

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CARLO CORRÊA SOLCI

**IDENTIFICAÇÃO DE FONTES DE POEIRA SEDIMENTADA POR
BALANÇO DE MASSA QUÍMICA, ANÁLISE DE COMPONENTES
PRINCIPAIS E USO DE CRITÉRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO**

VITÓRIA

2014

CARLO CORRÊA SOLCI

**IDENTIFICAÇÃO DE FONTES DE POEIRA SEDIMENTADA POR
BALANÇO DE MASSA QUÍMICA, ANÁLISE DE COMPONENTES
PRINCIPAIS E USO DE CRITÉRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. M. Sc. Rogério Silveira de Queiroz

VITÓRIA

2014

CARLO CORRÊA SOLCI

**IDENTIFICAÇÃO DE FONTES DE POEIRA SEDIMENTADA POR BALANÇO DE
MASSA QUÍMICA, ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E USO DE
CRITÉRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em 30 de Julho de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. M. Sc. Rogério Silveira de Queiroz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. D. Sc. Juan Sergio Romero Saenz
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. D. Sc. José Joaquim Conceição Soares Santos
Universidade Federal do Espírito Santo

À minha família, principalmente meus pais e avó, que sempre esteve ao meu lado.

Ao meu orientador Rogério Silveira de Queiroz pelo apoio e confiança depositados.

Ao professor Juan Sergio Romero Saenz por sempre estar disposto a me ajudar.

Ao amigo Igor Sousa Mariano Fraga pelo suporte que me deu em momentos difíceis.

À minha namorada Kamila Costa Gomes sem a qual nada disso seria possível.

RESUMO

As composições químicas de amostras de poeira sedimentada recolhidas em um mesmo local durante 104 meses, determinada por PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*) e TOT (*Thermo Optical Transmittance*), foram utilizadas para a definição de suas fontes.

O problema inverso abordado é complexo devido às possibilidades de colinearidade (fontes com perfis químicos próximos).

O ferramental utilizado na forma de softwares livres constou de balanço químico de massa (CMB) e fatoração positiva da matriz (PMF) conforme recomendado pela EPA (*US Environmental Protection Agency*).

Métodos complementares foram usados como critérios de tomada de decisão com base em notas (*scores*) especializadas para avaliação da melhor solução dentre as possíveis apontadas pelo CMB e a separação de fontes internas dos fatores gerados pelo PMF.

Os resultados mostram coerência entre os métodos PMF e CMB, quando desenvolvidos os métodos complementares, indicando que a metodologia proposta é utilizável para a separação de fontes em problemas complexos e com possíveis colinearidades.

Palavras chave: definição de fontes, colinearidade, CMB e PMF, critérios de tomada de decisão e separação de fontes internas

ABSTRACT

The chemical compositions of samples of sedimented dust collected in the same place during 104 months, determined by PIXE and TOT, were utilized to the definition of their sources.

The inverse problem dealt with is complex due to the possibilities of collinearity (sources with close chemical profiles).

The tooling utilized in the form of free softwares consisted of chemical mass balance (CMB) and positive matrix factorization (PMF) according to US EPA recommendations.

Complementary methods were used as a way of decision making criteria based on specialized grades to evaluate the best solution among the possible appointed by CMB and the separation of internal sources of the factors generated by PMF.

The results showed coherence between the methods PMF and CMB, when the complementary methods were developed, showing that the proposed methodology is usable for the separation of sources in complex problems and with possible collinearity.

Keywords: sources definition, collinearity, CMB and PMF, decision making criteria and separation of internal sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo do método desenvolvido por “Shi” (Shi, 2009, p. 2)	23
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – <i>Factor Fingerprints</i>	43
Gráfico 2 – Perfis/Contribuições do Fator 1	44
Gráfico 3 – Perfis/Contribuições do Fator 2	45
Gráfico 4 – Perfis/Contribuições do Fator 3	46
Gráfico 5 – Perfis/Contribuições do Fator 4 e Gráfico com Contribuições de Todos os Fatores	47
Gráfico 6 – Contribuições aos fatores de PS, Na, Mg e Al	48
Gráfico 7 – Contribuições aos fatores de Si, S, Cl e K	49
Gráfico 8 – Contribuições aos fatores de Ca, Sc, Ti e Mn	50
Gráfico 9 – Contribuições aos fatores de Fe, OC e EC	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentrações das fontes industriais.....	24
Tabela 2 - Incertezas das fontes industriais	25
Tabela 3 - Concentrações das fontes industriais 2.....	26
Tabela 4 - Incertezas das fontes industriais 2	27
Tabela 5 - Concentrações das demais fontes	28
Tabela 6 - Incertezas das demais fontes.....	29
Tabela 7 - Concentrações da Fonte G	30
Tabela 8 - Incertezas da Fonte G	31
Tabela 9 - Resumo dos Resultados Balanço Químico de Massa (CMB)	41
Tabela 10 - Resultados da Análise de Componentes Principais (PMF)	42
Tabela 11 - Resultado da EC-source 1 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 22 – $R^2=0.99635$, $X^2= 0.45826$ e $GL=5$	52
Tabela 12 - Resultado da EC-source 2 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 22 – $R^2=0.99764$, $X^2=0.29505$ e $GL=5$	53
Tabela 13 - Resultado da EC-source 3 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 22 – $R^2=0.9972$, $X^2=0.31734$ e $GL=5$	54
Tabela 14 - Resultado da EC-source 4 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 21 - $R^2=0.99683$, $X^2=0.45175$ e $GL=5$	55
Tabela 15 - Resultado global do método desenvolvido por “Shi”	56
Tabela A.1 - BOI0109 - Peso 23 - Sol 2 – $R^2= 0.99815$, $X^2 = 0.27863$ e $GL=7$	63
Tabela A.2 - BOI0111 - Peso 23 - Sol 2 – $R^2= 0.99995$, $X^2= 0.00905$ e $GL=6$	64
Tabela A.3 - BOI0112 - Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99986$, $X^2=0.02502$ e $GL=6$	65
Tabela A.4 - BOI0207 - Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99984$, $X^2=0.02568$ e $GL=7$	66
Tabela A.5 - BOI0209 – Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99964$, $X^2=0.07198$ e $GL=6$	67
Tabela A.6 - BOI0210 – Peso 25 - Sol 3 - $R^2=0.99997$, $X^2=0.00749$ e $GL=5$	68
Tabela A.7 - BOI0211 - Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99988$, $X^2=0.0254$ e $GL=5$	69
Tabela A.8 - BOI0212 – Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.9999$, $X^2=0.01716$ e $GL=6$	70
Tabela A.9 - BOI0309 – Peso 23 - $R^2=0.99994$, $X^2=0.01079$ e $GL=5$	71
Tabela A.10 - BOI0310 – Peso 24 - Sol 3 - $R^2=0.99998$, $X^2=0.00477$ e $GL=5$	72
Tabela A.11 - BOI0412 – Peso 24 - Sol 2 - $R^2=0.99992$, $X^2=0.00997$ e $GL=6$	73
Tabela A.12 - BOI0509 – Peso 24 - Sol 2 - $R^2=0.99991$, $X^2=0.02201$ e $GL=5$	74

Tabela A.13 - BOI0512 – Peso 25 - Sol 2 - $R^2=0.99954$, $X^2=0.08101$ e $GL=6$	75
Tabela A.14 - BOI0610 – Peso 24 - Sol 3 - $R^2=0.99999$, $X^2=0.00143$ e $GL=5$	76
Tabela A.15 - BOI0710 – Peso 24 - Sol 2 - $R^2=1$, $X^2=0.0009$ e $GL=5$	77
Tabela A.16 - BOI0809 - Peso 25 - Sol 2 - $R^2=0.99998$, $X^2=0.00307$ e $GL=5$	78
Tabela A.17 - BOI0907 - Peso 23 - Sol 2 – $R^2=0.99811$, $X^2=0.37125$ e $GL=5$	79
Tabela A.18 - BOI0909 - Peso 22 - Sol 3 – $R^2=0.99999$, $X^2=0.0028$ e $GL=5$	80
Tabela A.19 - BOI0910 – Peso 23 - Sol 2 – $R^2=0.99989$, $X^2=0.02507$ e $GL=5$	81
Tabela A.20 - BOI1009 – Peso 23 - Sol 2 – $R^2=0.99993$, $X^2=0.01615$ e $GL= 5$	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio

Ca – Cálcio

Cl – Cloro

CMB – *Chemical Mass Balance*

Co – Cobalto

Cr – Cromo

Cu – Cobre

EC – Carbono Elementar

EPA - *Environmental Protection Agency*

Fe- Ferro

GL – Graus de Liberdade

K – Potássio

KS – Kolmogorov-Smirnov

Mg – Magnésio

MLR - *Multiple Linear Regresssion*

Mn – Manganês

Na – Sódio

Ni – Níquel

OC – Carbono Orgânico

P – Fósforo

PCA - *Principal Component Analysis*

PIXE - *Particle Induced X-ray Emission*

PMF – *Positive Matrix Factorization*

S – Enxofre

Sc – Escândio

Si – Silício

Ti – Titânio

Testats – T-estatístico

TOT - *Thermo Optical Transmittance*

V- Vanádio

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
3	METODOLOGIA	18
3.1	BALANÇO QUÍMICO DE MASSA (EPA-CMB)	18
3.2	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (EPA-PMF).....	20
3.3	MÉTODO DESENVOLVIDO POR “SHI”	21
3.3.1	Estágio 1: reduzir o ruído do receptor original pelos modelos PCA/MLR ou PMF	22
3.3.2	Estágio 2: aplicar o modelo CMB para analisar o receptor secundário	22
3.3.3	Estágio 3: combinação dos resultados dos estágios 1 e 2	23
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES.....	24
3.4.1	Para o programa EPA-CMB	24
3.4.2	Para o método desenvolvido por “Shi”	29
3.5	CRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO ENTRE RESULTADOS VÁLIDOS	31
3.5.1	Maior Pontuação	32
3.5.2	Menor Desequilíbrio de Carbono Orgânico	36
3.5.3	Maior Coerência de Inventários de Fontes Similares.....	36
3.5.4	Maior Número de Gruas de Liberdade.....	36
3.6	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO DE RESULTADOS	36
3.6.1	Critérios de Exclusão para o Programa EPA-CMB	36
3.6.2	Critérios de Exclusão para o Método Desenvolvido por “Shi”	39
4	RESULTADOS.....	41
4.1	RESULTADOS DA ETAPA DO PROGRAMA EPA-CMB	41
4.2	RESULTADOS DO PROGRAMA EPA -PMF	42
4.2.1	Tabela Ilustrativa dos Resultados da Análise de Componentes Principais (PMF)	42
4.2.2	Gráficos ilustrativos dos resultados do programa EPA-PMF	43
4.3	RESULTADOS DO MÉTODO DESENVOLVIDO POR “SHI”	52

5	ANÁLISE DE RESULTADOS	58
6	CONCLUSÃO	60
7	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE A	62

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais originados por concentrações de material particulado que afetam a saúde humana estão principalmente relacionados a partículas de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 2,5 micrômetros. Partículas de características mais grosseiras podem, porém, causar incômodos às populações, sem afetar a saúde pulmonar, pois não penetram nas regiões alveolares.

O incômodo, porém, pode ser um efeito comprometedor da qualidade de vida em uma dada região.

Definir com a maior certeza possível quais são os principais contribuidores ao material particulado coletado em uma região pode ser uma forma de apoio a medidas de controle que irão afetar positivamente a saúde das populações ou diminuir o desconforto causado por concentrações de material grosseiro.

Dentre as formas de avaliar essas contribuições situam-se os modelos de fontes (modelos de dispersão) e os modelos receptores. Os modelos de fontes calculam as concentrações ambientais causadas pela dispersão de material emitido pelas mesmas, conhecidas as condições micrometeorológicas e os modelos receptores buscam uma solução do problema de calcular as contribuições de fontes dadas concentrações medidas em uma dada região.

O uso de modelos receptores é indicado para a identificação de fontes que contribuem para a formação de material particulado recolhido quando é possível a identificação da composição química de ambos, amostras e fontes. Sua utilização atual é bastante difundida nos Estados Unidos, o que levou ao desenvolvimento de técnicas complementares que permitissem a abordagem desse problema inverso de forma mais lógica e com a escolha de soluções próximas à ótima, dentre aquelas possíveis.

O balanço químico de massa (CMB) é atualizado constantemente desde o início dos anos oitenta com refinamentos em algoritmos e com técnicas especiais com bases estatísticas. Também coerente com os princípios de balanço químico de massa, o uso de técnicas similares à Análise de Componentes Principais, como a PMF (*Positive Matrix Factorization*), torna a aproximação de soluções mais realistas e mais representativas, pois evoluem da identificação de fontes em uma amostra

apenas para a avaliação de participação de fontes em um conjunto grande de amostras (geralmente mais de 80).

Em uma apresentação recente, WATSON (2011) estabelece a necessidade de abordagens quantitativas e qualitativas para a solução do problema inverso quando, dado o conhecimento de características químicas de uma amostra de material particulado, deseja-se saber a contribuição de fontes da região.

Assim, segundo o autor, indexação de características, estabelecimento de uma nota (*score*) para as possibilidades de soluções, o uso da lógica e de critérios causais, devem ser aplicados às possíveis respostas, levando a evidências que reforcem a tomada de decisão por algumas soluções e não por outras.

O trabalho aqui apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico aborda a solução de um problema real, utilizando a técnica do CMB, aplicada a amostras individuais de uma coleção de 104. A técnica é complementada por uma abordagem de notas (*scoring*), critérios lógicos e critérios causais.

Também foi aplicada a técnica de PMF ao conjunto de amostras (reduzido a 60 exemplares pelos critérios de seleção adotados), complementada pelo ferramental desenvolvido por Shi et al (2011) que permite a abertura dos fatores oriundos do PMF com o uso posterior de CMB, tomando os fatores como amostras e submetendo-os a combinações de fontes.

O conjunto real de dados é constituído por amostras mensais de material particulado grosseiro sedimentado (faixa granulométrica típica entre 30 micrômetros e 100 micrômetros), recolhido em um mesmo local na região da Grande Vitória, Espírito Santo desde 2005, analisadas por PIXE (*Particle Induced X Ray Emissions*) e por TOT (*Thermal Optical Transmittance*).

2 OBJETIVOS

1. Aplicar o método de Balanço Químico de Massa a amostras individuais reais de material grosseiro sedimentado, complementado por técnicas de tomada de decisão como critério de escolha dos melhores resultados. Tais técnicas se baseiam em critérios lógicos, critérios causais e notas para a indicação das fontes que contribuíram a estas amostras.
2. Aplicar técnicas de determinação estatística de fatores a um conjunto de amostras, coletadas no mesmo local, complementadas por abertura dos fatores com o uso do Balanço Químico de Massa como forma de determinação de todos os fatores. O intuito desses procedimentos é verificar o comportamento de longo prazo das fontes na participação do conjunto de amostras.

3 METODOLOGIA

3.1 BALANÇO QUÍMICO DE MASSA (CMB)

A metodologia para o balanço químico de massa (CMB) foi feita segundo Coulter (2004) e será abordado a seguir.

O modelo de qualidade de ar CMB (*Chemical Mass Balance*) constitui-se em um dos vários modelos de receptores (*receptor models*) aplicados ao gerenciamento de recursos atmosféricos (*air resources management*) nos dias de hoje. Esse tipo de modelo visa quantificar as contribuições das fontes para as concentrações do receptor e para tal se utiliza de características físicas e químicas de gases e partículas medidas na fonte e no receptor. A espécie de modelo em questão é geralmente contrastada com modelos de dispersão que usam estimativas das taxas de emissões de poluentes, transporte meteorológico, bem como mecanismos químicos de transformação com vistas a estimar a contribuição de cada fonte para as concentrações do receptor. Os dois tipos de modelo se complementam, sendo que cada um tem qualidades que compensam as fraquezas do outro.

