5,01 \times 10^{-5}$
Cs			$3,22 \times 10^{-6}$	Cs	$4,34 \times 10^{-6}$	$\pm 1,04 \times 10^{-5}$	$3,15 \times 10^{-6}$
Eu	$2,20 \times 10^{-6}$	$\pm 3,46 \times 10^{-7}$	$2,25 \times 10^{-7}$	Eu	$2,52 \times 10^{-6}$	$\pm 3,34 \times 10^{-7}$	$2,16 \times 10^{-7}$
Fe	$1,35 \times 10^{-2}$	$\pm 6,14 \times 10^{-4}$	$4,93 \times 10^{-4}$	Fe	$1,99 \times 10^{-2}$	$\pm 7,80 \times 10^{-4}$	$4,84 \times 10^{-4}$
Hf	$7,57 \times 10^{-5}$	$\pm 1,48 \times 10^{-5}$	$2,99 \times 10^{-6}$	Hf	$5,35 \times 10^{-5}$	$\pm 2,57 \times 10^{-6}$	$2,94 \times 10^{-6}$
Hg			$1,91 \times 10^{-6}$	Hg			$1,21 \times 10^{-5}$
K	$1,72 \times 10^{-1}$	$\pm 2,77 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-1}$	K	$1,87 \times 10^{-1}$	$\pm 2,64 \times 10^{-2}$	$9,07 \times 10^{-2}$
La	$2,03 \times 10^{-5}$	$\pm 2,56 \times 10^{-6}$	$3,24 \times 10^{-6}$	La	$2,08 \times 10^{-5}$	$\pm 2,20 \times 10^{-6}$	$2,52 \times 10^{-6}$
Na	$4,84 \times 10^{-1}$	$\pm 2,52 \times 10^{-2}$	$4,70 \times 10^{-4}$	Na	$4,89 \times 10^{-1}$	$\pm 2,38 \times 10^{-2}$	$4,29 \times 10^{-4}$
Nd			$9,77 \times 10^{-5}$	Nd			$8,46 \times 10^{-5}$
Rb	$1,43 \times 10^{-4}$	$\pm 1,84 \times 10^{-5}$	$1,20 \times 10^{-4}$	Rb	$1,27 \times 10^{-4}$	$\pm 1,85 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-4}$
Sb	$9,32 \times 10^{-6}$	$\pm 1,30 \times 10^{-6}$	$1,01 \times 10^{-6}$	Sb	$1,20 \times 10^{-5}$	$\pm 1,30 \times 10^{-6}$	$1,14 \times 10^{-6}$
Sc	$3,84 \times 10^{-6}$	$\pm 1,58 \times 10^{-7}$	$1,01 \times 10^{-7}$	Sc	$4,28 \times 10^{-6}$	$\pm 1,66 \times 10^{-7}$	$8,54 \times 10^{-8}$
Se			$1,92 \times 10^{-5}$	Se			$2,47 \times 10^{-5}$
Sm	$4,00 \times 10^{-6}$	$\pm 3,79 \times 10^{-7}$	$1,59 \times 10^{-6}$	Sm	$3,78 \times 10^{-6}$	$\pm 3,16 \times 10^{-7}$	$1,41 \times 10^{-6}$
Sr	$1,11 \times 10^{-2}$	$\pm 2,98 \times 10^{-3}$	$1,69 \times 10^{-3}$	Sr			$1,68 \times 10^{-3}$
Ta	$4,97 \times 10^{-6}$	$\pm 6,74 \times 10^{-6}$	$3,99 \times 10^{-7}$	Ta	$1,15 \times 10^{-6}$	$\pm 4,84 \times 10^{-8}$	$3,83 \times 10^{-7}$
Tb	$8,73 \times 10^{-7}$	$\pm 1,09 \times 10^{-7}$	$5,42 \times 10^{-7}$	Tb	$8,07 \times 10^{-7}$	$\pm 1,04 \times 10^{-7}$	$5,29 \times 10^{-7}$
Th			$3,38 \times 10^{-6}$	Th	$4,83 \times 10^{-6}$	$\pm 5,88 \times 10^{-7}$	$3,45 \times 10^{-6}$
U			$1,05 \times 10^{-5}$	U			$5,58 \times 10^{-6}$
W			$8,06 \times 10^{-5}$	W			$7,17 \times 10^{-5}$
Yb			$4,62 \times 10^{-6}$	Yb			$4,64 \times 10^{-6}$
Zn	$2,41 \times 10^{-1}$	$\pm 8,77 \times 10^{-3}$	$5,72 \times 10^{-5}$	Zn	$2,40 \times 10^{-1}$	$\pm 8,64 \times 10^{-3}$	$4,79 \times 10^{-5}$
Zr			$2,39 \times 10^{-3}$	Zr	$2,62 \times 10^{-3}$	$\pm 5,07 \times 10^{-4}$	$2,21 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (n° da amostra)			Elem.	Local de coleta (n° da amostra)		
	UFMG (27)				UFMG (28)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$5,32 \times 10^{-6}$	Ag			$6,18 \times 10^{-6}$
As	$3,41 \times 10^{-5}$	$\pm 5,35 \times 10^{-6}$	$2,39 \times 10^{-5}$	As	$3,76 \times 10^{-5}$	$\pm 6,18 \times 10^{-6}$	$2,63 \times 10^{-5}$
Au			$1,34 \times 10^{-7}$	Au			$3,41 \times 10^{-8}$
Ba	$1,75 \times 10^{-1}$	$\pm 6,82 \times 10^{-3}$	$7,30 \times 10^{-4}$	Ba	$2,09 \times 10^{-1}$	$\pm 7,93 \times 10^{-3}$	$5,38 \times 10^{-4}$
Br	$4,63 \times 10^{-5}$	$\pm 4,05 \times 10^{-6}$	$2,23 \times 10^{-5}$	Br	$3,42 \times 10^{-5}$	$\pm 4,30 \times 10^{-6}$	$2,43 \times 10^{-5}$
Ca	$5,47 \times 10^{-2}$	$\pm 1,01 \times 10^{-2}$	$2,63 \times 10^{-2}$	Ca	$6,48 \times 10^{-2}$	$\pm 7,72 \times 10^{-3}$	$1,92 \times 10^{-2}$
Cd			$1,99 \times 10^{-4}$	Cd			$1,53 \times 10^{-4}$
Ce	$2,33 \times 10^{-5}$	$\pm 5,20 \times 10^{-6}$	$1,39 \times 10^{-5}$	Ce	$3,51 \times 10^{-5}$	$\pm 7,89 \times 10^{-6}$	$1,55 \times 10^{-5}$
Co	$2,65 \times 10^{-6}$	$\pm 1,36 \times 10^{-7}$	$3,73 \times 10^{-7}$	Co	$3,40 \times 10^{-6}$	$\pm 1,56 \times 10^{-7}$	$3,98 \times 10^{-7}$
Cr	$1,39 \times 10^{-4}$	$\pm 7,74 \times 10^{-6}$	$3,14 \times 10^{-5}$	Cr	$1,60 \times 10^{-4}$	$\pm 1,33 \times 10^{-5}$	$3,51 \times 10^{-5}$
Cs	$2,39 \times 10^{-6}$	$\pm 2,88 \times 10^{-7}$	$1,93 \times 10^{-6}$	Cs			$1,75 \times 10^{-6}$
Eu			$1,52 \times 10^{-7}$	Eu	$1,67 \times 10^{-6}$	$\pm 2,42 \times 10^{-7}$	$1,69 \times 10^{-7}$
Fe	$1,57 \times 10^{-2}$	$\pm 5,94 \times 10^{-4}$	$3,25 \times 10^{-4}$	Fe	$1,93 \times 10^{-2}$	$\pm 7,12 \times 10^{-4}$	$3,95 \times 10^{-4}$
Hf	$4,15 \times 10^{-5}$	$\pm 4,09 \times 10^{-6}$	$1,84 \times 10^{-6}$	Hf	$4,81 \times 10^{-5}$	$\pm 7,77 \times 10^{-6}$	$2,05 \times 10^{-6}$
Hg			$7,54 \times 10^{-6}$	Hg			$8,42 \times 10^{-6}$
K	$9,41 \times 10^{-2}$	$\pm 1,80 \times 10^{-2}$	$6,61 \times 10^{-2}$	K	$1,35 \times 10^{-1}$	$\pm 1,97 \times 10^{-2}$	$7,51 \times 10^{-2}$
La	$1,58 \times 10^{-5}$	$\pm 1,60 \times 10^{-6}$	$1,85 \times 10^{-6}$	La	$2,14 \times 10^{-5}$	$\pm 3,49 \times 10^{-6}$	$1,38 \times 10^{-6}$
Na	$2,82 \times 10^{-1}$	$\pm 1,18 \times 10^{-2}$	$3,08 \times 10^{-4}$	Na	$3,47 \times 10^{-1}$	$\pm 1,37 \times 10^{-2}$	$3,44 \times 10^{-4}$
Nd			$5,67 \times 10^{-5}$	Nd			$4,21 \times 10^{-5}$
Rb			$7,26 \times 10^{-5}$	Rb	$9,74 \times 10^{-5}$	$\pm 1,18 \times 10^{-5}$	$5,42 \times 10^{-5}$
Sb	$2,79 \times 10^{-5}$	$\pm 1,24 \times 10^{-6}$	$6,70 \times 10^{-7}$	Sb	$2,56 \times 10^{-5}$	$\pm 1,19 \times 10^{-6}$	$7,75 \times 10^{-7}$
Sc	$2,84 \times 10^{-6}$	$\pm 1,12 \times 10^{-7}$	$6,38 \times 10^{-8}$	Sc	$3,60 \times 10^{-6}$	$\pm 1,35 \times 10^{-7}$	$7,04 \times 10^{-8}$
Se			$1,53 \times 10^{-5}$	Se	$4,52 \times 10^{-5}$	$\pm 4,20 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-5}$
Sm	$2,55 \times 10^{-6}$	$\pm 2,27 \times 10^{-7}$	$9,72 \times 10^{-7}$	Sm	$2,78 \times 10^{-6}$	$\pm 3,52 \times 10^{-7}$	$1,06 \times 10^{-6}$
Sr	$6,91 \times 10^{-3}$	$\pm 1,60 \times 10^{-3}$	$1,05 \times 10^{-3}$	Sr	$8,13 \times 10^{-3}$	$\pm 1,44 \times 10^{-3}$	$1,21 \times 10^{-3}$