Pode-se calcular a contribuição de uma fonte (S_j) presente em um receptor durante um período de amostragem de duração T devido à uma fonte j com uma taxa de emissão constante E_j é:

$$S_j = D_j \cdot E_j \quad (1)$$

Onde:

$$D_j = \int_0^T d[\vec{u}(t), \sigma(t), \vec{x}_j] dt \quad (2)$$

É um fator de dispersão que é influenciado pelo vetor velocidade do vento ($\vec{u}$), pela estabilidade atmosférica (σ) e pelo vetor da localidade da fonte j em respeito ao receptor ($\vec{x}_j$). Todos os parâmetros na equação (2) variam com o tempo, então o fator de dispersão constante, deve ser integrado ao longo do período de tempo T (apud Watson, 1979).

A massa total medida no receptor, C , será a soma linear das contribuições das fontes individuais, se um número de fontes, P , existir e não tem interação entre suas emissões para causar remoção de massa.

$$C = \sum_{j=1}^P D_j \cdot E_j = \sum_{j=1}^P S_j \quad (3)$$

De forma semelhante, a concentração do componente elementar i , C_i , será:

$$C_i = \sum_{j=1}^P F_{ij} \cdot S_j, \quad \text{onde } i = 1, 2, \dots, O \quad (4)$$

O método é composto das seguintes etapas expressas em notação matricial. O sobrescrito k é usado para indicar o valor da k-ésima iteração.

1. Estabelecer a estimativa das contribuições iniciais das fontes iguais à zero.

$$S_j^{k=0} = 0, \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, P \quad (5)$$

2. Os componentes diagonais da matriz de variância efetiva, V_e . Serão iguais a zero todos os elementos não diagonais dessa matriz.

$$V_{e_{ii}}^k = \sigma_{C_i}^2 + \sum (S_j^k)^2 \cdot \sigma_{F_{ij}}^2 \quad (6)$$

3. Deve-se calcular o valor k+1 de S_j .

$$S^{k+1} = (F^T (V_e^k)^{-1} F)^{-1} F^T (V_e^k)^{-1} C \quad (7)$$

4. É necessário testar a iteração de número (k+1) de S_j com relação à k-ésima iteração. Se algum elemento difere de mais de um por cento então deve ser feita outra iteração. Se todos os componentes estão separados por menos de um por cento, então o algoritmo pode ser terminado.

$$\text{se } |(S_j^{k+1}/S_j^k)/S_j^{k+1}| > 0.01, \text{ retorne à etapa 2} \quad (8)$$

$$\text{se } |(S_j^{k+1}/S_j^k)/S_j^{k+1}| \leq 0.01, \text{ siga para a etapa 5} \quad (9)$$

5. Assinale para S_j e σ_j a iteração de número (k+1). Todos os demais cálculos serão feitos com esses valores finais.

$$\sigma_{S_j}^2 = [F^T (V_e^{k+1})^{-1} F_{jj}]^{-1}, \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, P \quad (10)$$

Onde:

- $C = (C_1 \dots C_i)^T$ é um vetor coluna com C_i como seu i-ésimo componente;

- $S=(S_1 \dots S_M)^T$ é um vetor coluna com S_j como seu j-ésimo componente;
- F é uma matriz $O \times P$ de F_{ij} a qual é a matriz das composições das fontes;
- σ_{C_i} é um desvio padrão da incerteza da medida C_i ;
- σ_{F_i} é um desvio padrão da incerteza da medida F_{ij} ;
- V_e é uma matriz diagonal de variâncias efetivas.

As fórmulas para os parâmetros de performance são:

$$Qui\ quadrado\ reduzido = \chi^2 = \frac{1}{O-P} \sum_{i=1}^O \left[(C_i - \sum_{j=1}^P F_{ij} S_j)^2 \right] / V_{e_{ii}}$$

(11)

$$Porcentagem\ em\ Massa = 100 (\sum_{j=1}^P S_j) / C_t \quad (12)$$

$$R\ quadrado = 1 - [(O - P)] \chi^2 / [\sum_{i=1}^O C_i^2 / V_{e_{ii}}] \quad (13)$$

3.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PMF)

O procedimento para a análise de componentes principais (PMF) foi feito segundo Norris et al (2008) e é explicado a seguir.

O método PMF constitui-se de uma ferramenta de análise de fatores multivariada que decompõe a matriz de dados amostrados por espécies químicas em duas matrizes – contribuições do fator e perfil do fator – que então precisam ser interpretados por um analista no que se refere a quais tipos de fontes são representados usando informação de perfis de fontes medidos, análises de direção de vento e inventários de emissão.

Um conjunto de dados divididos em espécies químicas pode ser interpretado como uma matriz de dados X que apresenta dimensões n por m , na qual n é o número de amostras e m é o número de espécies químicas que foi medida. O intuito do modelo de receptor multivariado é identificar o número de fatores p , o perfil das espécies f de cada fonte e a quantidade de massa g contribuída por cada fator de cada amostra individual (x_{qr}) temos:

$$x_{qr} = \sum_{k=1}^p g_{qk} f_{kr} + e_{qr}, \text{ onde } e_{qr} \text{ é o resíduo para cada amostra/espécie} \quad (14)$$

Os resultados são restritos de forma que nenhuma amostra tenha uma contribuição para fonte negativa, PMF permite cada ponto de dado a ser individualmente pesado. Esse recurso permite ao analista ajustar a influência de cada ponto de dado, dependendo da confiança na medida. Por exemplo, dados abaixo da detecção podem ser retidos com a incerteza associada ajustada então esses pontos de dados têm menos influência na solução do que medidas acima do limite de detecção. O PMF minimiza a função objeto Q , baseado nessas incertezas (u).

$$Q = \sum_{q=1}^n \sum_{r=1}^m \left[\frac{x_{qr} - \sum_{k=1}^p g_{qk} f_{kr}}{u_{qr}} \right]^2 \quad (15)$$

3.3 MÉTODO DESENVOLVIDO POR “SHI”

O procedimento para o método desenvolvido por “Shi” foi feito segundo Shi et al (2009, 2011) e é detalhado a seguir.

Conforme foi dito anteriormente cada *source apportionment model* tem seus pontos fortes e fracos. Essas fraquezas incluem que o CMB pode especificar de forma errônea fontes e tem o problema de colinearidade; para o Principal Component Analysis/Multiple Linear Regresssion (PCA/MLR) ou PMF, ele deveria assumir que todas as fontes foram identificadas. Além disso, o PCA ou o PMF podem falhar em separar alguns fatores (fontes).

Além disso, vale ressaltar que para a aplicação do método CMB não é possível identificar todas as fontes porque além das mais significativas (Como Solos, Fonte B e Carvão) existem milhares de fontes insignificantes que contribuem para o receptor ambiente medido. A contribuição de cada fonte insignificante para o receptor ambiente é tão pequena que geralmente é ignorada pelo modelo CMB. Apesar disso, a soma delas não pode ser ignorada e afeta o balanço. Em segundo lugar, outros distúrbios podem surgir das incertezas na amostragem e na análise química. A soma dos distúrbios no balanço devido à esses dois fatores será chamada de *noise* (termo em Inglês para ruído).

O método desenvolvido por “Shi” é um modelo combinado que foi desenvolvido para aproveitar as vantagens desses modelos de receptores. O benefício resultante dos métodos PCA/MLR ou PMF não necessita de um conhecimento a priori do número de fontes ou de suas composições. Além disso,

eles são capazes de extrair alguns fatores (fontes) as quais podem ser identificadas como fontes de poluição de acordo com diferentes marcadores de fontes (*source markers*); enquanto o modelo CMB é capaz de usar informação de fontes e chegar a resultados relativamente precisos até para fonte quase colineares com o nível de ruído no receptor reduzido pelo PCA/MLR ou PMF e assim, o problema da colineridade enfraquecido. Esse método é composto de três etapas.

3.3.1 Estágio 1: reduzir o ruído do receptor original pelos modelos PCA/MLR ou PMF

No estágio 1, vários fatores os quais foram identificados como fontes em potencial de acordo com seus marcadores de fontes (apud Hopke; apud Harrison et al; apud Hedberg et al) podem agora ser extraídos do receptor (aqui é o receptor original) usando os modelos PCA/MLR ou PMF. Os verdadeiros perfis de fonte medidos no mundo real foram referidos como fonte medida (*M-source*) perfis, já os perfis extraídos pelo PCA/MLR ou PMF foram nomeados como fonte extraída (*E-source*) perfis. Se um fator pode ser identificado como uma categoria de fonte (como Solos), ele é referido como uma fonte extraída simples (*ES-source*), enquanto que se ele contém duas ou mais categorias de fontes ele pode ser tratado como uma fonte extraída complexa (*EC-source*). Além disso, se um fator não puder ter sido identificado como nenhuma das categorias de fonte, ele provavelmente é ruído (*noise*). No processo acima descrito as contribuições das *EC-sources*, *ES-sources* e do *noise* podem ser descritas como:

$$\begin{aligned} \text{original receptor} = & EC - source_1 + EC - source_2 + \dots + ES - source_1 + \\ & + ES - source_2 + \dots + noise \end{aligned} \quad (16)$$

3.3.2 Estágio 2: aplicar o modelo CMB para analisar o receptor secundário

Uma *EC-source* a qual foi obtida no estágio 1 pode ser tratada como um novo receptor (nesse caso é um receptor secundário). Quando comparado com o receptor original, o número de categorias de fontes para um receptor secundário é reduzido. Um receptor secundário normalmente é composto de várias categorias de *M-sources*

(*M-sources* em um receptor secundário são tratadas como *Msub-sources*). De acordo com a importância no receptor secundário (*loading values*), o inventário de emissão e a investigação da área em estudo é possível se identificar as possíveis categorias de *Msub-sources*. Nesse estágio, as contribuições de tais *Msub-sources* para o receptor secundário podem ser estimadas através do uso do modelo CMB.

3.3.3 Estágio 3: combinação dos resultados dos estágios 1 e 2

Os resultados totais do *combined source apportionment* podem ser obtidos por meio dos resultados adquiridos dos estágios 1 e 2 (i.e., as contribuições das *es-sources* no estágio 1 e as contribuições das *Msub-sources* no estágio 2).

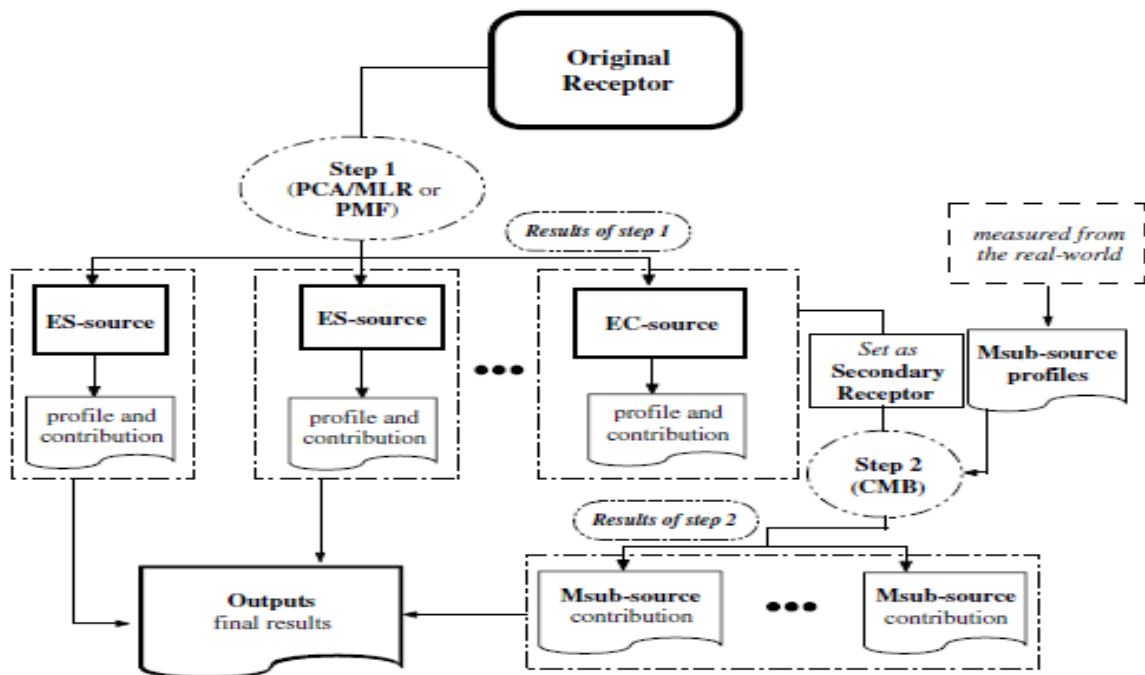


Figura 1 – Resumo do método desenvolvido por “Shi” (Shi, 2009, p. 2)

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES

3.4.1 Para o Balanço Químico de Massa (CMB)

Foram utilizadas as seguintes fontes industriais com possível similaridade:

Tabela 1 – Concentrações das fontes industriais

Código	Espécie Química	Fonte A	Fonte B	Fonte C
C2	Na	0	0	0.00106
C3	Mg	0	0.00506	0
C4	Al	0.0047	0.00549	0
C5	Si	0	0.02625	0
C6	P	0.00041	0.00026	0
C7	S	0	0.00097	0.02209
C8	Cl	0	0	0
C9	P	0	0.00018	0
C10	Ca	0.00018	0.01397	0.00285
C11	Sc	0	0	0
C12	Ti	0.0003	0.00046	0
C13	V	0	0	0
C14	Cr	0	0.001	0.0008
C15	Mn	0.00077	0.001	0
C16	Fe	0.6	0.562	0.99457
C17	Co	0	0	0
C18	Ni	0	0	0
C19	Cu	0	0	0
C20	Zn	0	0.0022	0
C21	OC	0	0.0022	0.02424
C22	EC	0	0	0.00633

Tabela 2 – Incertezas das fontes industriais

Código	Espécie Química	Fonte A	Fonte B	Fonte C
C2	Na	0	0	0.00011
C3	Mg	0	0.0003	0
C4	Al	0.00047	0.00019	0
C5	Si	0	0.00263	0
C6	P	0.00004	0.00003	0
C7	S	0	0.00005	0.00221
C8	Cl	0	0	0
C9	K	0	0.00003	0
C10	Ca	0.00002	0.00139	0.00029
C11	Sc	0	0	0
C12	Ti	0.00006	0.00008	0
C13	V	0	0	0
C14	Cr	0	0.0001	0.00008
C15	Mn	0.00009	0.0001	0
C16	Fe	0.06	0.0562	0.09946
C17	Co	0	0	0
C18	Ni	0	0	0
C19	Cu	0	0	0
C20	Zn	0	0.00022	0
C21	OC	0	0.00022	0.00242
C22	EC	0	0.00001	0.00063

Além disso, vale ressaltar que as fontes industriais 2 também possuem similaridade.

Tabela 3 – Concentrações das fontes industriais 2

Código	Espécie Química	Fonte D	Fonte E	Fonte F
C2	Na	0	0	0
C3	Mg	0	0	0
C4	Al	0	0	0
C5	Si	0	0	0
C6	P	0	0	0
C7	S	0.1332	0.0633	0.099
C8	Cl	0	0.28	0
C9	K	0.05	0.19	0.05
C10	Ca	0.0055	0.055	0.005
C11	Sc	0	0	0
C12	Ti	0	0	0
C13	V	0	0	0
C14	Cr	0.02	0.03	0.02
C15	Mn	0.0055	0.0055	0.0055
C16	Fe	0.11	0.14	0.11
C17	Co	0	0	0
C18	Ni	0.0055	0	0.0055
C19	Cu	0.0055	0.02	0.0055
C20	Zn	0	0.0055	0
C21	OC	0.1	0	0.2
C22	EC	0	0	0

Tabela 4 – Incertezas das fontes industriais 2

Código	Espécie Química	Fonte D	Fonte E	Fonte F
C2	Na	0	0	0
C3	Mg	0	0	0
C4	Al	0	0	0
C5	Si	0	0	0
C6	P	0	0	0
C7	S	0.01332	0.00633	0.0099
C8	Cl	0	0.028	0
C9	K	0.005	0.019	0.005
C10	Ca	0.00055	0.0055	0.0005
C11	Sc	0	0	0
C12	Ti	0	0	0
C13	V	0	0	0
C14	Cr	0.002	0.003	0.002
C15	Mn	0.00055	0.00055	0.00055
C16	Fe	0.011	0.014	0.011
C17	Co	0	0	0
C18	Ni	0.00055	0	0.00055
C19	Cu	0.00055	0.002	0.00055
C20	Zn	0	0.00055	0
C21	OC	0.01	0	0.02
C22	EC	0	0	0

Há ainda as demais fontes.

Tabela 5 – Concentrações das demais fontes

Código	Espécie Química	Carvão	Coque	Solos	Mar	Cimento	OC	EC
C2	Na	0.00117	0	0	0.4	0	0	0
C3	Mg	0.00132	0	0.01045	0	0	0	0
C4	Al	0.03165	0.0018	0.07527	0	0.02	0	0
C5	Si	0.018	0	0.23885	0	0	0	0
C6	P	0.00038	0.00099	0.00241	0	0.001	0	0
C7	S	0.00102	0.00949	0.00065	0.033	0.0088	0	0
C8	Cl	0.00028	0.00023	0.00089	0.4	0	0	0
C9	K	0.00162	0.00027	0.011	0.014	0.0014	0	0
C10	Ca	0.00319	0.00087	0.0249	0.014	0.461	0	0
C11	Sc	0	0	0	0	0	0	0
C12	Ti	0.0013	0.00006	0.00589	0	0.0014	0	0
C13	V	0	0	0	0	0	0	0
C14	Cr	0	0.0001	0.0024	0	0.00007	0	0
C15	Mn	0.00002	0.00004	0.00071	0	0.0003	0	0
C16	Fe	0.0077	0.0025	0.05532	0	0.0294	0	0
C17	Co	0	0	0	0	0	0	0
C18	Ni	0	0.00038	0.00019	0	0	0	0
C19	Cu	0.00001	0	0.0003	0	0	0	0
C20	Zn	0	0	0.0001	0	0	0	0
C21	OC	0.23594	0.0192	0.0015	0	0	1	0
C22	EC	0.683	0.881	0.0007	0	0	0	1

:

Tabela 6 – Incertezas das demais fontes

Código	Espécie Química	Carvão	Coque	Solos	Mar	Cimento	OC	EC
C2	Na	0.00031	0	0	0.04	0	0	0
C3	Mg	0.00013	0	0.001	0	0	0	0
C4	Al	0.00031	0.00018	0.00752	0	0.002	0	0
C5	Si	0.0018	0	0.02388	0	0	0	0
C6	P	0.00004	0.0001	0.00024	0	0.0001	0	0
C7	S	0.0001	0.00095	0.00009	0.0033	0.00088	0	0
C8	Cl	0.00003	0.00002	0.00008	0.04	0	0	0
C9	K	0.00016	0.00003	0.0011	0.0014	0.00014	0	0
C10	Ca	0.00032	0.00009	0.00249	0.0014	0.0461	0	0
C11	Sc	0	0	0	0	0	0	0
C12	Ti	0.00013	0.00001	0.0001	0	0.00014	0	0
C13	V	0	0	0	0	0	0	0
C14	Cr	0	0.00001	0.00024	0	0.00001	0	0
C15	Mn	0.00001	0.000004	0.00002	0	0.00003	0	0
C16	Fe	0.00077	0.00025	0.00553	0	0.00294	0	0
C17	Co	0	0	0	0	0	0	0
C18	Ni	0	0.00004	0.00002	0	0	0	0
C19	Cu	0.000001	0	0.00003	0	0	0	0
C20	Zn	0	0	0.00007	0	0	0	0
C21	OC	0.02359	0.00192	0.00015	0	0	0.1	0
C22	EC	0.0683	0.0881	0.00007	0	0	0	0.1

3.4.2 Para o método desenvolvido por “Shi”

Para a análise no método desenvolvido por “Shi” foram excluídos alguns elementos quais sejam: P, V, Cr, Co, Ni, Cu e Zn. Assim a Fonte G, a qual também apresenta possível similaridade com as fontes industriais 2 e Carvão e Coque, é que foi usada exclusivamente nesse método apresenta apenas 14 elementos.

Tabela 7 – Concentrações da Fonte G

Código	Espécie Química	Fonte G
C2	Na	0
C3	Mg	0.008563
C4	Al	0.013799
C5	Si	0.029636
C6	S	0.006175
C7	Cl	0.000279
C8	K	0.000316
C9	Ca	0.097879
C10	Sc	0
C11	Ti	0.000868
C12	Mn	0.003916
C13	Fe	0.120911
C14	OC	0.131408
C15	EC	0.209967

Tabela 8 – Incertezas da Fonte G

Código	Espécie Química	Fonte G
C2	Na	0
C3	Mg	0.000216
C4	Al	0.000166
C5	Si	0.000297
C6	S	0.000076
C7	Cl	0.00003
C8	K	0.000041
C9	Ca	0.000977
C10	Sc	0
C11	Ti	0.000073
C12	Mn	0.000052
C13	Fe	0.001208
C14	OC	0.014675
C15	EC	0.017895

3.5 CRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO ENTRE RESULTADOS VÁLIDOS

Fez-se necessária a adoção de um critério de tomada de decisão para decidir quais eram os melhores resultados com base nos parâmetros estatísticos que os mesmos apresentaram. Os principais parâmetros estatísticos no quais o critério se baseou foram o R^2 , o χ^2 , a porcentagem em massa, um parâmetro relacionado aos T-estatístico (Testats) e χ^2 modificado.

Foram diferentes os critérios adotados na primeira e terceira etapas do projeto. Tais critérios serão explicados com mais detalhes a seguir em ordem decrescente de importância.

3.5.1 Maior Pontuação

Foi adotada uma pontuação como um dos critérios para se decidir qual amostra deveria ser escolhida

a) Critérios para o Balanço Químico de Massa (CMB)

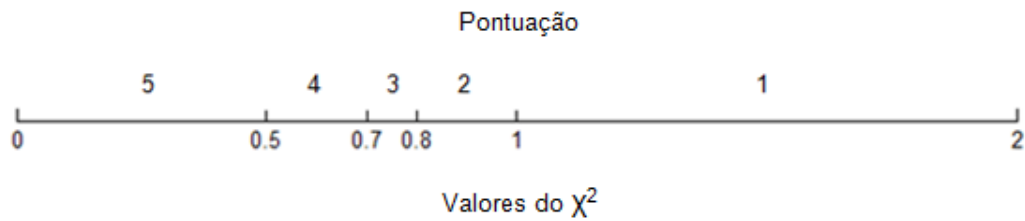
A escala e as fórmulas para os parâmetros utilizados para o CMB foram mais rigorosos que as utilizadas para o método desenvolvido por “Shi”, devido ao fato de terem sido aplicadas a amostras em individual, o que facilita a obtenção de bons resultados.

De acordo com o manual de tal programa os valores de R^2 considerados relevantes estão na faixa de $0.8 \leq R^2 \leq 1$. Porém, como valores maiores que 0.9 foram obtidos para quase todos os resultados foi adotada uma escala compreendida apenas de $0.9 \leq R^2 \leq 1$. Como o intuito é de chegar ao valor de R^2 igual a um a pontuação diminui à medida que se fica mais longe de tal valor para esse parâmetro. Assim definimos a pontuação do parâmetro E como:



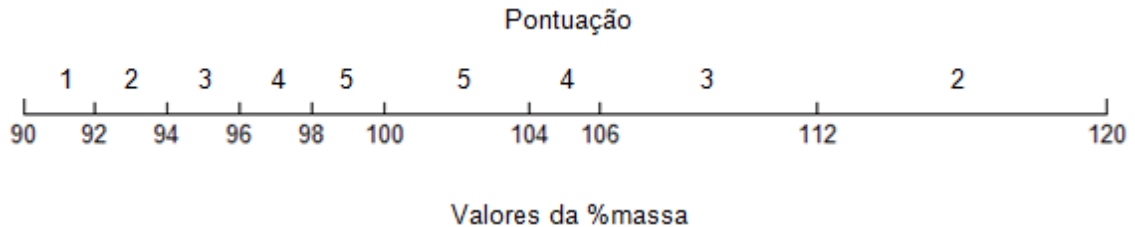
Resultados com valores de R^2 inferiores a 0.9 foram descartados.

Já com relação ao χ^2 o manual do programa indica que valores no intervalo de $0 \leq \chi^2 \leq 2$. Mas como um maior rigor foi requerido nesse parâmetro valores que são maiores que um apresentam apenas esse mesmo peso. Como a meta é chegar a χ^2 igual a zero os valores dos pesos decrescem à medida que tal valor fica mais longe de tal valor. Logo definimos a pontuação da variável D como:



Resultados com valores de χ^2 superiores a dois foram rejeitados.

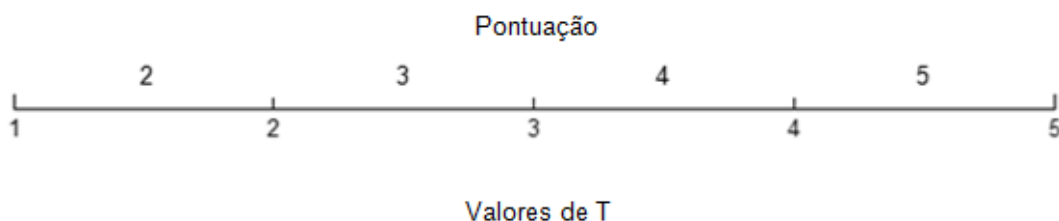
No que se refere à porcentagem em massa o manual considera aceitáveis valores entre 80 e 120. Mas na análise presente os pesos foram distribuídos apenas entre 90 e 120 porque o conhecimento da região é suficiente para justificar um critério mais rígido. Além disso, devido a constante ocorrência de porcentagens em massa altas nas análises foi adotado um peso até dois na faixa entre 100 e 120, enquanto que na faixa entre 90 e 100 o peso vai até um. Como o objetivo é chegar a 100 de porcentagem em massa os pesos decrescem à medida que se afasta desse valor. Portanto a pontuação do parâmetro C é dada por:



É importante ressaltar que o parâmetro relacionado aos Testats, que foi denominado T, foi calculado da seguinte forma:

$$T = \sum_{w=1}^z \frac{T_{estat}^w}{T_{estat}^{max}}, \text{ onde } z \text{ é o número de fontes do resultado} \quad (17)$$

Assim, definiu-se a pontuação do parâmetro K como:



Além disso, foi utilizado o parâmetro χ^2 modificado que foi calculado de acordo com as seguintes equações:

$$H = \sum_{a=1}^{\beta} \left| \frac{C_{conc}^a}{M_{conc}^a} - 1 \right| \cdot P^a \quad (18)$$

Onde:

M_{conc}^a é a concentração em massa medida da espécie a;

C_{conc}^a é a concentração em massa calculada da espécie a;

m são todas as espécies ajustadas (*fitting species*) cujo $M_{conc}^a > 0$;

$P^a = 3$, se $C_{conc}^a \geq 10$;

$P^a = 2$, se $1 \leq C_{conc}^a < 10$;

$P^a = 1$, se $0.1 \leq C_{conc}^a < 1$;

$P^a = 0.5$, se $0 \leq C_{conc}^a < 0.1$

Para sua pontuação foi escolhido o parâmetro B da seguinte forma:



Assim foi definida uma escala de zero a vinte e cinco que pode ser calculada por:

$$Pontuação\ total = E + D + C + K + B \quad (19)$$

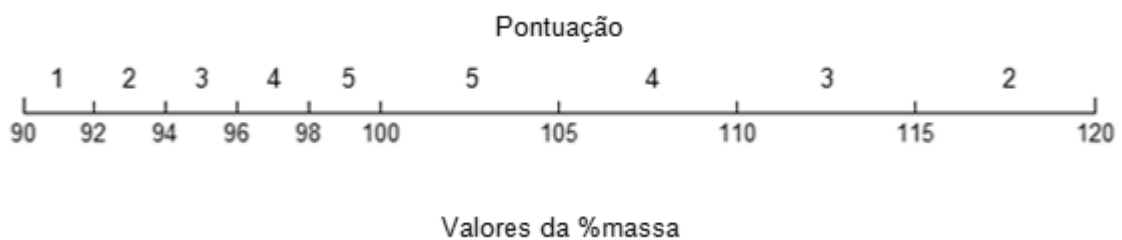
b) Critérios Utilizados para o Método Desenvolvido por “Shi”

Já no método desenvolvido por “Shi”, o rigor foi menor e procurou-se utilizar escalas e formulações para as variáveis melhores distribuídos.

Para fazer a análise por meio do balanço químico de massa (CMB) dos dados obtidos pela análise preliminar pela análise de componentes principais (PMF) foram

utilizados os mesmos critérios que para o CMB isoladamente com exceção de três fatores: a porcentagem em massa, e os parâmetros T e H. Os nomes das variáveis dadas às pontuações referentes aos parâmetros estatísticos são os mesmo dos utilizados para o CMB e a fórmula para o cálculo da pontuação total também é a mesma.

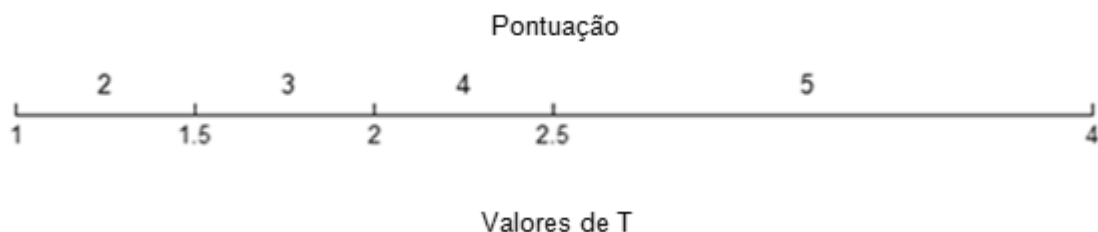
No que se refere à porcentagem em massa foi utilizada uma escala mais uniforme no intervalo entre 100 e 120 resultando em:



Já para a pontuação do parâmetro T, “[...] Comparado com o receptor original, o número de categorias de fontes para o receptor secundário é reduzido.” (SHI, 2011, p. 2, tradução nossa).

Essa afirmação é válida apenas quando ambas as análises estão sendo feitas em um conjunto de amostras. Assim, parafraseando SHI (2011, p. 2) conclui-se que: Comparado com o receptor original de uma única amostra, o número de categorias de fontes representativas para o receptor secundário de um conjunto de amostras do mesmo estudo de uma mesma localidade é reduzido. Além disso, a representatividade de tais fontes pode ser diminuída.

Assim se torna mais difícil à obtenção de valores altos para T a faixa foi estreitada, terminando como:



Além disso, foi utilizado o parâmetro H similar ao utilizado no CMB para o cálculo de foi de uma forma que apresenta pesos mais consistentes com a contribuição de cada elemento para a massa total calculada:

$$H = \sum_{a=1}^m \left| \frac{C_{conc}^a}{M_{conc}^a} - 1 \right| \cdot P^a \quad (20)$$

Onde:

m são todas as espécies ajustadas cujo $M_{conc}^a > 0$;

$$P_a = \frac{C_{conc}^a}{\sum_{\xi=1}^m C_{conc}^{\xi}} \quad (21)$$

3.5.2 Menor Desequilíbrio de Carbono Orgânico

Fez-se necessário o uso de duas fontes complementares para o balanço de massa que foram o carbono orgânico (OC) e o carbono elementar (EC), a fonte mais usada foi a de OC, quanto menor foi o valor apresentado por ela nas soluções, mais representativa a mesma foi uma vez que houve um menor desequilíbrio de carbono orgânico.

3.5.3 Maior Coerência de Inventários de Fontes Similares

Quanto mais coerentes os inventários forem, principalmente entre as Fontes A e B, melhor será a solução.

3.5.4 Maior Número de Gruas de Liberdade

Os graus de liberdade são a diferença entre o número de espécies ajustadas e o número de fontes ajustadas (*fitting sources*), quanto maior ele for melhor será o resultado.