Ta	$3,89 \times 10^{-7}$	$\pm 4,97 \times 10^{-8}$	$2,72 \times 10^{-7}$	Ta	$8,77 \times 10^{-7}$	$\pm 3,56 \times 10^{-8}$	$3,13 \times 10^{-7}$
Tb	$4,96 \times 10^{-7}$	$\pm 8,84 \times 10^{-8}$	$3,49 \times 10^{-7}$	Tb	$6,37 \times 10^{-7}$	$\pm 6,72 \times 10^{-8}$	$3,94 \times 10^{-7}$
Th	$4,13 \times 10^{-6}$	$\pm 6,65 \times 10^{-7}$	$2,16 \times 10^{-6}$	Th	$4,85 \times 10^{-6}$	$\pm 3,26 \times 10^{-7}$	$2,36 \times 10^{-6}$
U			$4,91 \times 10^{-6}$	U			$5,46 \times 10^{-6}$
W			$4,97 \times 10^{-5}$	W			$4,62 \times 10^{-5}$
Yb			$2,89 \times 10^{-6}$	Yb	$3,37 \times 10^{-6}$	$\pm 3,90 \times 10^{-7}$	$2,48 \times 10^{-6}$
Zn	$1,37 \times 10^{-1}$	$\pm 5,79 \times 10^{-3}$	$3,29 \times 10^{-5}$	Zn	$1,68 \times 10^{-1}$	$\pm 6,06 \times 10^{-3}$	$3,63 \times 10^{-5}$
Zr			$1,37 \times 10^{-3}$	Zr	$1,79 \times 10^{-3}$	$\pm 4,79 \times 10^{-4}$	$1,51 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	UFMG (29)				CDTN (30)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$5,45 \times 10^{-6}$	Ag			$1,01 \times 10^{-5}$
As	$2,77 \times 10^{-5}$	$\pm 4,89 \times 10^{-6}$	$1,60 \times 10^{-5}$	As	$7,95 \times 10^{-5}$	$\pm 9,85 \times 10^{-6}$	$3,42 \times 10^{-5}$
Au	$2,26 \times 10^{-7}$	$\pm 2,34 \times 10^{-8}$	$1,40 \times 10^{-7}$	Au			$2,44 \times 10^{-7}$
Ba	$1,61 \times 10^{-1}$	$\pm 7,25 \times 10^{-3}$	$7,91 \times 10^{-4}$	Ba	$3,59 \times 10^{-1}$	$\pm 1,41 \times 10^{-2}$	$1,63 \times 10^{-3}$
Br	$2,65 \times 10^{-5}$	$\pm 2,90 \times 10^{-6}$	$1,52 \times 10^{-5}$	Br	$2,92 \times 10^{-4}$	$\pm 1,23 \times 10^{-5}$	$3,21 \times 10^{-5}$
Ca	$5,53 \times 10^{-2}$	$\pm 1,14 \times 10^{-2}$	$2,82 \times 10^{-2}$	Ca	$1,19 \times 10^{-1}$	$\pm 2,37 \times 10^{-2}$	$6,56 \times 10^{-2}$
Cd			$1,26 \times 10^{-4}$	Cd			$2,66 \times 10^{-4}$
Ce	$2,94 \times 10^{-5}$	$\pm 2,78 \times 10^{-6}$	$1,48 \times 10^{-5}$	Ce	$5,35 \times 10^{-5}$	$\pm 4,55 \times 10^{-6}$	$3,19 \times 10^{-5}$
Co	$3,18 \times 10^{-6}$	$\pm 1,75 \times 10^{-7}$	$3,89 \times 10^{-7}$	Co	$8,44 \times 10^{-6}$	$\pm 4,07 \times 10^{-7}$	$7,95 \times 10^{-7}$
Cr	$1,52 \times 10^{-4}$	$\pm 9,41 \times 10^{-6}$	$3,37 \times 10^{-5}$	Cr	$3,42 \times 10^{-4}$	$\pm 1,72 \times 10^{-5}$	$7,27 \times 10^{-5}$
Cs	$2,78 \times 10^{-6}$	$\pm 3,31 \times 10^{-7}$	$2,05 \times 10^{-6}$	Cs	$7,88 \times 10^{-6}$	$\pm 8,22 \times 10^{-7}$	$4,35 \times 10^{-6}$
Eu			$1,56 \times 10^{-7}$	Eu	$3,08 \times 10^{-6}$	$\pm 4,76 \times 10^{-7}$	$2,77 \times 10^{-7}$
Fe	$2,01 \times 10^{-2}$	$\pm 7,53 \times 10^{-4}$	$3,77 \times 10^{-4}$	Fe	$4,63 \times 10^{-2}$	$\pm 1,72 \times 10^{-3}$	$8,32 \times 10^{-4}$
Hf	$4,80 \times 10^{-5}$	$\pm 9,36 \times 10^{-6}$	$1,96 \times 10^{-6}$	Hf	$3,58 \times 10^{-5}$	$\pm 8,84 \times 10^{-6}$	$4,16 \times 10^{-6}$
Hg			$8,00 \times 10^{-6}$	Hg			$9,25 \times 10^{-6}$
K	$9,07 \times 10^{-2}$	$\pm 1,43 \times 10^{-2}$	$4,71 \times 10^{-2}$	K	$2,14 \times 10^{-1}$	$\pm 3,14 \times 10^{-2}$	$1,03 \times 10^{-1}$
La	$2,08 \times 10^{-5}$	$\pm 1,93 \times 10^{-6}$	$2,44 \times 10^{-6}$	La	$3,69 \times 10^{-5}$	$\pm 3,64 \times 10^{-6}$	$5,96 \times 10^{-6}$
Na	$2,52 \times 10^{-1}$	$\pm 1,21 \times 10^{-2}$	$2,09 \times 10^{-4}$	Na	$5,69 \times 10^{-1}$	$\pm 4,16 \times 10^{-2}$	$4,57 \times 10^{-4}$
Nd			$5,99 \times 10^{-5}$	Nd			$1,29 \times 10^{-4}$
Rb			$7,99 \times 10^{-5}$	Rb	$2,08 \times 10^{-4}$	$\pm 4,94 \times 10^{-5}$	$1,71 \times 10^{-4}$
Sb	$2,16 \times 10^{-5}$	$\pm 1,14 \times 10^{-6}$	$7,72 \times 10^{-7}$	Sb	$3,87 \times 10^{-5}$	$\pm 2,16 \times 10^{-6}$	$1,69 \times 10^{-6}$
Sc	$3,37 \times 10^{-6}$	$\pm 1,30 \times 10^{-7}$	$7,30 \times 10^{-8}$	Sc	$8,90 \times 10^{-6}$	$\pm 3,35 \times 10^{-7}$	$1,47 \times 10^{-7}$
Se			$1,61 \times 10^{-5}$	Se	$9,26 \times 10^{-5}$	$\pm 1,40 \times 10^{-5}$	$2,52 \times 10^{-5}$
Sm			$1,77 \times 10^{-6}$	Sm	$3,16 \times 10^{-6}$	$\pm 6,01 \times 10^{-7}$	$1,22 \times 10^{-6}$
Sr			$1,15 \times 10^{-3}$	Sr			$2,46 \times 10^{-3}$
Ta	$4,22 \times 10^{-7}$	$\pm 6,73 \times 10^{-8}$	$2,95 \times 10^{-7}$	Ta	$1,46 \times 10^{-6}$	$\pm 5,25 \times 10^{-8}$	$7,13 \times 10^{-7}$
Tb	$4,69 \times 10^{-7}$	$\pm 7,80 \times 10^{-8}$	$4,03 \times 10^{-7}$	Tb	$1,27 \times 10^{-6}$	$\pm 1,80 \times 10^{-7}$	$8,16 \times 10^{-7}$
Th			$2,32 \times 10^{-6}$	Th	$1,26 \times 10^{-5}$	$\pm 8,29 \times 10^{-7}$	$4,97 \times 10^{-6}$
U			$4,96 \times 10^{-6}$	U			$7,16 \times 10^{-6}$
W	$4,21 \times 10^{-3}$	$\pm 4,00 \times 10^{-4}$	$3,41 \times 10^{-5}$	W			$7,34 \times 10^{-5}$
Yb			$3,10 \times 10^{-6}$	Yb			$6,62 \times 10^{-6}$
Zn	$1,25 \times 10^{-1}$	$\pm 4,66 \times 10^{-3}$	$3,49 \times 10^{-5}$	Zn	$2,86 \times 10^{-1}$	$\pm 1,05 \times 10^{-2}$	$7,28 \times 10^{-5}$
Zr			$1,42 \times 10^{-3}$	Zr			$3,02 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (n° da amostra)			Elem.	Local de coleta (n° da amostra)		
	CDTN (31)				CDTN (32)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$5,64 \times 10^{-6}$	Ag			$4,24 \times 10^{-6}$
As	$3,38 \times 10^{-5}$	$\pm 4,55 \times 10^{-6}$	$1,57 \times 10^{-5}$	As	$2,33 \times 10^{-5}$	$\pm 3,53 \times 10^{-6}$	$1,37 \times 10^{-5}$
Au			$1,03 \times 10^{-7}$	Au			$9,01 \times 10^{-8}$
Ba	$1,80 \times 10^{-1}$	$\pm 6,97 \times 10^{-3}$	$7,82 \times 10^{-4}$	Ba	$1,25 \times 10^{-1}$	$\pm 5,39 \times 10^{-3}$	$6,42 \times 10^{-4}$
Br	$7,02 \times 10^{-5}$	$\pm 3,79 \times 10^{-6}$	$1,46 \times 10^{-5}$	Br	$3,20 \times 10^{-5}$	$\pm 2,35 \times 10^{-6}$	$1,15 \times 10^{-5}$
Ca	$5,11 \times 10^{-2}$	$\pm 1,06 \times 10^{-2}$	$2,25 \times 10^{-2}$	Ca	$4,70 \times 10^{-2}$	$\pm 9,16 \times 10^{-3}$	$1,98 \times 10^{-2}$
Cd			$1,20 \times 10^{-4}$	Cd			$8,64 \times 10^{-5}$
Ce	$3,17 \times 10^{-5}$	$\pm 2,76 \times 10^{-6}$	$1,45 \times 10^{-5}$	Ce	$1,97 \times 10^{-5}$	$\pm 2,00 \times 10^{-6}$	$1,10 \times 10^{-5}$