3.6 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO DE RESULTADOS

3.6.1 Critérios de Exclusão para o Programa EPA-CMB

a) Quantos aos Parâmetros Relacionados à Pontuação

- R^2 não pode ser menor que 0.9;
- χ^2 não pode ser maior que dois;
- A porcentagem em massa não pode ser menor que 90 nem maior que 120;
- Testat de nenhuma fonte exceto OC, EC pode dar menor que três;

- J não pode ser maior que quatro;

b) Quanto ao Número de Graus de Liberdade

O número de graus de liberdade deve ser maior ou igual a cinco.

c) Quanto à Seleção dos Elementos Químicos

Segue uma lista com os elementos que devem ser selecionados:

1. Sódio e/ou cloro;
2. Silício;
3. Ferro;
4. Carbono orgânico;
5. Carbono elementar.

d) Quanto à Faixa de Valores de Alguns Elementos Químicos que não Precisam ser Selecionados

Existem três elementos químicos importantes nas análises que não precisam estar selecionados, mas que é desejável que a razão entre as concentrações calculada e medida para tais elementos estejam o mais próximo possível de um. Esses elementos são o alumínio, o enxofre e o cálcio. A seguir estão os quocientes adotados para este projeto:

1. Para o alumínio:

$$\frac{C_{conc}^{Al}}{M_{conc}^{Al}} < 0.6 \text{ ou } \frac{C_{conc}^{Al}}{M_{conc}^{Al}} > 1.4 \quad (22)$$

2. Para o enxofre:

$$\frac{C_{conc}^S}{M_{conc}^S} < 0.7 \text{ ou } \frac{C_{conc}^S}{M_{conc}^S} > 1.3 \quad (23)$$

3. Para o cálcio:

$$\frac{C_{conc}^{Ca}}{M_{conc}^{Ca}} < 0.8 \text{ ou } \frac{C_{conc}^{Ca}}{M_{conc}^{Ca}} > 1.2 \quad (24)$$

e) Quanto às Fontes Utilizadas nas Soluções

Foram considerados válidos nove conjuntos de soluções que são os que se seguem:

- Solução 1: Com Fonte A e sem Fonte B além de ser com Carvão e sem Coque;
- Solução 2: Com Fonte B e sem Fonte A e também com Carvão e sem Coque;
- Solução 3: Com Fonte A, Fonte B e Carvão, sem Coque.
- Solução 4: Solução 1 + Coque;
- Solução 5: Solução 1 + Coque – Carvão;
- Solução 6: Solução 2 + Coque;
- Solução 7: Solução 2 + Coque – Carvão;
- Solução 8: Solução 3 + Coque;
- Solução 9: Solução 3 + Coque – Carvão;

Caso a solução não se enquadre em nenhuma das acima, ela será invalidada. Vale ainda ressaltar que devem ser selecionadas as fontes:

1. Solos;
2. Mar;
3. Fonte A e/ou Fonte B;
4. Carvão e/ou Coque;

Caso algum desses itens não esteja presente nas espécies ajustadas a solução será desprezada.

3.6.2 Critérios de Exclusão para o Método Desenvolvido por “Shi”

a) Quantos aos Parâmetros Relacionados à Pontuação

- R^2 não pode ser menor que 0.9;
- χ^2 não pode ser maior que dois;
- A porcentagem em massa não pode ser menor que 90 nem maior que 120;
- Testat de nenhuma fonte exceto OC, EC ou Fonte G pode dar menor que três;
- J não pode ser maior que quatro;

b) Quanto ao Número de Graus de Liberdade

O número de graus de liberdade deve ser maior ou igual a cinco.

c) Quanto à Seleção dos Elementos Químicos

Os elementos químicos que devem ser selecionados são os mesmo que os da etapa do programa EPA-CMB, com a diferença de que agora eles podem não ser selecionados caso sua concentração medida seja igual à zero ou baixa demais para fechar o balanço de massa.

d) Quanto à Faixa de Valores de Alguns Elementos Químicos que não Precisam ser Selecionados

Já com relação à alumínio, enxofre e cálcio, temos:

1. Para o alumínio:

$$\frac{C_{conc}^{Al}}{M_{conc}^{Al}} < 0.55 \text{ ou } \frac{C_{conc}^{Al}}{M_{conc}^{Al}} > 1.55 \quad (25)$$

2. Para o enxofre:

$$\frac{C_{conc}^S}{M_{conc}^S} < 0.95 \text{ ou } \frac{C_{conc}^S}{M_{conc}^S} > 1.05 \quad (26)$$

3. Para o cálcio:

$$\frac{C_{conc}^{Ca}}{M_{conc}^{Ca}} < 0.9 \text{ ou } \frac{C_{conc}^{Ca}}{M_{conc}^{Ca}} > 1.1 \quad (27)$$

e) Quanto às Fontes Utilizadas nas Soluções

No caso das soluções das fontes complexas extraídas do PMF apenas a fonte Carvão foi utilizada em todas as soluções devido ao fato dela não ter sido separada das demais na segunda etapa do projeto. Problemas de baixas concentrações e proporções diferentes das esperadas de elementos chaves para fontes impediram o uso de Solos, Mar e Fonte A e/ou Fonte B em todas as soluções

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DO BALANÇO QUÍMICO DE MASSA (CMB)

Tabela 9 – Resumo dos Resultados Balanço Químico de Massa (CMB)

Amostra	Peso	Solução	Massa Explicada (%)	R ²	X ²	GL	Solos	Mar	Fonte A	Fonte C	Carvão	Fonte B	Fonte D	OC	EC
BOI0109	23	2	103.29807	0.99815	0.2786	7	33.57195	0.81349	-	-	10.18537	56.87371	1.85355	-	-
BOI0111	23	2	102.0275	0.99995	0.0091	6	26.49669	2.4147	-	-	8.0915	62.88531	1.69608	0.44319	-
BOI0112	23	2	100.5431	0.99986	0.025	6	28.9825	1.47693	-	-	9.77012	56.59887	1.6019	-	2.59706
BOI0207	23	2	99.30415	0.99984	0.0257	7	34.58379	0.73072	-	-	6.67156	55.77933	-	-	-
BOI0209	23	2	100.6001	0.99964	0.072	6	30.84101	2.27554	-	-	4.64595	62.03056	0.49183	-	0.1523
BOI0210	25	3	101.1436	0.99997	0.0075	5	19.1193	1.91461	43.32321	-	3.20315	32.48787	0.72375	0.37172	-
BOI0211	23	2	102.6513	0.99988	0.0254	5	25.39075	5.96252	-	-	6.20092	61.9904	-	0.30144	-
BOI0212	23	2	101.0437	0.9999	0.0172	6	19.49284	6.80059	-	-	4.01108	65.72956	3.18283	-	1.82679
BOI0309	23	2	98.17906	0.99994	0.0108	5	37.41068	0.14385	-	-	3.10844	57.01471	0.25149	0.2499	-
BOI0310	24	3	100.6807	0.99998	0.0048	5	31.57005	2.1108	28.09945	11.45408	5.69485	21.16635	-	0.48479	-
BOI0412	24	2	103.1486	0.99992	0.01	6	38.34817	17.64748	-	-	7.69784	38.42187	-	1.03322	-
BOI0509	24	2	96.49393	0.99991	0.022	5	16.38442	4.7899	-	-	8.06822	64.11298	1.28729	2.56203	-
BOI0512	25	2	101.7123	0.99954	0.081	6	31.8342	2.36343	-	-	7.07716	57.64764	1.87081	0.91906	-
BOI0610	24	3	103.8518	0.99999	0.0014	5	47.82867	8.15364	14.30898	-	11.51513	20.38505	1.54863	0.11167	-
BOI0710	24	2	98.19199	1	0.0009	5	30.46912	5.75616	-	6.57144	5.17849	49.25195	-	0.96484	-
BOI0809	25	2	98.23039	0.99998	0.0031	5	28.63904	3.43047	-	3.28613	5.92602	56.94873	-	-	-
BOI0907	23	2	103.0532	0.99811	0.3713	5	29.79593	4.55258	-	-	7.97565	58.91946	1.8096	-	-
BOI0909	22	3	110.5834	0.99999	0.0028	5	32.47103	4.01219	32.00902	-	3.8416	36.57251	1.45358	-	0.2346
BOI0910	23	2	106.6631	0.99989	0.0251	5	29.17357	19.95995	-	16.54827	4.94496	35.22547	-	0.8109	-
BOI1009	23	2	96.55147	0.99993	0.0162	5	21.75744	2.21144	-	-	4.41779	66.84433	0.81305	-	0.50742
Média	23.5	-	101.39757	0.99972	0.0505	5.5	29.70806	4.8760495	5.88703	1.893	6.41129	50.844333	0.9292195	0.41264	0.26591
Desvio Padrão	0.82717	-	3.35813	0.00056	0.0974	0.6882	7.27882	5.2328409	12.98311	4.51521	2.37171	14.651438	0.9226023	0.62385	0.68838

A tabela acima fez um resumo dos resultados obtidos no Balanço Químico de Massa (CMB), para os resultados completos consulte os APÊNDICE A. Ainda de acordo com tal tabela anterior cerca de metade da massa explicada vem da Fonte B, sendo

que mais de 80% da contribuição vem da Fontes B e de Solos. Os valores de R^2 , X^2 e massa explicada média foram bastante satisfatórios com um número de graus de liberdade meia unidade acima do limite mínimo.

4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPENENTES PRINICIPAIS (PMF)

4.2.1 Tabela Ilustrativa dos Resultados da Análise de Componentes Principais (PMF)

Tabela 10 – Resultados da Análise de Componentes Principais (PMF)

Species	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Predicted	Measured	Mass Explained (%)	R^2	Normal Residual
PS (Total Variable)	13.916	24.196	52.772	8.3857	99.2697	100	99.2697	-	Yes
NA	0.16545	0.00015	0.30362	2.6049	3.07412	3.02397	101.65860	0.98155	Yes
MG	0.22184	0.39656	0.14143	0.26985	1.02968	1.03285	99.69308	0.84944	Yes
AL	1.6865	1.2869	1.1198	0.143	4.2362	4.3019	98.47277	0.83814	Yes
SI	4.2588	3.2155	1.6795	2.9E-18	9.1538	9.39663	97.41574	0.86868	No
S	0	0.24094	0.0861	0.26458	0.59162	0.608335	97.25283	0.8682	Yes
CL	0.15636	0.0954	1.6E-08	1.7871	2.03886	2.16896	94.00197	0.94749	No
K	0.13905	0.11062	0.01115	0.05365	0.31448	0.32813	95.83897	0.81893	Yes
CA	0.19442	1.184	4.4E-11	0.36568	1.7441	1.73432	100.56410	0.97704	Yes
SC	0	0	0	0	0	0	-	-	-
TI	0.06738	0.06787	0.03707	0.00945	0.18177	0.19442	93.49430	0.48668	No
MN	0.03468	0.03509	0.03801	0.00177	0.10955	0.11453	95.64835	0.52532	Yes
FE	1.7256	8.0952	27.099	1.9516	38.8714	38.85917	100.03148	0.99548	Yes
OC	0.56441	0.65797	0.55105	0.31312	2.08655	2.42951	85.88369	0.19573	Yes
EC	0.28098	0.80684	2.1966	0.42872	3.71314	4.18653	88.69251	0.04476	Yes

Na tabela anterior estão os resultados oriundos do programa EPA PMF 5.0 e por este motivo foram escritos em Inglês, língua original do programa. Os valores baixos do R^2 de OC e EC impossibilitaram a separação do Carvão como um quinto fator e

fizeram o mesmo estar distribuído ao longo dos 4 existentes. Além disso não houve uma sobreposição de uma fonte de Fe no fator 4, que seria identificado como Mar.

4.2.2 Gráficos Ilustrativos dos Resultados da Análise de Componentes Principais (PMF)

Nos gráficos que se seguem estão os resultados oriundos do programa EPA PMF 5.0 e por este motivo foram escritos em Inglês, língua original do programa.

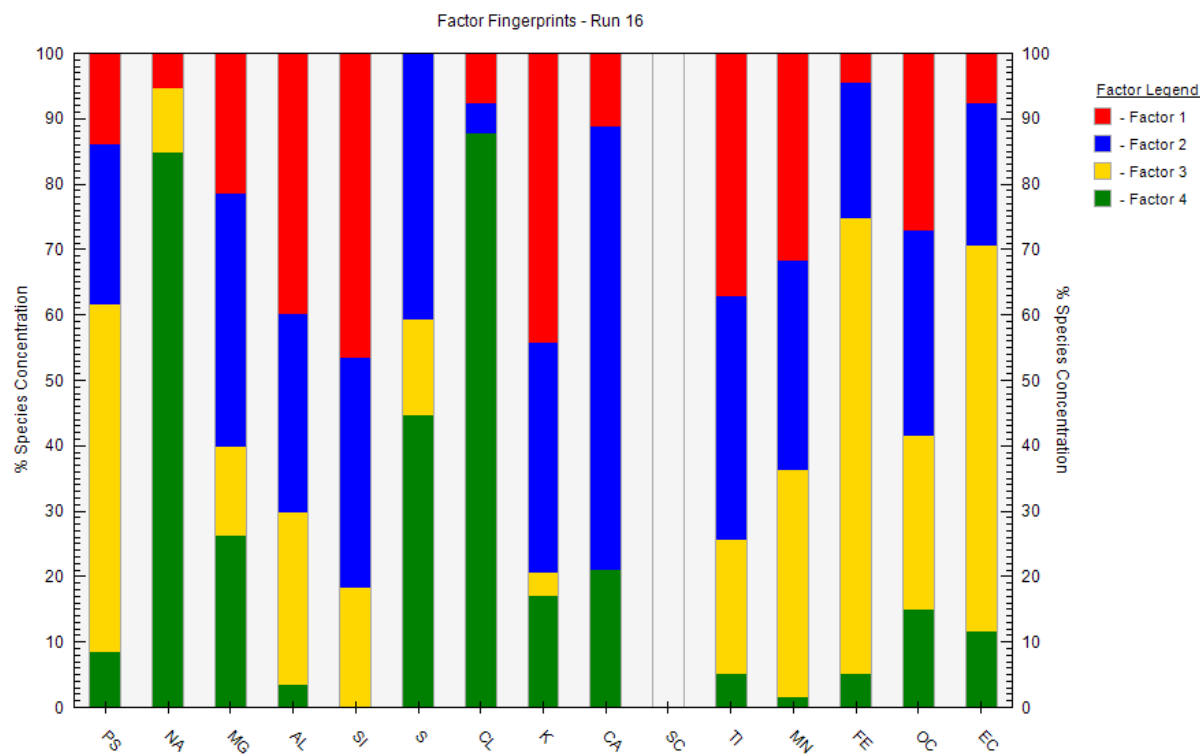


Gráfico 1 – Impressões digitais dos fatores (*Factor Fingerprints*)

O gráfico anterior demonstrou a contribuição de cada fator para a concentração de cada elemento químico. Um exemplo é o Na e o Cl que contém principalmente o fator 4 (que é composto principalmente de Mar, além de Fornos) o que é um resultado bastante coerente.

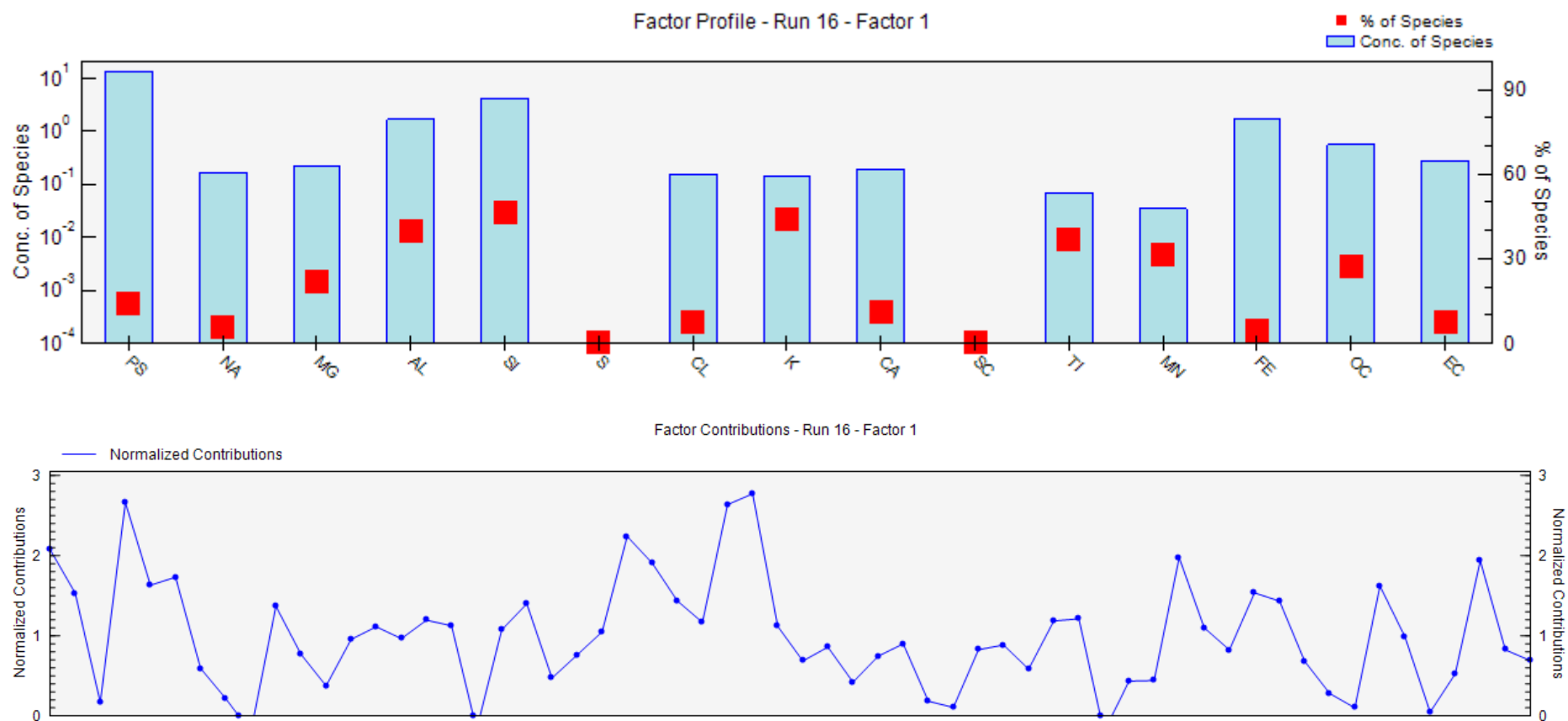


Gráfico 2 – Perfis/Contribuições do Fator 1

O gráfico anterior demonstra a concentração e porcentagem do total de cada espécie de cada elemento químico para cada fator, além de mostrar as suas contribuições. Vale ressaltar a alta participação do silício e de alumínio característica dos solos e a alta variação nas contribuições devido ao fato do silício não ter resíduo normal.

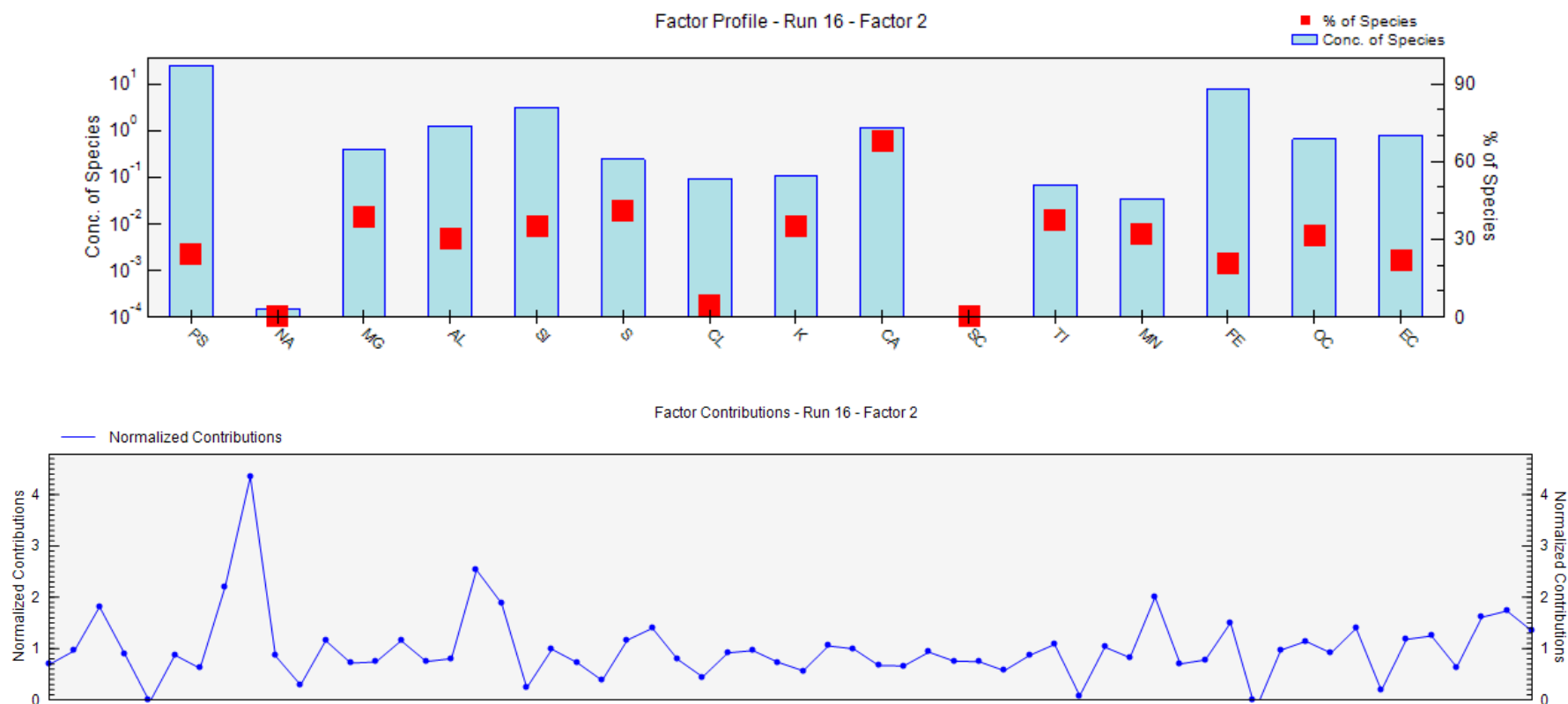


Gráfico 3 – Perfis/Contribuições do Fator 2

Já o gráfico para o fator 2 demonstra que ele é composto principalmente de Solos e Fonte B. Vale ressaltar que suas contribuições são praticamente uniformes com exceção de algumas amostras.

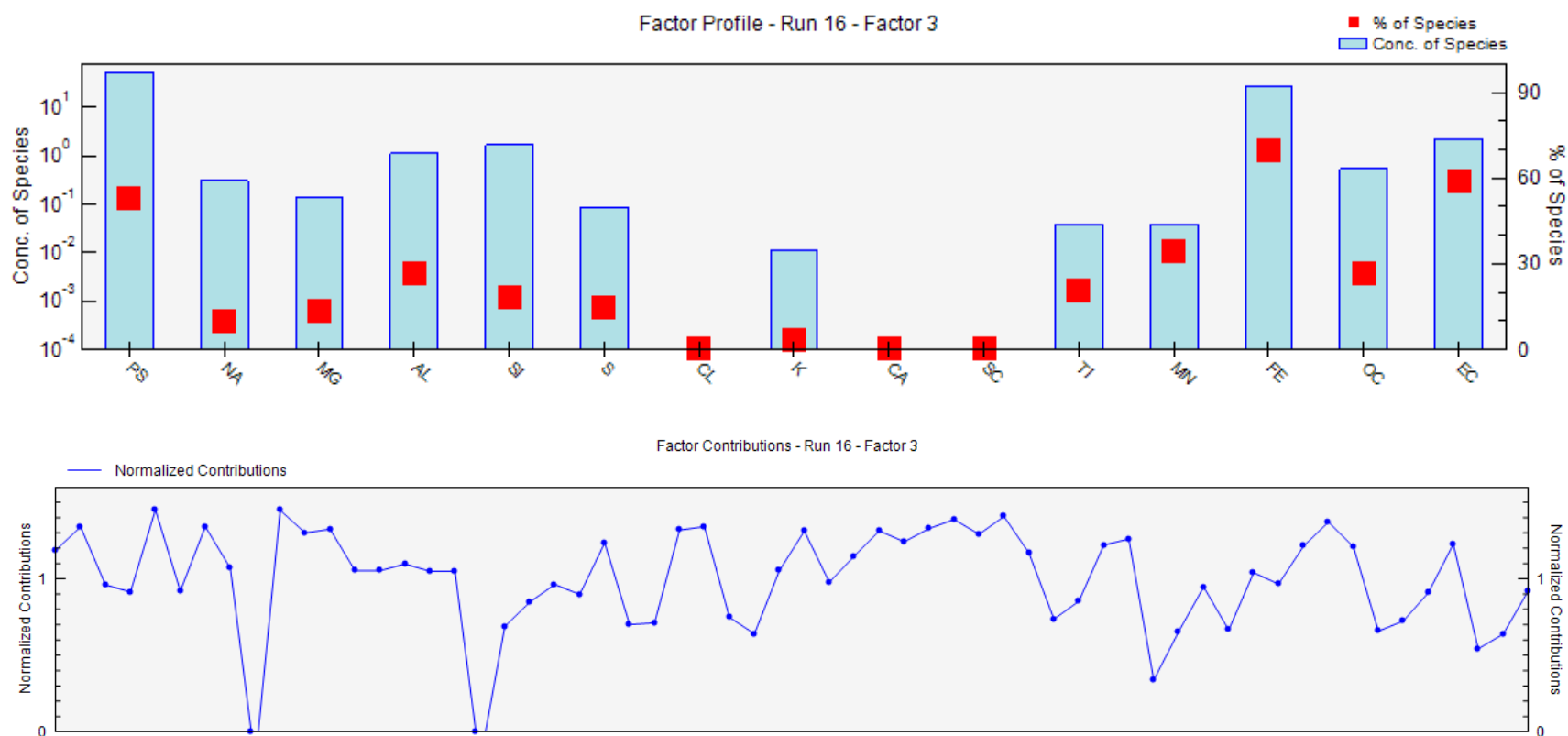


Gráfico 4 – Perfis/Contribuições do Fator 3

O fator 3 se caracteriza por apresentar alta concentração de ferro e por ter um número grande de elementos com concentração maior que 0.01 como por exemplo o manganês que é um elemento marcador dessa fonte sendo assim composto basicamente da fonte B. Suas contribuições são razoavelmente normais com exceção de duas amostras.

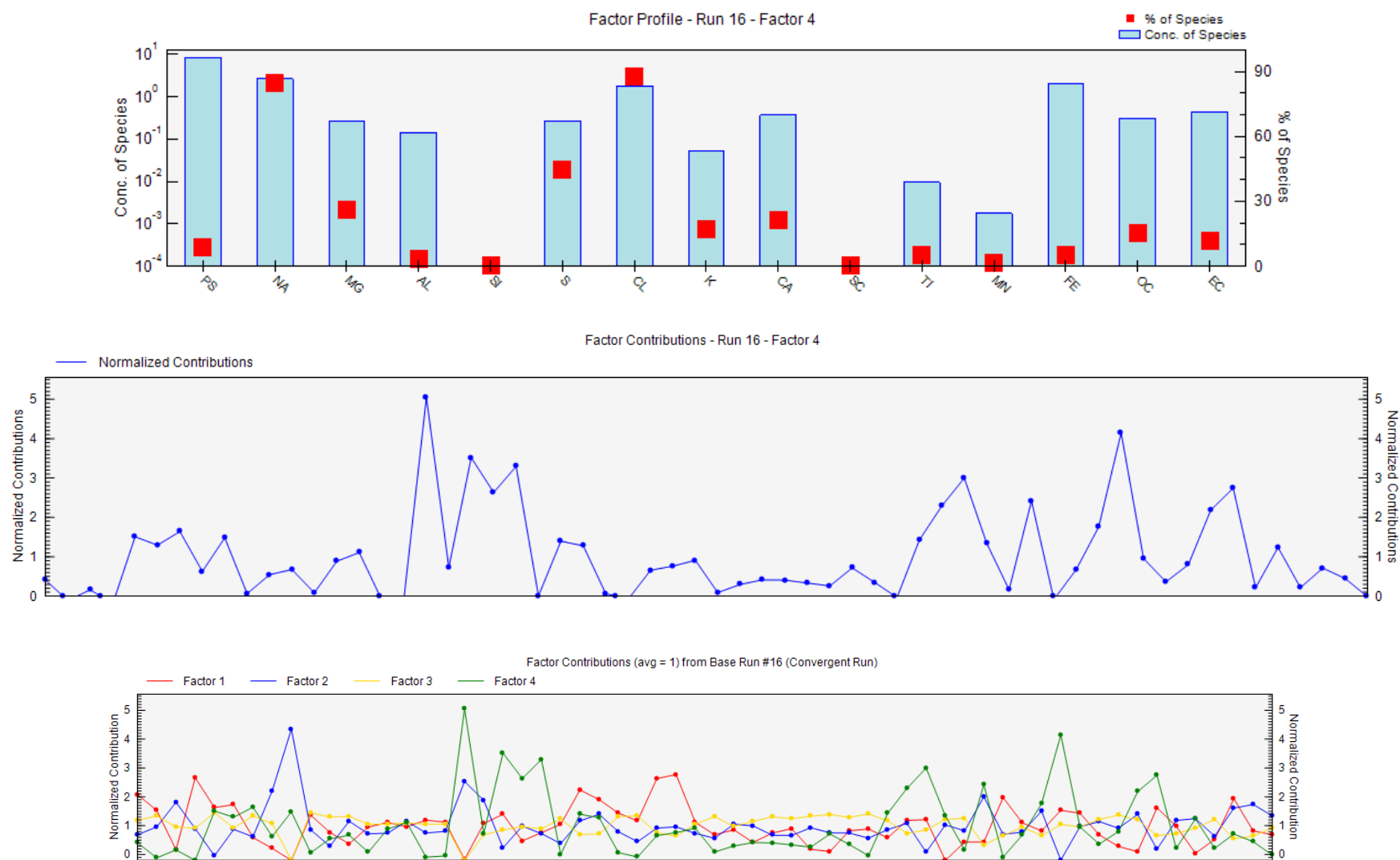


Gráfico 5 - Perfis/Contribuições do Fator 4 e Gráfico com Contribuições de todos os Fatores

O fator 4 é composto principalmente de Mar e de Fornos devido à alta presença de Na, Cl e Fe e com uma porcentagem em massa muito baixa para explicar o Fe presente sem o uso de Fornos. Suas contribuições variam bastante ao longo das amostras, o que se deve ao fato do Cl não ter resíduo normal.