Co	$2,68 \times 10^{-6}$	$\pm 1,38 \times 10^{-7}$	$3,44 \times 10^{-7}$	Co	$1,68 \times 10^{-6}$	$\pm 9,61 \times 10^{-8}$	$2,86 \times 10^{-7}$
Cr	$1,37 \times 10^{-4}$	$\pm 7,41 \times 10^{-6}$	$3,29 \times 10^{-5}$	Cr	$1,03 \times 10^{-4}$	$\pm 6,29 \times 10^{-6}$	$2,53 \times 10^{-5}$
Cs	$2,67 \times 10^{-6}$	$\pm 2,90 \times 10^{-7}$	$1,97 \times 10^{-6}$	Cs	$2,28 \times 10^{-6}$	$\pm 2,25 \times 10^{-7}$	$1,49 \times 10^{-6}$
Eu	$1,27 \times 10^{-6}$	$\pm 1,96 \times 10^{-7}$	$1,32 \times 10^{-7}$	Eu			$1,04 \times 10^{-7}$
Fe	$1,19 \times 10^{-2}$	$\pm 4,69 \times 10^{-4}$	$3,50 \times 10^{-4}$	Fe	$9,70 \times 10^{-3}$	$\pm 3,82 \times 10^{-4}$	$2,93 \times 10^{-4}$
Hf	$4,27 \times 10^{-5}$	$\pm 7,06 \times 10^{-6}$	$1,90 \times 10^{-6}$	Hf	$3,62 \times 10^{-5}$	$\pm 6,10 \times 10^{-6}$	$1,43 \times 10^{-6}$
Hg			$1,70 \times 10^{-3}$	Hg			$5,94 \times 10^{-6}$
K	$1,08 \times 10^{-1}$	$\pm 1,69 \times 10^{-2}$	$4,88 \times 10^{-2}$	K	$1,05 \times 10^{-1}$	$\pm 1,91 \times 10^{-2}$	$7,18 \times 10^{-2}$
La	$1,40 \times 10^{-5}$	$\pm 1,54 \times 10^{-6}$	$2,64 \times 10^{-6}$	La	$1,46 \times 10^{-5}$	$\pm 2,37 \times 10^{-6}$	$2,21 \times 10^{-6}$
Na	$2,85 \times 10^{-1}$	$\pm 1,19 \times 10^{-2}$	$2,16 \times 10^{-4}$	Na	$2,12 \times 10^{-1}$	$\pm 8,92 \times 10^{-3}$	$2,70 \times 10^{-4}$
Nd			$5,99 \times 10^{-5}$	Nd			$5,07 \times 10^{-5}$
Rb	$1,03 \times 10^{-4}$	$\pm 1,20 \times 10^{-5}$	$7,67 \times 10^{-5}$	Rb			$6,51 \times 10^{-5}$
Sb	$1,09 \times 10^{-5}$	$\pm 8,15 \times 10^{-7}$	$6,84 \times 10^{-7}$	Sb	$1,30 \times 10^{-5}$	$\pm 7,45 \times 10^{-7}$	$4,88 \times 10^{-7}$
Sc	$2,94 \times 10^{-6}$	$\pm 1,15 \times 10^{-7}$	$6,48 \times 10^{-8}$	Sc	$1,83 \times 10^{-6}$	$\pm 7,51 \times 10^{-8}$	$4,90 \times 10^{-8}$
Se			$1,55 \times 10^{-5}$	Se			$1,03 \times 10^{-5}$
Sm	$2,99 \times 10^{-6}$	$\pm 1,88 \times 10^{-7}$	$5,56 \times 10^{-7}$	Sm	$1,62 \times 10^{-6}$	$\pm 1,31 \times 10^{-7}$	$4,41 \times 10^{-7}$
Sr	$6,48 \times 10^{-3}$	$\pm 1,60 \times 10^{-3}$	$1,11 \times 10^{-3}$	Sr			$8,47 \times 10^{-4}$
Ta	$5,37 \times 10^{-7}$	$\pm 7,10 \times 10^{-8}$	$2,48 \times 10^{-7}$	Ta	$3,04 \times 10^{-7}$	$\pm 3,76 \times 10^{-8}$	$2,03 \times 10^{-7}$
Tb	$5,90 \times 10^{-7}$	$\pm 7,45 \times 10^{-8}$	$3,57 \times 10^{-7}$	Tb	$3,45 \times 10^{-7}$	$\pm 6,96 \times 10^{-8}$	$2,65 \times 10^{-7}$
Th	$3,47 \times 10^{-6}$	$\pm 3,28 \times 10^{-7}$	$2,30 \times 10^{-6}$	Th	$2,27 \times 10^{-6}$	$\pm 2,91 \times 10^{-7}$	$1,74 \times 10^{-6}$
U			$4,48 \times 10^{-6}$	U			$2,82 \times 10^{-6}$
W			$3,34 \times 10^{-5}$	W	$3,75 \times 10^{-3}$	$\pm 4,55 \times 10^{-4}$	$3,17 \times 10^{-5}$
Yb			$3,01 \times 10^{-6}$	Yb			$2,29 \times 10^{-6}$
Zn	$1,42 \times 10^{-1}$	$\pm 5,20 \times 10^{-3}$	$3,30 \times 10^{-5}$	Zn	$1,00 \times 10^{-1}$	$\pm 3,69 \times 10^{-3}$	$2,48 \times 10^{-5}$
Zr			$1,37 \times 10^{-3}$	Zr			$1,03 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (n° da amostra)			Elem.	Local de coleta (n° da amostra)		
	CDTN (33)				E. E. Dep. Cláudio Pinheiro (34)		
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$3,39 \times 10^{-6}$	Ag			$4,73 \times 10^{-6}$
As	$2,55 \times 10^{-5}$	$\pm 3,10 \times 10^{-6}$	$1,17 \times 10^{-5}$	As			$1,65 \times 10^{-5}$
Au			$7,53 \times 10^{-8}$	Au			$7,40 \times 10^{-8}$
Ba	$1,18 \times 10^{-1}$	$\pm 4,94 \times 10^{-3}$	$5,74 \times 10^{-4}$	Ba	$1,43 \times 10^{-1}$	$\pm 5,57 \times 10^{-3}$	$3,07 \times 10^{-4}$
Br	$1,46 \times 10^{-5}$	$\pm 1,68 \times 10^{-6}$	$9,61 \times 10^{-6}$	Br			$1,30 \times 10^{-5}$
Ca	$2,83 \times 10^{-2}$	$\pm 7,63 \times 10^{-3}$	$2,08 \times 10^{-2}$	Ca	$4,96 \times 10^{-2}$	$\pm 5,46 \times 10^{-3}$	$1,16 \times 10^{-2}$
Cd			$7,30 \times 10^{-5}$	Cd			$9,74 \times 10^{-5}$
Ce	$1,56 \times 10^{-5}$	$\pm 1,70 \times 10^{-6}$	$9,41 \times 10^{-6}$	Ce	$1,61 \times 10^{-5}$	$\pm 2,06 \times 10^{-6}$	$9,84 \times 10^{-6}$
Co	$1,28 \times 10^{-6}$	$\pm 7,53 \times 10^{-8}$	$2,09 \times 10^{-7}$	Co	$3,27 \times 10^{-6}$	$\pm 1,48 \times 10^{-7}$	$2,91 \times 10^{-7}$
Cr	$8,43 \times 10^{-5}$	$\pm 5,69 \times 10^{-6}$	$2,17 \times 10^{-5}$	Cr	$1,73 \times 10^{-4}$	$\pm 9,28 \times 10^{-6}$	$1,90 \times 10^{-5}$
Cs	$1,64 \times 10^{-6}$	$\pm 1,83 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-6}$	Cs	$2,19 \times 10^{-6}$	$\pm 1,92 \times 10^{-7}$	$1,70 \times 10^{-6}$
Eu			$8,73 \times 10^{-8}$	Eu	$1,17 \times 10^{-6}$	$\pm 1,84 \times 10^{-7}$	$1,15 \times 10^{-7}$
Fe	$6,83 \times 10^{-3}$	$\pm 2,80 \times 10^{-4}$	$2,29 \times 10^{-4}$	Fe	$2,07 \times 10^{-2}$	$\pm 7,77 \times 10^{-4}$	$2,64 \times 10^{-4}$
Hf	$3,12 \times 10^{-5}$	$\pm 5,69 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-6}$	Hf	$3,27 \times 10^{-5}$	$\pm 4,15 \times 10^{-6}$	$1,47 \times 10^{-6}$
Hg			$5,05 \times 10^{-6}$	Hg			$5,80 \times 10^{-6}$
K			$6,37 \times 10^{-2}$	K			$9,07 \times 10^{-2}$
La	$7,98 \times 10^{-6}$	$\pm 1,01 \times 10^{-6}$	$2,07 \times 10^{-6}$	La	$9,56 \times 10^{-6}$	$\pm 1,16 \times 10^{-6}$	$1,14 \times 10^{-6}$
Na	$1,92 \times 10^{-1}$	$\pm 7,94 \times 10^{-3}$	$2,42 \times 10^{-4}$	Na	$2,33 \times 10^{-1}$	$\pm 9,72 \times 10^{-3}$	$3,38 \times 10^{-4}$
Nd			$4,35 \times 10^{-5}$	Nd			$2,33 \times 10^{-5}$
Rb			$5,97 \times 10^{-5}$	Rb	$6,65 \times 10^{-5}$	$\pm 7,26 \times 10^{-6}$	$3,07 \times 10^{-5}$
Sb	$1,12 \times 10^{-5}$	$\pm 6,90 \times 10^{-7}$	$4,37 \times 10^{-7}$	Sb	$1,36 \times 10^{-5}$	$\pm 8,61 \times 10^{-7}$	$5,39 \times 10^{-7}$
Sc	$1,36 \times 10^{-6}$	$\pm 6,28 \times 10^{-8}$	$4,16 \times 10^{-8}$	Sc	$1,64 \times 10^{-6}$	$\pm 7,17 \times 10^{-8}$	$5,80 \times 10^{-8}$
Se			$5,36 \times 10^{-6}$	Se			$1,34 \times 10^{-5}$
Sm	$1,33 \times 10^{-6}$	$\pm 1,15 \times 10^{-7}$	$3,71 \times 10^{-7}$	Sm	$2,20 \times 10^{-6}$	$\pm 2,68 \times 10^{-7}$	$4,90 \times 10^{-7}$