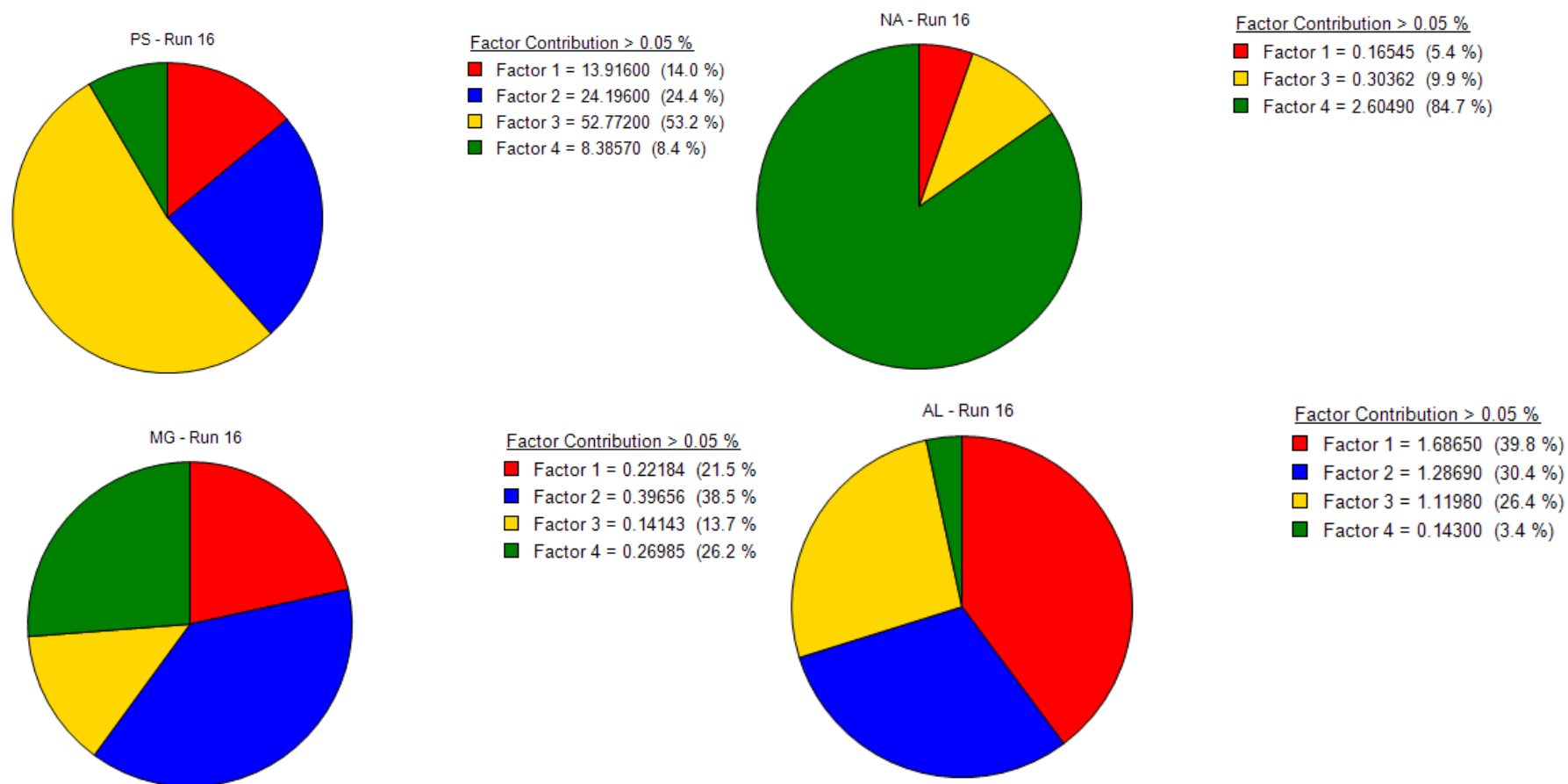


Gráfico 6 – Contribuições aos fatores de PS, Na, Mg e Al

O gráfico 6 mostra que o fator 3 (que possui fonte B) é o que mais contribui para a massa total, enquanto que para o sódio há destaque para o fator 4 (que tem Mar). Para o magnésio há um certo equilíbrio entre os fatores enquanto que para o alumínio há um predomínio fator 2 (no qual há Solos).

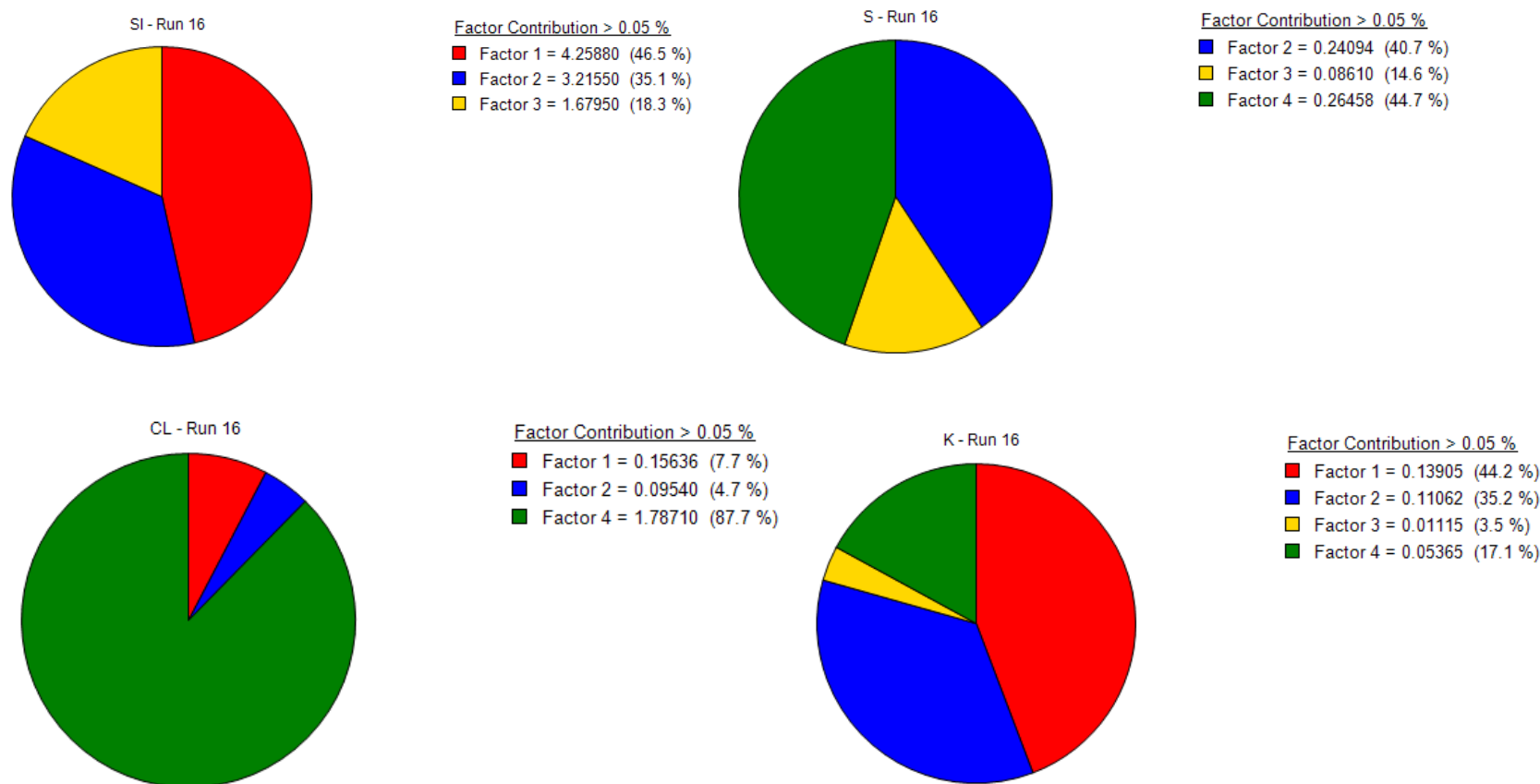


Gráfico 7 – Contribuições aos fatores de Si, S, Cl e K

O silício está distribuído apenas entre as fontes 1,2 e 3 com destaque para a 1 e 2 (que possuem Solos). Já o enxofre é dividido ente as fontes 2, 3 e 4 com maior concentração para as fontes 2 e 4 (que têm Fonte F e Fonte B e Mar respectivamente). Para o cloro há destaque para o fator 4 (que possui mar) e para o potássio há um certo equilíbrio entre os fatores 1 e 2 (nos quais há Solos) enquanto que o 3 é secundário.

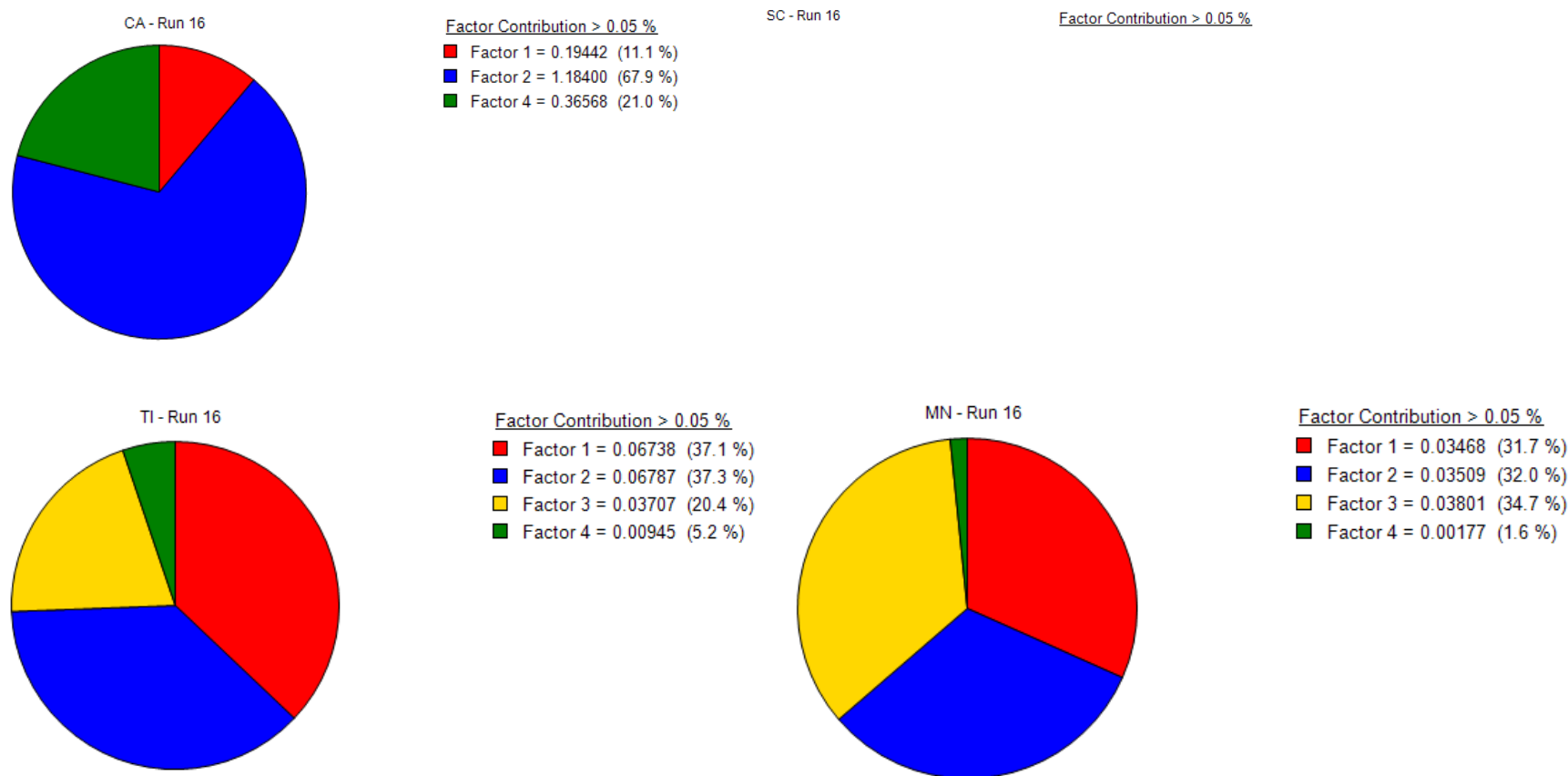


Gráfico 8 – Contribuições aos fatores de Ca, Sc, Ti e Mn

O gráfico anterior ilustra uma maior participação de Ca no fator 2 e que o Sc apresenta concentração zero. Além disso há um maior destaque para

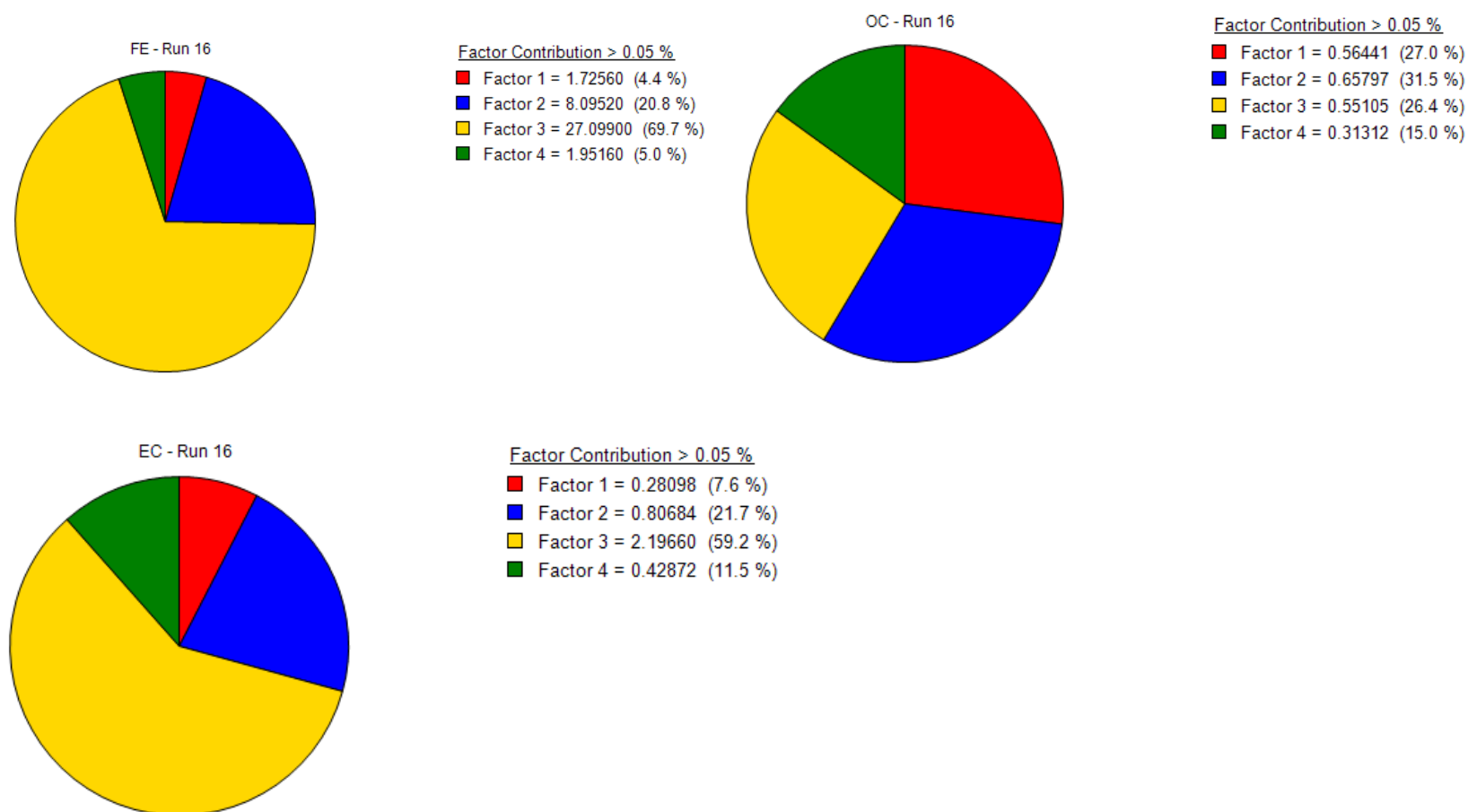


Gráfico 9 – Contribuições aos fatores de Fe, OC e EC

No Fe há um predomínio do fator 3 por ele possuir Fonte B. Já no fator OC há um certo equilíbrio entre as fontes por todas eles terem Carvão, OC ou Fonte F enquanto que no EC há uma superioridade do fator 3 já que nele há a fonte G.

4.3 RESULTADOS DO MÉTODO DESENVOLVIDO POR “SHI”

As tabelas dessa sessão são oriundas do programa EPA-CMB 8.2 e portanto se apresentam parcialmente em Inglês, língua original do programa.