Sr			$6,98 \times 10^{-4}$	Sr	$4,47 \times 10^{-3}$	$\pm 1,07 \times 10^{-3}$	$7,79 \times 10^{-4}$
Ta	$2,02 \times 10^{-7}$	$\pm 3,66 \times 10^{-8}$	$1,70 \times 10^{-7}$	Ta	$8,26 \times 10^{-6}$	$\pm 3,68 \times 10^{-7}$	$2,33 \times 10^{-7}$
Tb	$3,69 \times 10^{-7}$	$\pm 5,73 \times 10^{-8}$	$2,27 \times 10^{-7}$	Tb			$2,87 \times 10^{-7}$
Th	$1,83 \times 10^{-6}$	$\pm 2,84 \times 10^{-7}$	$1,49 \times 10^{-6}$	Th	$2,11 \times 10^{-6}$	$\pm 3,30 \times 10^{-7}$	$1,28 \times 10^{-6}$
U			$3,03 \times 10^{-6}$	U			$4,04 \times 10^{-6}$
W	$4,15 \times 10^{-3}$	$\pm 4,38 \times 10^{-4}$	$2,69 \times 10^{-5}$	W			$3,58 \times 10^{-5}$
Yb			$1,97 \times 10^{-6}$	Yb	$1,94 \times 10^{-6}$	$\pm 2,58 \times 10^{-7}$	$1,60 \times 10^{-6}$
Zn	$9,51 \times 10^{-2}$	$\pm 3,46 \times 10^{-3}$	$2,08 \times 10^{-5}$	Zn	$1,17 \times 10^{-1}$	$\pm 5,08 \times 10^{-3}$	$2,76 \times 10^{-5}$
Zr	$1,32 \times 10^{-3}$	$\pm 2,07 \times 10^{-4}$	$8,65 \times 10^{-4}$	Zr	$1,43 \times 10^{-3}$	$\pm 1,55 \times 10^{-4}$	$1,14 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (n <sup>o</sup> da amostra)		Elem.	Local de coleta (n <sup>o</sup> da amostra)	
	E. E. Dep. Cláudio Pinheiro (35)			E. E. Dep. Cláudio Pinheiro (36)	
	Concentração (µg.m <sup>-3</sup> )	Lim. Detecção		Concentração (µg.m <sup>-3</sup> )	Lim. Detecção
Ag		1,41x10 <sup>-5</sup>	Ag		1,17x10 <sup>-5</sup>
As		3,86x10 <sup>-5</sup>	As		5,26x10 <sup>-5</sup>
Au		7,61x10 <sup>-8</sup>	Au		1,21x10 <sup>-7</sup>
Ba	1,95x10 <sup>-1</sup> ± 7,59x10 <sup>-3</sup>	6,22x10 <sup>-4</sup>	Ba	1,67x10 <sup>-1</sup> ± 6,42x10 <sup>-3</sup>	7,32x10 <sup>-4</sup>
Br	2,99x10 <sup>-5</sup> ± 3,32x10 <sup>-6</sup>	1,87x10 <sup>-5</sup>	Br		2,99x10 <sup>-5</sup>
Ca	6,60x10 <sup>-2</sup> ± 1,02x10 <sup>-2</sup>	3,46x10 <sup>-2</sup>	Ca	6,41x10 <sup>-2</sup> ± 1,15x10 <sup>-2</sup>	4,85x10 <sup>-2</sup>
Cd		9,61x10 <sup>-5</sup>	Cd		1,51x10 <sup>-4</sup>
Ce		1,91x10 <sup>-5</sup>	Ce		1,52x10 <sup>-5</sup>
Co	3,91x10 <sup>-6</sup> ± 2,40x10 <sup>-7</sup>	1,11x10 <sup>-6</sup>	Co	3,49x10 <sup>-6</sup> ± 2,22x10 <sup>-7</sup>	8,65x10 <sup>-7</sup>
Cr	4,27x10 <sup>-4</sup> ± 1,80x10 <sup>-5</sup>	4,45x10 <sup>-5</sup>	Cr	3,38x10 <sup>-4</sup> ± 1,77x10 <sup>-5</sup>	3,46x10 <sup>-5</sup>
Cs		3,26x10 <sup>-6</sup>	Cs		2,51x10 <sup>-6</sup>
Eu		4,21x10 <sup>-7</sup>	Eu		3,28x10 <sup>-7</sup>
Fe	1,73x10 <sup>-2</sup> ± 7,88x10 <sup>-4</sup>	8,59x10 <sup>-4</sup>	Fe	1,42x10 <sup>-2</sup> ± 5,65x10 <sup>-4</sup>	6,89x10 <sup>-4</sup>
Hf	3,73x10 <sup>-5</sup> ± 1,68x10 <sup>-6</sup>	2,83x10 <sup>-6</sup>	Hf	4,94x10 <sup>-5</sup> ± 1,26x10 <sup>-5</sup>	2,28x10 <sup>-6</sup>
Hg		1,19x10 <sup>-5</sup>	Hg		9,27x10 <sup>-6</sup>
K	1,23x10 <sup>-1</sup> ± 1,34x10 <sup>-2</sup>	3,52x10 <sup>-2</sup>	K	1,24x10 <sup>-1</sup> ± 1,15x10 <sup>-2</sup>	3,37x10 <sup>-2</sup>
La	1,16x10 <sup>-5</sup> ± 2,04x10 <sup>-6</sup>	1,73x10 <sup>-6</sup>	La	1,91x10 <sup>-5</sup> ± 2,00x10 <sup>-6</sup>	2,42x10 <sup>-6</sup>
Na	3,45x10 <sup>-1</sup> ± 2,65x10 <sup>-2</sup>	2,76x10 <sup>-4</sup>	Na	2,85x10 <sup>-1</sup> ± 1,71x10 <sup>-2</sup>	2,65x10 <sup>-4</sup>
Nd		5,39x10 <sup>-5</sup>	Nd		5,49x10 <sup>-5</sup>
Rb	9,63x10 <sup>-5</sup> ± 1,27x10 <sup>-5</sup>	8,50x10 <sup>-5</sup>	Rb	9,55x10 <sup>-5</sup> ± 2,24x10 <sup>-5</sup>	6,96x10 <sup>-5</sup>
Sb	2,13x10 <sup>-5</sup> ± 1,22x10 <sup>-6</sup>	1,38x10 <sup>-6</sup>	Sb	2,00x10 <sup>-5</sup> ± 2,15x10 <sup>-6</sup>	1,37x10 <sup>-6</sup>
Sc	2,39x10 <sup>-6</sup> ± 1,03x10 <sup>-7</sup>	1,09x10 <sup>-7</sup>	Sc	1,75x10 <sup>-6</sup> ± 8,17x10 <sup>-8</sup>	8,78x10 <sup>-8</sup>
Se		2,68x10 <sup>-5</sup>	Se		2,08x10 <sup>-5</sup>
Sm	3,29x10 <sup>-6</sup> ± 7,11x10 <sup>-7</sup>	5,70x10 <sup>-7</sup>	Sm	2,00x10 <sup>-6</sup> ± 2,01x10 <sup>-7</sup>	9,15x10 <sup>-7</sup>
Sr		1,50x10 <sup>-3</sup>	Sr		1,22x10 <sup>-3</sup>
Ta		5,98x10 <sup>-7</sup>	Ta		5,61x10 <sup>-7</sup>
Tb		9,22x10 <sup>-7</sup>	Tb		6,91x10 <sup>-7</sup>
Th		3,02x10 <sup>-6</sup>	Th		2,36x10 <sup>-6</sup>
U		3,69x10 <sup>-6</sup>	U		3,49x10 <sup>-6</sup>
W		1,08x10 <sup>-4</sup>	W		1,01x10 <sup>-4</sup>
Yb	3,12x10 <sup>-6</sup> ± 3,77x10 <sup>-7</sup>	2,49x10 <sup>-6</sup>	Yb		3,10x10 <sup>-6</sup>
Zn	1,56x10 <sup>-1</sup> ± 6,50x10 <sup>-3</sup>	5,70x10 <sup>-5</sup>	Zn	1,34x10 <sup>-1</sup> ± 4,97x10 <sup>-3</sup>	5,00x10 <sup>-5</sup>
Zr		2,73x10 <sup>-3</sup>	Zr		2,12x10 <sup>-3</sup>



Elem.	Local de coleta (n° da amostra)		Elem.	Local de coleta (n° da amostra)	
	CDTN (37)			UFMG (38)	
	Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$1,16 \times 10^{-5}$	Ag		$7,41 \times 10^{-6}$
As		$7,15 \times 10^{-5}$	As	$2,51 \times 10^{-5} \pm 4,12 \times 10^{-6}$	$1,56 \times 10^{-5}$
Au		$1,17 \times 10^{-7}$	Au		$4,88 \times 10^{-8}$
Ba	$1,66 \times 10^{-1} \pm 6,51 \times 10^{-3}$	$7,93 \times 10^{-4}$	Ba	$1,10 \times 10^{-1} \pm 4,49 \times 10^{-3}$	$5,05 \times 10^{-4}$
Br	$3,65 \times 10^{-5} \pm 3,76 \times 10^{-5}$	$3,12 \times 10^{-5}$	Br		$1,48 \times 10^{-5}$
Ca	$7,31 \times 10^{-2} \pm 1,18 \times 10^{-2}$	$5,27 \times 10^{-2}$	Ca		$3,51 \times 10^{-2}$
Cd		$1,47 \times 10^{-4}$	Cd		$1,03 \times 10^{-4}$
Ce	$2,51 \times 10^{-5} \pm 2,85 \times 10^{-6}$	$1,59 \times 10^{-5}$	Ce	$1,27 \times 10^{-5} \pm 2,04 \times 10^{-6}$	$1,02 \times 10^{-5}$
Co	$3,33 \times 10^{-6} \pm 2,06 \times 10^{-7}$	$8,74 \times 10^{-7}$	Co	$1,38 \times 10^{-6} \pm 1,17 \times 10^{-7}$	$6,09 \times 10^{-7}$
Cr	$1,01 \times 10^{-4} \pm 7,19 \times 10^{-6}$	$3,72 \times 10^{-5}$	Cr	$8,00 \times 10^{-5} \pm 4,95 \times 10^{-6}$	$2,39 \times 10^{-5}$
Cs	$3,32 \times 10^{-6} \pm 4,50 \times 10^{-7}$	$2,67 \times 10^{-6}$	Cs		$1,40 \times 10^{-6}$
Eu		$3,47 \times 10^{-7}$	Eu		$2,22 \times 10^{-7}$
Fe	$2,49 \times 10^{-2} \pm 9,36 \times 10^{-4}$	$7,20 \times 10^{-4}$	Fe	$5,74 \times 10^{-3} \pm 2,61 \times 10^{-4}$	$4,79 \times 10^{-4}$
Hf	$7,28 \times 10^{-5} \pm 2,86 \times 10^{-5}$	$2,34 \times 10^{-6}$	Hf	$3,29 \times 10^{-5} \pm 6,21 \times 10^{-6}$	$1,44 \times 10^{-6}$
Hg		$9,90 \times 10^{-6}$	Hg		$6,33 \times 10^{-6}$
K	$1,25 \times 10^{-1} \pm 1,22 \times 10^{-1}$	$4,46 \times 10^{-1}$	K	$7,63 \times 10^{-2} \pm 1,23 \times 10^{-2}$	$4,41 \times 10^{-2}$
La		$1,20 \times 10^{-5}$	La	$6,73 \times 10^{-6} \pm 9,73 \times 10^{-7}$	$1,67 \times 10^{-6}$
Na	$9,91 \times 10^{-1} \pm 1,41$	$2,19 \times 10^{-3}$	Na	$1,90 \times 10^{-1} \pm 1,25 \times 10^{-2}$	$2,13 \times 10^{-4}$
Nd		$6,30 \times 10^{-5}$	Nd		$2,34 \times 10^{-5}$
Rb		$7,58 \times 10^{-5}$	Rb		$4,83 \times 10^{-5}$
Sb	$1,50 \times 10^{-5} \pm 1,84 \times 10^{-5}$	$1,34 \times 10^{-6}$	Sb	$1,44 \times 10^{-5} \pm 7,13 \times 10^{-7}$	$8,30 \times 10^{-7}$
Sc	$3,02 \times 10^{-6} \pm 1,26 \times 10^{-7}$	$1,03 \times 10^{-7}$	Sc	$1,29 \times 10^{-6} \pm 5,97 \times 10^{-8}$	$6,53 \times 10^{-8}$
Se	$5,35 \times 10^{-5} \pm 5,40 \times 10^{-6}$	$1,59 \times 10^{-5}$	Se		$1,40 \times 10^{-5}$
Sm	$2,97 \times 10^{-5} \pm 1,75 \times 10^{-6}$	$8,76 \times 10^{-7}$	Sm	$1,18 \times 10^{-6} \pm 9,31 \times 10^{-8}$	$5,36 \times 10^{-7}$
Sr		$1,31 \times 10^{-3}$	Sr		$8,00 \times 10^{-4}$
Ta	$3,64 \times 10^{-6} \pm 7,94 \times 10^{-7}$	$5,88 \times 10^{-7}$	Ta		$1,89 \times 10^{-7}$
Tb		$5,96 \times 10^{-7}$	Tb		$4,28 \times 10^{-7}$
Th	$4,07 \times 10^{-6} \pm 3,86 \times 10^{-7}$	$2,53 \times 10^{-6}$	Th		$1,63 \times 10^{-6}$
U		$5,58 \times 10^{-6}$	U		$3,10 \times 10^{-6}$
W		$2,55 \times 10^{-4}$	W		$3,67 \times 10^{-5}$
Yb		$3,33 \times 10^{-6}$	Yb		$2,12 \times 10^{-6}$
Zn	$1,18 \times 10^{-1} \pm 1,09 \times 10^{-2}$	$5,42 \times 10^{-5}$	Zn	$8,86 \times 10^{-2} \pm 4,71 \times 10^{-3}$	$3,35 \times 10^{-5}$
Zr		$2,30 \times 10^{-3}$	Zr		$1,46 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)	
	UFMG (39)			UFMG (40)	
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$1,80 \times 10^{-5}$	Ag		$1,16 \times 10^{-5}$
As		$2,86 \times 10^{-5}$	As	$3,93 \times 10^{-5} \pm 6,10 \times 10^{-6}$	$2,46 \times 10^{-5}$
Au		$7,01 \times 10^{-8}$	Au		$8,54 \times 10^{-8}$
Ba	$1,78 \times 10^{-1} \pm 7,19 \times 10^{-3}$	$8,00 \times 10^{-4}$	Ba	$1,66 \times 10^{-1} \pm 7,97 \times 10^{-3}$	$5,63 \times 10^{-4}$
Br		$1,83 \times 10^{-5}$	Br		$1,21 \times 10^{-5}$
Ca	$8,36 \times 10^{-2} \pm 1,35 \times 10^{-2}$	$4,62 \times 10^{-2}$	Ca	$6,44 \times 10^{-2} \pm 9,12 \times 10^{-3}$	$3,42 \times 10^{-2}$
Cd		$1,55 \times 10^{-4}$	Cd		$1,11 \times 10^{-4}$
Ce		$2,19 \times 10^{-5}$	Ce	$2,03 \times 10^{-5} \pm 3,60 \times 10^{-6}$	$1,63 \times 10^{-5}$
Co	$3,51 \times 10^{-6} \pm 3,71 \times 10^{-7}$	$1,37 \times 10^{-6}$	Co	$2,45 \times 10^{-6} \pm 1,72 \times 10^{-7}$	$8,44 \times 10^{-7}$
Cr	$1,28 \times 10^{-4} \pm 9,51 \times 10^{-6}$	$5,18 \times 10^{-5}$	Cr	$1,15 \times 10^{-4} \pm 1,58 \times 10^{-5}$	$3,77 \times 10^{-5}$
Cs		$2,29 \times 10^{-6}$	Cs		$2,30 \times 10^{-6}$
Eu	$1,15 \times 10^{-5} \pm 1,38 \times 10^{-6}$	$5,17 \times 10^{-7}$	Eu		$3,34 \times 10^{-7}$
Fe	$1,45 \times 10^{-2} \pm 6,00 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-3}$	Fe	$1,05 \times 10^{-2} \pm 4,81 \times 10^{-4}$	$7,37 \times 10^{-4}$
Hf	$5,58 \times 10^{-5} \pm 1,22 \times 10^{-5}$	$3,23 \times 10^{-6}$	Hf	$5,86 \times 10^{-5} \pm 1,61 \times 10^{-5}$	$2,27 \times 10^{-6}$
Hg		$1,36 \times 10^{-5}$	Hg		$9,95 \times 10^{-6}$
K		$8,29 \times 10^{-2}$	K	$1,20 \times 10^{-1} \pm 2,09 \times 10^{-2}$	$7,54 \times 10^{-2}$
La	$1,43 \times 10^{-5} \pm 1,81 \times 10^{-6}$	$2,33 \times 10^{-6}$	La	$1,27 \times 10^{-5} \pm 1,46 \times 10^{-6}$	$1,71 \times 10^{-6}$
Na	$2,92 \times 10^{-1} \pm 1,98 \times 10^{-2}$	$3,93 \times 10^{-4}$	Na	$2,76 \times 10^{-1} \pm 1,61 \times 10^{-2}$	$3,54 \times 10^{-4}$
Nd		$6,96 \times 10^{-5}$	Nd		$4,85 \times 10^{-5}$
Rb		$8,70 \times 10^{-5}$	Rb		$7,01 \times 10^{-5}$
Sb	$3,52 \times 10^{-5} \pm 1,57 \times 10^{-6}$	$1,82 \times 10^{-6}$	Sb	$1,83 \times 10^{-5} \pm 9,79 \times 10^{-7}$	$1,37 \times 10^{-6}$
Sc	$2,53 \times 10^{-6} \pm 1,20 \times 10^{-7}$	$1,36 \times 10^{-7}$	Sc	$2,08 \times 10^{-6} \pm 1,38 \times 10^{-7}$	$9,71 \times 10^{-8}$
Se		$3,00 \times 10^{-5}$	Se	$7,26 \times 10^{-4} \pm 3,11 \times 10^{-5}$	$1,56 \times 10^{-5}$
Sm	$2,38 \times 10^{-6} \pm 2,45 \times 10^{-7}$	$9,43 \times 10^{-7}$	Sm	$2,15 \times 10^{-6} \pm 2,02 \times 10^{-7}$	$6,69 \times 10^{-7}$
Sr		$1,82 \times 10^{-3}$	Sr		$1,27 \times 10^{-3}$
Ta		$4,97 \times 10^{-7}$	Ta		$5,92 \times 10^{-7}$
Tb		$1,08 \times 10^{-6}$	Tb		$7,25 \times 10^{-7}$
Th		$3,52 \times 10^{-6}$	Th		$2,57 \times 10^{-6}$
U		$5,80 \times 10^{-6}$	U		$3,82 \times 10^{-6}$
W		$6,59 \times 10^{-5}$	W		$5,74 \times 10^{-5}$
Yb		$3,56 \times 10^{-6}$	Yb		$2,46 \times 10^{-6}$
Zn	$1,39 \times 10^{-1} \pm 5,20 \times 10^{-3}$	$7,09 \times 10^{-5}$	Zn	$1,37 \times 10^{-1} \pm 7,00 \times 10^{-3}$	$5,32 \times 10^{-5}$
Zr		$3,15 \times 10^{-3}$	Zr		$2,30 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (n <sup>o</sup> da amostra)		Elem.	Local de coleta (n <sup>o</sup> da amostra)	
	Empresa de Transporte (41)			Empresa de Transporte (42)	
	Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$5,65 \times 10^{-6}$	Ag		$6,43 \times 10^{-6}$
As		$1,14 \times 10^{-5}$	As		$1,35 \times 10^{-5}$
Au		$1,32 \times 10^{-7}$	Au		$8,27 \times 10^{-8}$
Ba	$6,86 \times 10^{-2} \pm 3,15 \times 10^{-3}$	$3,94 \times 10^{-4}$	Ba	$8,40 \times 10^{-2} \pm 3,36 \times 10^{-3}$	$4,61 \times 10^{-4}$
Br		$6,44 \times 10^{-6}$	Br		$7,04 \times 10^{-6}$
Ca		$3,76 \times 10^{-2}$	Ca	$3,83 \times 10^{-2} \pm 7,64 \times 10^{-3}$	$2,70 \times 10^{-2}$
Cd		$1,03 \times 10^{-4}$	Cd		$1,07 \times 10^{-4}$
Ce		$7,56 \times 10^{-6}$	Ce	$9,98 \times 10^{-6} \pm 2,31 \times 10^{-6}$	$8,92 \times 10^{-6}$