Tabela 11 – Resultado da EC-source 1 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 22 - $R^2=0.99635$, $X^2=0.45826$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	7	FONTE C	9	CARVAO	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	19.72726	—	8.86222	—	6.522629	—	2.326452	—	3.310805	—
TOT	—	13.916	3.7304	15.34591	0.66492	13.18294	0.66826	0.36406	0.04108	0.99157	0.15202	0.37528	0.16131	0.43206	0.1305
NA	*	0.16545	0.04188	0.14712	0.01456	0	0	0.14563	0.01456	0.00105	0.00011	0.00044	0.00012	0	0
MG	—	0.22184	0.01745	0.13826	0.01318	0.13776	0.01318	0	0	0	0	0.0005	0.00005	0	0
AL	—	1.6865	0.02833	1.00416	0.09914	0.99228	0.09914	0	0	0	0	0.01188	0.00012	0	0
SI	*	4.2588	0.06381	4.22733	0.31481	3.14875	0.31481	0	0	0	0	0.00675	0.00068	0	0
S	—	0	0.00001	0.04287	0.00277	0.00857	0.00119	0.01201	0.0012	0.0219	0.00219	0.00038	0.00004	0	0
CL	*	0.15636	0.0099	0.15679	0.0146	0.01173	0.00105	0.14563	0.01456	0	0	0.00011	0.00001	0	0
K	*	0.13905	0.00618	0.14114	0.01451	0.14501	0.0145	0.0051	0.00051	0	0	0.00061	0.00006	0	0
CA	*	0.19442	0.00953	0.20564	0.03283	0.32826	0.03283	0.0051	0.00051	0.00283	0.00029	0.0012	0.00012	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	*	0.06738	0.00732	0.07784	0.00132	0.07765	0.00132	0	0	0	0	0.00049	0.00005	0	0
MN	—	0.03468	0.00427	0.00937	0.00026	0.00936	0.00026	0	0	0	0	0.00001	0	0	0
FE	*	1.7256	0.0811	1.72387	0.12264	0.72928	0.0729	0	0	0.98619	0.09862	0.00289	0.00029	0	0
OC	*	0.56441	0.1167	0.56441	0.04421	0.01977	0.00198	0	0	0.02404	0.0024	0.08854	0.00885	0.43206	0.04321
EC	*	0.28098	0.10737	0.27233	0.02566	0.00923	0.00092	0	0	0.00628	0.00062	0.25631	0.02563	0	0

Como mostra a tabela anterior a fonte 1 foi subdividida em:

$$EC - source_1 = Solos_1 + Mar_1 + Fonte C + Carvão_1 + OC_1 \quad (28)$$

A fonte com principal contribuição foi Solos e vale ressaltar também a presença do complemento de OC.

Tabela 12 – Resultado da EC-source 2 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 22 - $R^2=0.99764$, $X^2=0.29505$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	8	FONTE E	9	CARVAO	10	FONTE B	13	FONTE F
Tstat	_	_	_	_	_	13.36103	_	7.36412	_	4.240542	_	9.730062	_	9.76107	_
TOT	_	24.196	4.9189	27.58025	1.39956	11.25172	0.84213	0.30458	0.04136	1.06145	0.25031	12.94108	1.33001	2.02142	0.20709
NA	*	0.00015	0.00127	0.00124	0.00033	0	0	0	0	0.00124	0.00033	0	0	0	0
MG	_	0.39656	0.02334	0.18446	0.0119	0.11758	0.01125	0	0	0.0014	0.00014	0.06548	0.00388	0	0
AL	_	1.2869	0.02475	0.95156	0.08465	0.84692	0.08461	0	0	0.03359	0.00033	0.07105	0.00246	0	0
SI	*	3.2155	0.05544	3.21543	0.27084	2.68747	0.26869	0	0	0.01911	0.00191	0.3397	0.03404	0	0
S	*	0.24094	0.00781	0.24082	0.02014	0.00731	0.00101	0.01928	0.00193	0.00108	0.00011	0.01255	0.00065	0.20012	0.02001
CL	*	0.0954	0.00773	0.09549	0.00858	0.01001	0.0009	0.08528	0.00853	0.0003	0.00003	0	0	0	0
K	_	0.11062	0.00551	0.28676	0.017	0.12377	0.01238	0.05787	0.00579	0.00172	0.00017	0.00233	0.00039	0.10107	0.01011
CA	_	1.184	0.02351	0.4912	0.03335	0.28017	0.02802	0.01675	0.00168	0.00339	0.00034	0.18079	0.01799	0.01011	0.00101
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	*	0.06787	0.00734	0.07338	0.00154	0.06627	0.00113	0	0	0.00138	0.00014	0.00595	0.00104	0	0
MN	*	0.03509	0.00429	0.03394	0.00173	0.00799	0.00023	0.00168	0.00017	0.00002	0.00001	0.01294	0.00129	0.01112	0.00111
FE	*	8.0952	0.17567	8.09867	0.7303	0.62244	0.06222	0.04264	0.00426	0.00817	0.00082	7.27288	0.72729	0.22236	0.02224
OC	*	0.65797	0.12601	0.69489	0.04767	0.01688	0.00169	0	0	0.25044	0.02504	0.02847	0.00285	0.40428	0.04043
EC	*	0.80684	0.18194	0.74328	0.0725	0.00788	0.00079	0	0	0.72497	0.0725	0	0.00013	0	0

De acordo com a Tabela 13 a fonte 2 foi decomposta em:

$$EC - source_2 = Solos_2 + Fonte E + Carvão_2 + Fonte B_1 + Fonte F \quad (29)$$

As fontes com principal presença foram Fonte B₁ e Solos₂ valendo destacar ainda a presença da fonte F.

Tabela 13 – Resultado da EC-source 3 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 22 - R²=0.9972, X²=0.31734 e GL=5

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	2	MAR	9	CARVAO	10	FORTE B	22	FORTE G
Tstat	—	—	—	—	—	5.597367	—	3.69011	—	17.10334	—	2.113301	—
TOT	—	52.772	7.2644	56.75552	3.0354	0.74417	0.13295	1.87572	0.50831	53.05269	3.10189	1.08294	0.51244
NA	*	0.30362	0.05673	0.29986	0.02977	0.29767	0.02977	0.00219	0.00058	0	0	0	0
MG	—	0.14143	0.01394	0.27169	0.01592	0	0	0.00248	0.00024	0.26845	0.01592	0.00077	0.00008
AL	—	1.1198	0.02309	0.3699	0.01028	0	0	0.05937	0.00058	0.29126	0.01008	0.01928	0.00193
SI	*	1.6795	0.04007	1.66044	0.13959	0	0	0.03376	0.00338	1.39263	0.13953	0.02415	0.00241
S	*	0.0861	0.00467	0.08634	0.00372	0.02456	0.00246	0.00191	0.00019	0.05146	0.00265	0.00857	0.00086
CL	—	0	0.00001	0.29851	0.02977	0.29767	0.02977	0.00053	0.00006	0	0	0.00031	0.00003
K	—	0.01115	0.00175	0.02411	0.00193	0.01042	0.00104	0.00304	0.0003	0.00955	0.00159	0.0011	0.00011
CA	—	0	0.00001	0.76192	0.07375	0.01042	0.00104	0.00598	0.0006	0.74115	0.07374	0.00438	0.00043
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	*	0.03707	0.00543	0.03126	0.00425	0	0	0.00244	0.00024	0.0244	0.00424	0.00093	0.0001
MN	*	0.03801	0.00447	0.04436	0.00531	0	0	0.00004	0.00002	0.05305	0.00531	0.00005	0
FE	*	27.099	0.3214	27.11242	2.98156	0	0	0.01444	0.00144	29.81561	2.98156	0.00669	0.00067
OC	*	0.55105	0.11532	0.56231	0.04576	0	0	0.44256	0.04425	0.11672	0.01167	0.00482	0.00049
EC	*	2.1966	0.3002	2.2273	0.1598	0	0	1.28112	0.12811	0	0.00053	0.95515	0.09552

Já segundo Tabela 13 a fonte 3 foi descrita como:

$$EC - source_3 = Mar_2 + Carvão_3 + Fonte B_2 + Fonte G \quad (29)$$

Tabela 14 – Resultado da EC-source 4 pelo método desenvolvido por “Shi” – Peso 21 - $R^2=0.99683$, $X^2=0.45175$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	7	FONTE C	9	CARVAO	14	CIMENTO	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	7.795205	—	14.7891	—	8.639419	—	3.205505	—	8.265085	—	1.040875	—
TOT	—	8.3857	2.8958	9.59097	0.39586	1.33641	0.17144	4.8665	0.32906	2.05886	0.23831	0.65918	0.20564	0.56434	0.06828	0.10568	0.10153
NA	—	2.6049	0.16616	1.94955	0.19466	0	0	1.9466	0.19466	0.00218	0.00023	0.00077	0.0002	0	0	0	0
MG	—	0.26985	0.01925	0.01484	0.00134	0.01397	0.00134	0	0	0	0	0.00087	0.00009	0	0	0	0
AL	*	0.143	0.00825	0.13274	0.01012	0.10059	0.01005	0	0	0	0	0.02086	0.0002	0.01129	0.00113	0	0
SI	—	0	0.0001	0.33107	0.03194	0.3192	0.03191	0	0	0	0	0.01187	0.00119	0	0	0	0
S	*	0.26458	0.00819	0.25471	0.0167	0.00087	0.00012	0.16059	0.01606	0.04548	0.00455	0.00067	0.00007	0.00497	0.0005	0	0
CL	*	1.7871	0.03346	1.79564	0.19466	0.00119	0.00011	1.9466	0.19466	0	0	0.00018	0.00002	0	0	0	0
K	*	0.05365	0.00384	0.06098	0.00697	0.0147	0.00147	0.06813	0.00681	0	0	0.00107	0.00011	0.00079	0.00008	0	0
CA	*	0.36568	0.01306	0.36639	0.02711	0.03328	0.00333	0.06813	0.00681	0.00587	0.0006	0.0021	0.00021	0.26016	0.02602	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	*	0.00945	0.00274	0.00952	0.00018	0.00787	0.00013	0	0	0	0	0.00086	0.00009	0.00079	0.00008	0	0
MN	*	0.00177	0.00096	0.00113	0.00003	0.00095	0.00003	0	0	0	0	0.00001	0.00001	0.00017	0.00002	0	0
FE	*	1.9516	0.08625	1.97583	0.20491	0.07393	0.00739	0	0	2.04768	0.20477	0.00508	0.00051	0.01659	0.00166	0	0
OC	*	0.31312	0.08693	0.31312	0.01945	0.002	0.0002	0	0	0.04991	0.00498	0.15553	0.01555	0	0	0.10568	0.01057
EC	*	0.42872	0.13262	0.46053	0.04504	0.00094	0.00009	0	0	0.01303	0.0013	0.45022	0.04502	0	0	0	0

Ainda segundo a Tabela 14 a fonte 4 pôde ser entendida como:

$$EC - source_4 = Mar_3 + Carvão_4 + Fonte C_2 + Carvão_4 + Cimento + OC_2 \quad (30)$$

\

Tabela 15 – Resultado global do método desenvolvido por “Shi” (continua)

Sp name	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	Mass Explained (%)	1	SOLOS	2	MAR	7	FONTE C	8	FONTE E	9	CARVAO	10	FONTE B
Tstat	—	—	—	—	—	15.32323	—	11.87607	—	7.815003	—	7.36412	—	3.52855	—	14.89063	—
TOT	100	10	109.2727	5.49574	109.2727	25.77107	1.68183	5.97473	0.50309	3.05043	0.39033	0.30458	0.04136	3.97163	1.12557	65.99377	4.4319
NA	3.023967	0.17894	2.39777	0.23932	79.29221	0	0	2.3899	0.23899	0.00323	0.00034	0	0	0.00464	0.00123	0	0
MG	1.03285	0.037713	0.60925	0.04234	58.98727	0.26931	0.02577	0	0	0	0	0	0	0.00525	0.00052	0.33393	0.0198
AL	4.3019	0.045141	2.45836	0.20419	57.14591	1.93979	0.1938	0	0	0	0	0	0	0.1257	0.00123	0.36231	0.01254
SI	9.396633	0.094877	9.43427	0.75718	100.4005	6.15542	0.61541	0	0	0	0	0	0	0.07149	0.00716	1.73233	0.17357
S	0.608335	0.01259	0.62474	0.04333	102.6967	0.01675	0.00232	0.19716	0.01972	0.06738	0.00674	0.01928	0.00193	0.00404	0.00041	0.06401	0.0033
CL	2.168957	0.036375	2.34643	0.24761	108.1824	0.02293	0.00206	2.3899	0.23899	0	0	0.08528	0.00853	0.00112	0.00012	0	0
K	0.328132	0.009426	0.51299	0.04041	156.3366	0.28348	0.02835	0.08365	0.00836	0	0	0.05787	0.00579	0.00644	0.00064	0.01188	0.00198
CA	1.734317	0.028108	1.82515	0.16704	105.2374	0.64171	0.06418	0.08365	0.00836	0.0087	0.00089	0.01675	0.00168	0.01267	0.00127	0.92194	0.09173
SC	0	0.00001	0	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	0.194417	0.01228	0.192	0.00729	98.75697	0.15179	0.00258	0	0	0	0	0	0	0.00517	0.00052	0.03035	0.00528
MN	0.11453	0.007755	0.0888	0.00733	77.53438	0.0183	0.00052	0	0	0	0	0.00168	0.00017	0.00008	0.00004	0.06599	0.0066
FE	38.85917	0.389147	38.91079	4.03941	100.1328	1.42565	0.14251	0	0	3.03387	0.30339	0.04264	0.00426	0.03058	0.00306	37.08849	3.70885
OC	2.429507	0.242953	2.13473	0.15709	87.86681	0.03865	0.00387	0	0	0.07395	0.00738	0	0	0.93707	0.09369	0.14519	0.01452
EC	4.186532	0.416398	3.70344	0.303	88.46081	0.01805	0.0018	0	0	0.01931	0.00192	0	0	2.71262	0.27126	0	0.00066

Tabela 15 – Resultado global do método desenvolvido por “Shi” (conclusão)

Sp name	13	FONTE F	14	CIMENTO	15	OC	22	FONTE G
Tstat	9.76107	—	8.265085	—	2.317545	—	2.113301	—
TOT	2.02142	0.20709	0.56434	0.06828	0.53774	0.23203	1.08294	0.51244
NA	0	0	0	0	0	0	0	0
MG	0	0	0	0	0	0	0.00077	0.00008
AL	0	0	0.01129	0.00113	0	0	0.01928	0.00193
SI	0	0	0	0	0	0	0.02415	0.00241
S	0.20012	0.02001	0.00497	0.0005	0	0	0.00857	0.00086
CL	0	0	0	0	0	0	0.00031	0.00003
K	0.10107	0.01011	0.00079	0.00008	0	0	0.0011	0.00011
CA	0.01011	0.00101	0.26016	0.02602	0	0	0.00438	0.00043
SC	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	0	0	0.00079	0.00008	0	0	0.00093	0.0001
MN	0.01112	0.00111	0.00017	0.00002	0	0	0.00005	0
FE	0.22236	0.02224	0.01659	0.00166	0	0	0.00669	0.00067
OC	0.40428	0.04043	0	0	0.53774	0.05378	0.00482	0.00049
EC	0	0	0	0	0	0	0.95515	0.09552

Somando os fatores de 1 a 4 foi possível a obtenção da tabela 15 que nos mostra o resultado global para este método.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

As soluções foram distribuídas da seguinte forma segundo as amostras e são mostradas de forma resumida na Tabela 9 e com detalhes nos APÊNDICE A.

Os resultados apresentaram segundo as estações meteorológicas: 8 soluções no verão, 5 no outono, 3 no inverno e 4 na primavera. A maior incidência de resultados satisfatórios no verão se deve ao fato de o vento sul ser menor nessa época do ano o que reduz a participação de material orgânico particulado.

Há ainda uma predominância de resultados da solução 2 com 16 resultados contra 4 da solução 3 e nenhum das demais soluções. Já era esperada a não ocorrência das demais soluções por inventário.

Foram obtidas três amostras com peso 25, cinco com peso 24, onze com 23 e uma com 22. O que resultou em um peso médio de 23.5 com um desvio padrão de 0.82717.

Fazendo uma análise do uso ou não de fontes complementares. Onze amostras necessitaram de complemento de OC, enquanto cinco precisaram de complemento de EC e quatro foram resolvidas sem qualquer complemento. O complemento de OC é mais indesejável porque é oriundo de possíveis transformações de material emitido ou de fontes vegetais desconhecidas.

Assim, o complemento OC tem uma média de concentração de 0.41264% e um desvio padrão de 0.62385%. Já o complemento EC obteve uma média de 0.2735% e um desvio padrão de 0.68797%.

Já os resultados do PMF foram descritos na Tabela 10 e ilustrados na seção 4.2.2.

Apenas os dois elementos com concentrações médias mais baixas obtiveram r^2 na faixa de 0.5 e a espécie química OC apresentou tal parâmetro na faixa de 0.2 e o elemento EC esteve na faixa de 0.045. Tais valores se explicam pela dificuldade em analisar espécies com baixas concentrações e pelo desequilíbrio de OC que acaba afetando também o EC.