Co	$1,66 \times 10^{-6} \pm 1,05 \times 10^{-7}$	$4,42 \times 10^{-7}$	Co	$2,63 \times 10^{-6} \pm 1,37 \times 10^{-7}$	$5,25 \times 10^{-7}$
Cr	$4,23 \times 10^{-5} \pm 5,05 \times 10^{-6}$	$1,78 \times 10^{-5}$	Cr	$5,00 \times 10^{-5} \pm 4,26 \times 10^{-6}$	$2,11 \times 10^{-5}$
Cs		$1,25 \times 10^{-6}$	Cs		$1,47 \times 10^{-6}$
Eu		$1,99 \times 10^{-7}$	Eu		$1,90 \times 10^{-7}$
Fe	$2,21 \times 10^{-3} \pm 2,50 \times 10^{-4}$	$3,53 \times 10^{-4}$	Fe	$4,68 \times 10^{-3} \pm 2,33 \times 10^{-4}$	$4,24 \times 10^{-4}$
Hf	$3,64 \times 10^{-5} \pm 1,30 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-6}$	Hf	$3,68 \times 10^{-5} \pm 8,49 \times 10^{-6}$	$1,25 \times 10^{-6}$
Hg		$4,65 \times 10^{-6}$	Hg		$5,49 \times 10^{-6}$
K		$2,88 \times 10^{-2}$	K		$3,52 \times 10^{-2}$
La	$6,73 \times 10^{-6} \pm 3,34 \times 10^{-6}$	$2,66 \times 10^{-6}$	La	$4,66 \times 10^{-6} \pm 1,15 \times 10^{-6}$	$1,68 \times 10^{-6}$
Na	$1,24 \times 10^{-1} \pm 5,49 \times 10^{-3}$	$1,44 \times 10^{-4}$	Na	$1,46 \times 10^{-1} \pm 6,08 \times 10^{-3}$	$1,72 \times 10^{-4}$
Nd		$1,26 \times 10^{-4}$	Nd		$3,76 \times 10^{-5}$
Rb		$2,88 \times 10^{-5}$	Rb		$4,38 \times 10^{-5}$
Sb	$3,02 \times 10^{-6} \pm 7,77 \times 10^{-7}$	$6,65 \times 10^{-7}$	Sb	$6,03 \times 10^{-6} \pm 4,72 \times 10^{-7}$	$7,70 \times 10^{-7}$
Sc		$7,63 \times 10^{-8}$	Sc	$7,65 \times 10^{-7} \pm 4,74 \times 10^{-8}$	$5,54 \times 10^{-8}$
Se		$1,02 \times 10^{-5}$	Se		$1,20 \times 10^{-5}$
Sm	$9,06 \times 10^{-7} \pm 9,76 \times 10^{-8}$	$3,91 \times 10^{-7}$	Sm	$9,98 \times 10^{-7} \pm 9,42 \times 10^{-8}$	$4,50 \times 10^{-7}$
Sr		$6,20 \times 10^{-4}$	Sr		$7,32 \times 10^{-4}$
Ta		$1,36 \times 10^{-7}$	Ta		$2,39 \times 10^{-7}$
Tb		$5,17 \times 10^{-7}$	Tb		$4,06 \times 10^{-7}$
Th		$1,00 \times 10^{-6}$	Th		$1,38 \times 10^{-6}$
U		$1,72 \times 10^{-6}$	U		$2,73 \times 10^{-6}$
W		$2,51 \times 10^{-5}$	W		$2,90 \times 10^{-5}$
Yb		$1,86 \times 10^{-6}$	Yb		$2,23 \times 10^{-6}$
Zn	$2,23 \times 10^{-2} \pm 5,87 \times 10^{-3}$	$2,40 \times 10^{-5}$	Zn	$5,81 \times 10^{-2} \pm 5,53 \times 10^{-3}$	$2,82 \times 10^{-5}$
Zr		$4,81 \times 10^{-1}$	Zr		$9,97 \times 10^{-4}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)	
	Empresa de Transporte (43)			CDTN (44)	
	Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$1,23 \times 10^{-5}$	Ag		$7,43 \times 10^{-6}$
As		$5,65 \times 10^{-5}$	As		$3,02 \times 10^{-5}$
Au		$1,47 \times 10^{-7}$	Au		$5,73 \times 10^{-8}$
Ba	$1,36 \times 10^{-1} \pm 6,48 \times 10^{-3}$	$8,41 \times 10^{-4}$	Ba	$7,58 \times 10^{-2} \pm 3,05 \times 10^{-3}$	$3,03 \times 10^{-4}$
Br		$4,59 \times 10^{-5}$	Br		$1,02 \times 10^{-5}$
Ca	$6,27 \times 10^{-2} \pm 1,33 \times 10^{-2}$	$4,70 \times 10^{-2}$	Ca	$3,00 \times 10^{-2} \pm 5,17 \times 10^{-3}$	$1,80 \times 10^{-2}$
Cd		$2,01 \times 10^{-4}$	Cd		$7,87 \times 10^{-5}$
Ce		$1,08 \times 10^{-5}$	Ce	$1,04 \times 10^{-4} \pm 3,92 \times 10^{-6}$	$9,44 \times 10^{-6}$
Co	$1,05 \times 10^{-5} \pm 4,58 \times 10^{-7}$	$8,93 \times 10^{-7}$	Co	$1,59 \times 10^{-6} \pm 1,52 \times 10^{-7}$	$5,33 \times 10^{-7}$
Cr	$2,27 \times 10^{-4} \pm 1,16 \times 10^{-5}$	$3,85 \times 10^{-5}$	Cr	$1,01 \times 10^{-4} \pm 4,79 \times 10^{-6}$	$2,25 \times 10^{-5}$
Cs		$2,18 \times 10^{-6}$	Cs		$1,46 \times 10^{-6}$
Eu		$3,44 \times 10^{-7}$	Eu		$2,15 \times 10^{-7}$
Fe	$1,30 \times 10^{-2} \pm 5,60 \times 10^{-4}$	$7,41 \times 10^{-4}$	Fe	$4,30 \times 10^{-3} \pm 2,11 \times 10^{-4}$	$4,71 \times 10^{-4}$
Hf	$2,85 \times 10^{-5} \pm 1,71 \times 10^{-6}$	$2,23 \times 10^{-6}$	Hf	$2,17 \times 10^{-5} \pm 1,04 \times 10^{-6}$	$1,35 \times 10^{-6}$
Hg		$1,57 \times 10^{-6}$	Hg		$5,68 \times 10^{-6}$
K	$9,02 \times 10^{-2} \pm 1,24 \times 10^{-2}$	$3,84 \times 10^{-2}$	K	$4,64 \times 10^{-2} \pm 9,26 \times 10^{-3}$	$2,06 \times 10^{-2}$
La		$2,64 \times 10^{-6}$	La	$4,69 \times 10^{-5} \pm 1,96 \times 10^{-6}$	$1,04 \times 10^{-6}$
Na	$2,62 \times 10^{-1} \pm 2,01 \times 10^{-2}$	$2,94 \times 10^{-4}$	Na	$1,47 \times 10^{-1} \pm 1,01 \times 10^{-2}$	$1,56 \times 10^{-4}$
Nd		$6,88 \times 10^{-5}$	Nd		$2,69 \times 10^{-5}$
Rb		$8,42 \times 10^{-5}$	Rb	$4,77 \times 10^{-5} \pm 8,38 \times 10^{-6}$	$3,57 \times 10^{-5}$
Sb	$1,47 \times 10^{-5} \pm 1,99 \times 10^{-6}$	$1,37 \times 10^{-6}$	Sb	$1,98 \times 10^{-5} \pm 9,20 \times 10^{-7}$	$8,98 \times 10^{-7}$
Sc	$2,00 \times 10^{-6} \pm 1,05 \times 10^{-7}$	$9,87 \times 10^{-8}$	Sc	$1,11 \times 10^{-6} \pm 6,09 \times 10^{-8}$	$5,49 \times 10^{-8}$
Se		$2,14 \times 10^{-5}$	Se		$1,20 \times 10^{-5}$
Sm		$1,20 \times 10^{-6}$	Sm	$6,79 \times 10^{-6} \pm 2,77 \times 10^{-7}$	$5,14 \times 10^{-7}$
Sr		$1,27 \times 10^{-3}$	Sr	$3,25 \times 10^{-3} \pm 6,77 \times 10^{-4}$	$7,52 \times 10^{-4}$
Ta		$6,24 \times 10^{-7}$	Ta	$6,08 \times 10^{-7} \pm 6,24 \times 10^{-8}$	$3,56 \times 10^{-7}$
Tb		$4,32 \times 10^{-7}$	Tb	$2,12 \times 10^{-6} \pm 1,01 \times 10^{-7}$	$4,31 \times 10^{-7}$
Th		$2,60 \times 10^{-6}$	Th	$1,23 \times 10^{-5} \pm 4,95 \times 10^{-7}$	$1,53 \times 10^{-6}$
U		$7,13 \times 10^{-6}$	U		$3,02 \times 10^{-6}$
W		$1,14 \times 10^{-4}$	W		$5,64 \times 10^{-5}$
Yb		$3,96 \times 10^{-6}$	Yb	$1,57 \times 10^{-5} \pm 6,17 \times 10^{-7}$	$1,49 \times 10^{-6}$
Zn	$1,10 \times 10^{-1} \pm 5,81 \times 10^{-3}$	$5,01 \times 10^{-5}$	Zn	$5,90 \times 10^{-2} \pm 2,20 \times 10^{-3}$	$2,80 \times 10^{-5}$
Zr		$1,91 \times 10^{-3}$	Zr	$2,07 \times 10^{-3} \pm 3,50 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)			Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		
	CDTN (45)				CDTN (46)		
	Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )		Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )		Lim. Detecção
Ag			$6,71 \times 10^{-6}$	Ag			$9,55 \times 10^{-6}$
As			$2,70 \times 10^{-5}$	As			$3,72 \times 10^{-5}$
Au			$1,05 \times 10^{-7}$	Au			$1,22 \times 10^{-7}$
Ba	$9,81 \times 10^{-2}$	$\pm 3,85 \times 10^{-3}$	$5,17 \times 10^{-4}$	Ba	$1,02 \times 10^{-1}$	$\pm 4,04 \times 10^{-3}$	$5,73 \times 10^{-4}$
Br			$3,60 \times 10^{-5}$	Br			$2,79 \times 10^{-5}$
Ca	$2,98 \times 10^{-2}$	$\pm 7,92 \times 10^{-3}$	$2,90 \times 10^{-2}$	Ca			$3,40 \times 10^{-2}$
Cd			$1,45 \times 10^{-4}$	Cd			$1,68 \times 10^{-4}$
Ce	$1,13 \times 10^{-5}$	$\pm 1,55 \times 10^{-6}$	$9,66 \times 10^{-6}$	Ce			$1,29 \times 10^{-5}$
Co	$1,51 \times 10^{-6}$	$\pm 1,04 \times 10^{-7}$	$5,37 \times 10^{-7}$	Co	$1,45 \times 10^{-6}$	$\pm 1,26 \times 10^{-7}$	$6,50 \times 10^{-7}$
Cr	$7,43 \times 10^{-5}$	$\pm 4,88 \times 10^{-6}$	$2,32 \times 10^{-5}$	Cr	$7,82 \times 10^{-5}$	$\pm 1,13 \times 10^{-5}$	$3,13 \times 10^{-5}$
Cs			$1,50 \times 10^{-6}$	Cs			$7,46 \times 10^{-7}$
Eu			$1,80 \times 10^{-7}$	Eu			$2,66 \times 10^{-7}$
Fe	$7,74 \times 10^{-3}$	$\pm 3,98 \times 10^{-4}$	$4,39 \times 10^{-4}$	Fe	$8,03 \times 10^{-3}$	$\pm 5,12 \times 10^{-4}$	$6,50 \times 10^{-4}$
Hf	$1,85 \times 10^{-5}$	$\pm 8,87 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-6}$	Hf	$1,99 \times 10^{-5}$	$\pm 1,03 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-6}$
Hg			$5,84 \times 10^{-6}$	Hg			$7,85 \times 10^{-6}$
K	$4,70 \times 10^{-2}$	$\pm 7,10 \times 10^{-3}$	$2,37 \times 10^{-2}$	K	$7,23 \times 10^{-2}$	$\pm 9,10 \times 10^{-3}$	$2,81 \times 10^{-2}$
La	$7,53 \times 10^{-6}$	$\pm 1,88 \times 10^{-6}$	$2,06 \times 10^{-6}$	La	$6,70 \times 10^{-6}$	$\pm 1,46 \times 10^{-6}$	$2,59 \times 10^{-6}$
Na	$1,77 \times 10^{-1}$	$\pm 7,23 \times 10^{-3}$	$1,78 \times 10^{-4}$	Na	$1,95 \times 10^{-1}$	$\pm 1,29 \times 10^{-2}$	$2,09 \times 10^{-4}$
Nd			$4,26 \times 10^{-5}$	Nd			$4,83 \times 10^{-5}$
Rb			$5,36 \times 10^{-5}$	Rb			$6,69 \times 10^{-5}$
Sb	$8,96 \times 10^{-6}$	$\pm 6,25 \times 10^{-7}$	$8,22 \times 10^{-7}$	Sb	$8,96 \times 10^{-6}$	$\pm 6,96 \times 10^{-7}$	$1,09 \times 10^{-6}$
Sc	$1,34 \times 10^{-6}$	$\pm 5,49 \times 10^{-8}$	$5,49 \times 10^{-8}$	Sc	$1,36 \times 10^{-6}$	$\pm 6,65 \times 10^{-8}$	$7,57 \times 10^{-8}$
Se			$1,23 \times 10^{-5}$	Se			$1,64 \times 10^{-5}$
Sm	$1,05 \times 10^{-6}$	$\pm 1,53 \times 10^{-7}$	$9,28 \times 10^{-7}$	Sm			$1,08 \times 10^{-6}$
Sr			$7,57 \times 10^{-4}$	Sr			$1,02 \times 10^{-3}$
Ta			$3,36 \times 10^{-7}$	Ta			$5,09 \times 10^{-7}$
Tb	$4,35 \times 10^{-4}$	$\pm 5,64 \times 10^{-4}$	$4,37 \times 10^{-7}$	Tb			$5,08 \times 10^{-7}$
Th	$1,69 \times 10^{-6}$	$\pm 2,77 \times 10^{-7}$	$1,60 \times 10^{-6}$	Th			$2,16 \times 10^{-6}$
U			$5,19 \times 10^{-6}$	U			$1,70 \times 10^{-6}$
W			$6,20 \times 10^{-5}$	W			$7,28 \times 10^{-5}$
Yb			$2,03 \times 10^{-6}$	Yb			$3,01 \times 10^{-6}$
Zn	$7,70 \times 10^{-2}$	$\pm 2,88 \times 10^{-3}$	$2,81 \times 10^{-5}$	Zn	$7,50 \times 10^{-2}$	$\pm 8,16 \times 10^{-3}$	$3,76 \times 10^{-5}$
Zr			$1,39 \times 10^{-3}$	Zr			$9,61 \times 10^{-1}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)	
	UFMG (47)			UFMG (48)	
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$8,83 \times 10^{-6}$	Ag		$7,00 \times 10^{-6}$
As		$6,81 \times 10^{-5}$	As	$2,32 \times 10^{-5} \pm 4,18 \times 10^{-6}$	$2,03 \times 10^{-5}$
Au		$1,37 \times 10^{-7}$	Au		$1,19 \times 10^{-7}$
Ba	$9,20 \times 10^{-2} \pm 4,42 \times 10^{-3}$	$6,22 \times 10^{-4}$	Ba	$9,45 \times 10^{-2} \pm 4,05 \times 10^{-3}$	$5,27 \times 10^{-4}$
Br		$3,89 \times 10^{-5}$	Br		$1,29 \times 10^{-5}$
Ca		$3,49 \times 10^{-2}$	Ca		$3,07 \times 10^{-2}$
Cd		$1,92 \times 10^{-4}$	Cd		$1,65 \times 10^{-4}$
Ce		$1,15 \times 10^{-5}$	Ce		$9,94 \times 10^{-6}$
Co	$1,60 \times 10^{-6} \pm 1,22 \times 10^{-7}$	$6,41 \times 10^{-7}$	Co	$8,71 \times 10^{-7} \pm 8,53 \times 10^{-8}$	$5,49 \times 10^{-7}$
Cr	$8,28 \times 10^{-5} \pm 7,14 \times 10^{-6}$	$2,81 \times 10^{-5}$	Cr	$6,27 \times 10^{-5} \pm 5,23 \times 10^{-6}$	$2,42 \times 10^{-5}$
Cs		$1,81 \times 10^{-6}$	Cs		$1,54 \times 10^{-6}$
Eu		$2,49 \times 10^{-7}$	Eu		$1,94 \times 10^{-7}$
Fe	$6,42 \times 10^{-3} \pm 2,90 \times 10^{-4}$	$5,82 \times 10^{-4}$	Fe	$4,50 \times 10^{-3} \pm 2,16 \times 10^{-4}$	$4,68 \times 10^{-4}$
Hf	$3,17 \times 10^{-5} \pm 8,30 \times 10^{-6}$	$1,58 \times 10^{-6}$	Hf	$2,84 \times 10^{-5} \pm 6,38 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^{-6}$
Hg		$6,96 \times 10^{-6}$	Hg		$5,98 \times 10^{-6}$
K	$3,08 \times 10^{-1} \pm 2,38 \times 10^{-2}$	$8,21 \times 10^{-2}$	K	$6,71 \times 10^{-2} \pm 8,01 \times 10^{-3}$	$2,61 \times 10^{-2}$
La	$3,12 \times 10^{-5} \pm 5,36 \times 10^{-6}$	$2,59 \times 10^{-6}$	La	$6,86 \times 10^{-6} \pm 1,13 \times 10^{-6}$	$2,54 \times 10^{-6}$
Na	$9,19 \times 10^{-2} \pm 3,26 \times 10^{-2}$	$5,12 \times 10^{-4}$	Na	$1,79 \times 10^{-1} \pm 7,23 \times 10^{-3}$	$1,58 \times 10^{-4}$
Nd		$5,20 \times 10^{-5}$	Nd		$4,52 \times 10^{-5}$
Rb		$6,63 \times 10^{-5}$	Rb		$5,70 \times 10^{-5}$
Sb	$2,43 \times 10^{-5} \pm 1,47 \times 10^{-5}$	$1,09 \times 10^{-6}$	Sb	$1,06 \times 10^{-5} \pm 6,75 \times 10^{-7}$	$8,60 \times 10^{-7}$
Sc	$1,29 \times 10^{-6} \pm 1,13 \times 10^{-7}$	$6,68 \times 10^{-8}$	Sc	$9,48 \times 10^{-7} \pm 4,58 \times 10^{-8}$	$5,61 \times 10^{-8}$
Se		$1,45 \times 10^{-5}$	Se		$1,24 \times 10^{-5}$
Sm	$5,91 \times 10^{-6} \pm 5,95 \times 10^{-7}$	$1,19 \times 10^{-6}$	Sm	$1,21 \times 10^{-6} \pm 1,79 \times 10^{-7}$	$9,10 \times 10^{-7}$
Sr		$9,01 \times 10^{-4}$	Sr		$8,12 \times 10^{-4}$
Ta		$4,32 \times 10^{-7}$	Ta		$3,62 \times 10^{-7}$
Tb		$3,52 \times 10^{-7}$	Tb		$6,15 \times 10^{-7}$
Th		$1,92 \times 10^{-6}$	Th		$1,52 \times 10^{-6}$
U		$6,66 \times 10^{-6}$	U		$5,93 \times 10^{-6}$
W	$1,66 \times 10^{-3} \pm 1,34 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-4}$	W	$1,58 \times 10^{-3} \pm 1,23 \times 10^{-4}$	$4,14 \times 10^{-5}$
Yb		$2,41 \times 10^{-6}$	Yb		$2,41 \times 10^{-6}$
Zn	$6,58 \times 10^{-2} \pm 8,38 \times 10^{-3}$	$3,31 \times 10^{-5}$	Zn	$7,71 \times 10^{-2} \pm 3,15 \times 10^{-3}$	$2,77 \times 10^{-5}$
Zr		$1,65 \times 10^{-3}$	Zr		$1,36 \times 10^{-3}$

Elem.	Local de coleta (nº da amostra)		Elem.	Local de coleta (nº da amostra)	
	UFMG (49)			Condomínio Retiro do Chalé (50)	
	Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$1,05 \times 10^{-6}$	Ag		$1,78 \times 10^{-6}$
As		$1,59 \times 10^{-7}$	As	$5,85 \times 10^{-6} \pm 1,40 \times 10^{-6}$	$5,24 \times 10^{-6}$
Au		$2,13 \times 10^{-9}$	Au		$2,12 \times 10^{-8}$
Ba		$3,56 \times 10^{-5}$	Ba	$2,64 \times 10^{-2} \pm 1,07 \times 10^{-3}$	$9,48 \times 10^{-5}$
Br		$1,68 \times 10^{-7}$	Br		$3,14 \times 10^{-6}$
Ca		$2,30 \times 10^{-3}$	Ca		$5,39 \times 10^{-3}$
Cd		$1,60 \times 10^{-6}$	Cd		$3,05 \times 10^{-5}$
Ce		$1,61 \times 10^{-6}$	Ce		$2,64 \times 10^{-6}$
Co		$4,14 \times 10^{-7}$	Co	$1,96 \times 10^{-7} \pm 2,19 \times 10^{-8}$	$1,27 \times 10^{-7}$
Cr		$3,27 \times 10^{-6}$	Cr	$1,15 \times 10^{-5} \pm 3,73 \times 10^{-6}$	$6,52 \times 10^{-6}$
Cs		$2,12 \times 10^{-7}$	Cs		$1,74 \times 10^{-7}$
Eu		$3,32 \times 10^{-8}$	Eu		$4,96 \times 10^{-8}$
Fe		$2,56 \times 10^{-4}$	Fe	$7,20 \times 10^{-4} \pm 4,08 \times 10^{-5}$	$1,23 \times 10^{-4}$
Hf		$2,46 \times 10^{-7}$	Hf	$6,53 \times 10^{-6} \pm 1,41 \times 10^{-6}$	$3,59 \times 10^{-7}$
Hg		$8,68 \times 10^{-7}$	Hg		$1,60 \times 10^{-6}$
K		$3,74 \times 10^{-4}$	K	$1,70 \times 10^{-2} \pm 2,07 \times 10^{-3}$	$7,00 \times 10^{-3}$
La		$5,41 \times 10^{-8}$	La	$2,04 \times 10^{-6} \pm 1,37 \times 10^{-6}$	$4,27 \times 10^{-7}$
Na		$3,25 \times 10^{-6}$	Na	$4,51 \times 10^{-2} \pm 1,83 \times 10^{-3}$	$4,24 \times 10^{-5}$
Nd		$2,55 \times 10^{-6}$	Nd		$7,91 \times 10^{-6}$
Rb		$1,11 \times 10^{-5}$	Rb		$1,06 \times 10^{-5}$
Sb		$3,73 \times 10^{-8}$	Sb	$7,95 \times 10^{-7} \pm 1,33 \times 10^{-7}$	$2,26 \times 10^{-7}$
Sc		$2,41 \times 10^{-8}$	Sc	$2,28 \times 10^{-7} \pm 1,75 \times 10^{-8}$	$1,48 \times 10^{-8}$
Se		$1,35 \times 10^{-6}$	Se	$9,21 \times 10^{-6} \pm 8,72 \times 10^{-7}$	$2,26 \times 10^{-6}$
Sm		$6,16 \times 10^{-9}$	Sm	$2,63 \times 10^{-7} \pm 3,78 \times 10^{-8}$	$1,98 \times 10^{-7}$
Sr		$5,49 \times 10^{-5}$	Sr		$2,16 \times 10^{-4}$
Ta		$7,76 \times 10^{-8}$	Ta		$5,77 \times 10^{-8}$
Tb		$4,27 \times 10^{-8}$	Tb		$9,41 \times 10^{-8}$
Th		$2,21 \times 10^{-7}$	Th		$3,84 \times 10^{-7}$
U		$5,69 \times 10^{-8}$	U		$6,02 \times 10^{-7}$
W		$3,17 \times 10^{-7}$	W		$1,06 \times 10^{-5}$
Yb		$1,06 \times 10^{-7}$	Yb		$5,04 \times 10^{-7}$
Zn		$1,21 \times 10^{-5}$	Zn	$2,09 \times 10^{-2} \pm 1,02 \times 10^{-3}$	$7,31 \times 10^{-6}$
Zr		$1,48 \times 10^{-4}$	Zr		$3,79 \times 10^{-4}$

Elem.	Local de coleta (n° da amostra)		Elem.	Local de coleta (n° da amostra)	
	Condomínio Retiro do Chalé (51)			UFMG (52)	
	Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção		Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Lim. Detecção
Ag		$3,05 \times 10^{-6}$	Ag		$7,40 \times 10^{-6}$
As	$1,27 \times 10^{-5} \pm 2,23 \times 10^{-6}$	$9,35 \times 10^{-6}$	As		$2,25 \times 10^{-5}$
Au		$6,48 \times 10^{-8}$	Au		$1,58 \times 10^{-7}$
Ba	$5,10 \times 10^{-2} \pm 2,12 \times 10^{-3}$	$2,43 \times 10^{-4}$	Ba	$8,88 \times 10^{-2} \pm 3,69 \times 10^{-3}$	$6,12 \times 10^{-4}$
Br		$7,52 \times 10^{-6}$	Br		$2,42 \times 10^{-5}$
Ca		$1,47 \times 10^{-2}$	Ca		$3,75 \times 10^{-2}$
Cd		$9,39 \times 10^{-5}$	Cd		$2,29 \times 10^{-4}$
Ce		$4,70 \times 10^{-6}$	Ce		$1,11 \times 10^{-5}$
Co	$3,11 \times 10^{-7} \pm 4,61 \times 10^{-8}$	$2,22 \times 10^{-7}$	Co	$1,06 \times 10^{-6} \pm 1,11 \times 10^{-7}$	$5,78 \times 10^{-7}$
Cr	$3,52 \times 10^{-5} \pm 2,74 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-5}$	Cr	$5,88 \times 10^{-5} \pm 6,78 \times 10^{-6}$	$3,11 \times 10^{-5}$
Cs		$5,01 \times 10^{-7}$	Cs		$1,71 \times 10^{-6}$
Eu		$8,54 \times 10^{-8}$	Eu		$2,14 \times 10^{-7}$
Fe	$2,67 \times 10^{-3} \pm 2,20 \times 10^{-4}$	$2,14 \times 10^{-4}$	Fe	$3,82 \times 10^{-3} \pm 2,58 \times 10^{-4}$	$5,71 \times 10^{-4}$
Hf	$1,77 \times 10^{-5} \pm 7,33 \times 10^{-7}$	$6,34 \times 10^{-7}$	Hf	$1,81 \times 10^{-5} \pm 9,43 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-6}$
Hg		$2,84 \times 10^{-6}$	Hg		$7,33 \times 10^{-6}$
K	$2,97 \times 10^{-2} \pm 3,89 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-2}$	K	$6,12 \times 10^{-2} \pm 9,49 \times 10^{-3}$	$3,28 \times 10^{-2}$
La	$3,51 \times 10^{-6} \pm 4,61 \times 10^{-7}$	$1,29 \times 10^{-6}$	La	$1,01 \times 10^{-5} \pm 1,57 \times 10^{-6}$	$3,29 \times 10^{-6}$
Na	$8,19 \times 10^{-2} \pm 3,97 \times 10^{-3}$	$7,79 \times 10^{-5}$	Na	$1,71 \times 10^{-1} \pm 7,48 \times 10^{-3}$	$1,90 \times 10^{-4}$
Nd		$2,07 \times 10^{-5}$	Nd		$5,04 \times 10^{-5}$
Rb		$2,52 \times 10^{-5}$	Rb		$6,95 \times 10^{-5}$
Sb	$2,09 \times 10^{-6} \pm 2,51 \times 10^{-7}$	$3,59 \times 10^{-7}$	Sb	$1,05 \times 10^{-5} \pm 7,60 \times 10^{-7}$	$9,98 \times 10^{-7}$
Sc	$4,24 \times 10^{-7} \pm 2,07 \times 10^{-8}$	$2,58 \times 10^{-8}$	Sc	$9,03 \times 10^{-7} \pm 7,14 \times 10^{-8}$	$6,48 \times 10^{-8}$
Se		$5,76 \times 10^{-6}$	Se		$1,45 \times 10^{-5}$
Sm	$5,33 \times 10^{-7} \pm 8,14 \times 10^{-8}$	$4,08 \times 10^{-7}$	Sm		$9,55 \times 10^{-7}$
Sr		$3,62 \times 10^{-4}$	Sr		$9,56 \times 10^{-4}$
Ta		$8,44 \times 10^{-8}$	Ta		$4,36 \times 10^{-7}$
Tb		$1,73 \times 10^{-7}$	Tb		$5,55 \times 10^{-7}$
Th		$7,93 \times 10^{-7}$	Th		$1,71 \times 10^{-6}$
U		$3,26 \times 10^{-6}$	U		$3,16 \times 10^{-6}$
W	$1,24 \times 10^{-3} \pm 9,95 \times 10^{-5}$	$1,91 \times 10^{-5}$	W		$4,51 \times 10^{-5}$
Yb		$1,14 \times 10^{-6}$	Yb		$3,46 \times 10^{-6}$
Zn	$4,04 \times 10^{-2} \pm 4,04 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-5}$	Zn	$6,29 \times 10^{-2} \pm 8,77 \times 10^{-3}$	$3,12 \times 10^{-5}$
Zr		$6,06 \times 10^{-4}$	Zr		$1,36 \times 10^{-3}$