Já quanto ao teste KS que foi utilizado para saber se os resíduos forma normais, foram obtidos 11 resíduos normais contra 3 não normais. Os não normais foram Si, Cl e Ti.

Algumas amostras analisadas pelo CMB apresentarem grande oscilação também no valor da fonte Solos, isso se deve a essa variável também não ter resíduo normal.

Ainda assim, 12 das 20 amostras analisadas pelo CMB têm semelhança razoável com o resultado global apresentado pelo método desenvolvido por “Shi” (Tabela 15) no que se refere às suas duas principais fontes (Fonte B e Solos). Além disso, a média das pontuações dos fatores para este método foi de 21.75 com um desvio padrão de meio.

O método foi capaz de separar as fontes B e C que apresentam possível similaridade, além das fontes E, F e G que também podem ser similares. A Fonte G também pode ser similar ao Carvão enquanto que a Fonte E pode apresentar similaridade com Mar. Apresentou também um complemento de OC de concentração de 0.53774% que um pouco acima da média apresentada pelo método que utilizou apenas o CMB.

Os pesos obtidos foram menores por se tratar de uma análise de 60 amostras ao invés de uma individualmente, porque não foram utilizados os complementos de EC e de OC na etapa do PMF e devido ao fato do número de elementos como opção para espécies ajustadas na parte do CMB ser menor para o método desenvolvido por “Shi” mesmo com o critério adotado para tomada de decisões ter sido menos rigoroso para o método desenvolvido por “Shi”.

Houve ainda uma massa explicada com erro da ordem de menos de 5% para os elementos Si, S, Ti e Fe (vale lembrar que Si e Fe são os elementos com maior concentração dentre todos os 14). Entre 5 e 10% estão Ca e o Cl. Entre 10 e 15% se encontram OC e EC. A menor precisão na massa explicada do OC e do EC se deve aos motivos já citados nesse trabalho, enquanto que o Na teve um erro da ordem de 20% devido à provavelmente problemas de medição por PIXE relacionados à variações de tamanhos de grãos. A relação $\frac{C_{conc}^{Al}}{M_{conc}^{Al}}$ esteve dentro da faixa de 0.55 a 1.45. Esses, com exceção do Ti, foram os elementos mais significativos levados em conta na presente análise.

6 CONCLUSÃO

De acordo com o que foi relatado acima foi possível à obtenção de resultados com média de 23.5 em uma escala de zero a vinte e cinco (que foi o critério para tomada de decisão) para vinte das 104 amostras quando resolvidas separadamente pelo balanço químico de massa CMB.

Além disso, o método desenvolvido por “Shi” foi capaz de aproximar o resultado de 12 das 20 amostras selecionadas e obteve uma média de nota de seus fatores de 21.75, valor menor que o do CMB, mesmo com um critério de tomada de decisões menos rigoroso, porém vale ressaltar o fato de terem sido analisadas 60 amostras ao invés de uma e o menor número de elementos como opção para espécies ajustadas. Também vale ressaltar que tal método levou em conta um conjunto de 60 amostras e que ele apresentou vantagens nos quesitos de separação de fontes possivelmente colineares. Porém, obteve média de contribuição do complemento OC um pouco superior à do método CMB.

Assim, ambas as análises se mostraram válidas para os seus devidos propósitos quais sejam: analisar amostras individualmente (CMB) e analisar conjuntos de amostras com redução do problema da colinearidade (“Shi”).

O fator que pode ter avanços é o cálculo das incertezas para a massa total ao invés de se adotar que ela é 10% da concentração total, fato que possibilitaria um resultado mais próximo da realidade.

7 REFERÊNCIAS

COULTER, C. Thomas. **EPA-CMB8.2 Users Manual** . Research Triangle Park, NC: US. Environmental Protection Agency, 2004.

GUO-LIANG, Shi et al. Estimated contributions and uncertainties of PCA/MLR-CMB results: Source apportionment for synthetic and ambient datasets. **Atmospheric Environment**, [S.l.], n. 45, p. 2811- 2819, 2011.

GUO-LIANG, Shi et al. Combined source apportionment, using positive matrix factorization–chemical mass balance and principal component analysis/multiple linear regression–chemical mass balance models. **Atmospheric Environment**, [S.l.], n.43, p. 2929-2937, 2009.

NORRIS, Gary et al. **EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 3.0 Fundamentals & User Guide**. Washington, DC: US. Environmental Protection Agency, 2008.

Watson, John G. **Chemical element balance receptor model methodology for assessing the sources of fine and total particulate matter in Portland, Oregon**. Dissertação (Ph.D.) - Oregon Graduate Center, Beaverton, OR, 1979.

Watson, John G. **Weight of Evidence Validation of Source Contribution Estimates**: Workshop on Vehicular Air Pollution and its Impact on Human Health, Nova Delhi, 2011.

APÊNDICE A – Resultados Globais do Balanço Químico de Massa (CMB)

Tabela A.1 - BOI0109 - Peso 23 - Sol 2 – $R^2 = 0.99815$, $X^2 = 0.27863$ e $GL=7$

SP name	I	Mconc	Minc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D
Tstat	—	—	—	—	—	12.53756	—	9.7389	—	9.59978	—	12.85906	—	8.86696	—
TOT	—	100	10	103.29807	4.21684	33.57195	2.67771	0.81349	0.08353	10.18537	1.061	56.87371	4.42285	1.85355	0.20904
NA	—	0.98	0.084	0.33731	0.03269	0	0	0.32539	0.03254	0.01192	0.00316	0	0	0	0
MG	—	0.855	0.031	0.65205	0.03768	0.35083	0.03357	0	0	0.01344	0.00132	0.28778	0.01706	0	0
AL	—	4.683	0.047	3.16156	0.25271	2.52696	0.25246	0	0	0.32237	0.00316	0.31224	0.01081	0	0
SI	*	9.69	0.097	9.69493	0.81574	8.01866	0.8017	0	0	0.18334	0.01833	1.49293	0.14958	0	0
P	*	0.125	0.008	0.11249	0.00825	0.08091	0.00806	0	0	0.00387	0.00041	0.01479	0.00171	0	0
S	*	0.354	0.008	0.35452	0.0252	0.02182	0.00302	0.02685	0.00268	0.01039	0.00102	0.05517	0.00284	0.24689	0.02469
CL	*	0.361	0.008	0.36086	0.03265	0.02988	0.00269	0.32539	0.03254	0.00285	0.00031	0	0	0	0
K	—	0.406	0.008	0.5001	0.03816	0.36929	0.03693	0.01139	0.00114	0.0165	0.00163	0.01024	0.00171	0.09268	0.00927
CA	*	1.017	0.014	1.02796	0.11511	0.83594	0.08359	0.01139	0.00114	0.03249	0.00326	0.79453	0.07905	0.01019	0.00102
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.198	0.009	0.23714	0.00581	0.19774	0.00336	0	0	0.01324	0.00132	0.02616	0.00455	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.17452	0.01054	0.08057	0.00806	0	0	0	0	0.05687	0.00569	0.03707	0.00371
MN	*	0.107	0.005	0.1004	0.00582	0.02384	0.00067	0	0	0.0002	0.0001	0.05687	0.00569	0.01019	0.00102
FE	*	35.257	0.353	35.406	3.20176	1.8572	0.18565	0	0	0.07843	0.00784	31.96303	3.1963	0.20389	0.02039
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.01657	0.00122	0.00638	0.00067	0	0	0	0	0	0	0.01019	0.00102
CU	—	0	0.00001	0.02037	0.00143	0.01007	0.00101	0	0	0.0001	0.00001	0	0	0.01019	0.00102
ZN	—	0.02321	0.00283	0.12848	0.01273	0.00336	0.00235	0	0	0	0	0.12512	0.01251	0	0
OC	*	2.83	0.283	2.79191	0.24136	0.05036	0.00504	0	0	2.40314	0.24027	0.12512	0.01251	0.18535	0.01854
EC	*	6.94	0.694	6.96014	0.69566	0.0235	0.00235	0	0	6.95661	0.69566	0	0.00057	0	0

Tabela A.2 - BOI0111 - Peso 23 - Sol 2 – $R^2 = 0.99995$, $X^2 = 0.00905$ e $GL=6$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	14.03248	—	8.214942	—	7.059167	—	13.83682	—	8.172698	—	1.030555	—
TOT	—	100	10	102.0275	4.26971	26.49669	1.88824	2.4147	0.29394	8.0915	1.14624	62.88531	4.54478	1.69608	0.20753	0.44319	0.43005
NA	*	0.988	0.069	0.97535	0.09662	0	0	0.96588	0.09659	0.00947	0.00251	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.65	0.027	0.60577	0.03254	0.27689	0.0265	0	0	0.01068	0.00105	0.3182	0.01887	0	0	0	0
AL	*	3.187	0.032	3.1846	0.19963	1.99441	0.19926	0	0	0.2561	0.00251	0.34524	0.01195	0	0	0	0
SI	*	5.849	0.058	5.88389	0.65416	6.32873	0.63274	0	0	0.14565	0.01456	1.65074	0.16539	0	0	0	0
P	—	0.105	0.006	0.08328	0.00664	0.06386	0.00636	0	0	0.00307	0.00032	0.01635	0.00189	0	0	0	0
S	*	0.393	0.008	0.39297	0.02429	0.01722	0.00238	0.07969	0.00797	0.00825	0.00081	0.061	0.00314	0.22592	0.02259	0	0
CL	—	0.584	0.009	0.99173	0.09661	0.02358	0.00212	0.96588	0.09659	0.00227	0.00024	0	0	0	0	0	0
K	—	0.156	0.005	0.4345	0.03063	0.29146	0.02915	0.03381	0.00338	0.01311	0.00129	0.01132	0.00189	0.0848	0.00848	0	0
CA	*	1.246	0.015	1.25266	0.1096	0.65977	0.06598	0.03381	0.00338	0.02581	0.00259	0.87851	0.08741	0.00933	0.00093	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.101	0.008	0.19551	0.00578	0.15607	0.00265	0	0	0.01052	0.00105	0.02893	0.00503	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.1604	0.00957	0.06359	0.00636	0	0	0	0	0.06289	0.00629	0.03392	0.00339	0	0
MN	*	0.0898	0.0068	0.09046	0.00638	0.01881	0.00053	0	0	0.00016	0.00008	0.06289	0.00629	0.00933	0.00093	0	0
FE	*	44.084	0.441	43.78152	3.53725	1.4658	0.14653	0	0	0.0623	0.00623	35.34154	3.53415	0.18657	0.01866	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.01436	0.00107	0.00503	0.00053	0	0	0	0	0	0	0.00933	0.00093	0	0
CU	—	0.01411	0.00255	0.01736	0.00123	0.00795	0.00079	0	0	0.00008	0.00001	0	0	0.00933	0.00093	0	0
ZN	—	0.02846	0.00245	0.141	0.01396	0.00265	0.00185	0	0	0	0	0.13835	0.01383	0	0	0	0
OC	*	2.7	0.27	2.7	0.19721	0.03975	0.00397	0	0	1.90911	0.19088	0.13835	0.01383	0.16961	0.01696	0.44319	0.04432
EC	*	5.3	0.53	5.41944	0.55265	0.01855	0.00185	0	0	5.5265	0.55265	0	0.00063	0	0	0	0

Tabela A.3 - BOI0112 - Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99986$, $X^2=0.02502$ e $GL=6$

SPname	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	16	EC
Tstat	—	—	—	—	—	14.62829	—	6.936223	—	6.5907	—	14.38937	—	8.536637	—	1.676345	—
TOT	—	100	10	100.5431	3.96695	28.49825	1.94816	1.47693	0.21293	9.77012	1.48241	56.59887	3.93338	1.6019	0.18765	2.59706	1.54924
NA	*	0.609	0.062	0.6022	0.05915	0	0	0.59077	0.05908	0.01143	0.00303	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.647	0.027	0.59709	0.0332	0.29781	0.0285	0	0	0.0129	0.00127	0.28639	0.01698	0	0	0	0
AL	*	3.15	0.031	3.1373	0.2146	2.14506	0.21431	0	0	0.30922	0.00303	0.31073	0.01075	0	0	0	0
SI	*	8.05	0.08	8.04405	0.69685	6.80681	0.68054	0	0	0.17586	0.01759	1.48572	0.14886	0	0	0	0
P	—	0.121	0.008	0.08711	0.00706	0.06868	0.00684	0	0	0.00371	0.00039	0.01472	0.0017	0	0	0	0
S	*	0.346	0.008	0.34594	0.02224	0.01852	0.00256	0.04874	0.00487	0.00997	0.00098	0.0549	0.00283	0.21337	0.02134	0	0
CL	—	0.211	0.006	0.61887	0.05912	0.02536	0.00228	0.59077	0.05908	0.00274	0.00029	0	0	0	0	0	0
K	—	0.188	0.006	0.44027	0.0325	0.31348	0.03135	0.02068	0.00207	0.01583	0.00156	0.01019	0.0017	0.08009	0.00801	0	0
CA	*	1.23	0.015	1.23596	0.10602	0.70961	0.07096	0.02068	0.00207	0.03117	0.00313	0.79069	0.07867	0.00881	0.00088	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.158	0.009	0.20659	0.0055	0.16785	0.00285	0	0	0.0127	0.00127	0.02604	0.00453	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.15703	0.00944	0.0684	0.00684	0	0	0	0	0.0566	0.00566	0.03204	0.0032	0	0
MN	—	0.112	0.007	0.08584	0.00576	0.02023	0.00057	0	0	0.0002	0.0001	0.0566	0.00566	0.00881	0.00088	0	0
FE	*	43.843	0.438	43.72609	3.18482	1.57652	0.1576	0	0	0.07523	0.00752	31.80856	3.18086	0.17621	0.01762	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.01423	0.00105	0.00541	0.00057	0	0	0	0	0	0	0.00881	0.00088	0	0
CU	—	0.06682	0.0038	0.01746	0.00123	0.00855	0.00085	0	0	0.0001	0.00001	0	0	0.00881	0.00088	0	0
ZN	*	0.0537	0.0031	0.05816	0.01261	0.00285	0.00199	0	0	0	0	0.12452	0.01245	0	0	0	0
OC	*	2.55	0.255	2.59568	0.23141	0.04275	0.00427	0	0	2.30516	0.23048	0.12452	0.01245	0.16019	0.01602	0	0
EC	*	9.29	0.929	9.29	0.71606	0.01995	0.00199	0	0	6.67299	0.6673	0	0.00057	0	0	2.59706	0.25971

Tabela A.4 - BOI0207 - Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99984$, $X^2=0.02568$ e $GL=7$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	13	FONTE F
Tstat	—	—	—	—	—	17.63525	—	4.861096	—	9.22123	—	13.10063	—	8.273348	—
TOT	—	100	10	99.30415	3.98563	34.58379	1.96106	0.73072	0.15032	6.67156	0.7235	55.77933	4.25776	1.53876	0.18599
NA	*	0.308	0.053	0.30009	0.0293	0	0	0.29229	0.02923	0.00781	0.00207	0	0	0	0
MG	*	0.602	0.026	0.6176	0.03843	0.3614	0.03458	0	0	0.00881	0.00087	0.28224	0.01673	0	0
AL	*	3.981	0.04	3.97105	0.26029	2.60312	0.26007	0	0	0.21115	0.00207	0.30623	0.0106	0	0
SI	*	8.797	0.088	8.82535	0.83887	8.26034	0.82586	0	0	0.12009	0.01201	1.46421	0.1467	0	0
P	*	0.09663	0.00712	0.0983	0.00847	0.08335	0.0083	0	0	0.00254	0.00027	0.0145	0.00167	0	0
S	*	0.261	0.007	0.26083	0.01599	0.02248	0.00311	0.02411	0.00241	0.0068	0.00067	0.05411	0.00279	0.15234	0.01523
CL	—	0.0754	0.00438	0.32494	0.02936	0.03078	0.00277	0.29229	0.02923	0.00187	0.0002	0	0	0	0
K	—	0.217	0.006	0.48844	0.03888	0.38042	0.03804	0.01023	0.00102	0.01081	0.00107	0.01004	0.00167	0.07694	0.00769
CA	*	0.71	0.011	0.71793	0.1159	0.86114	0.08611	0.01023	0.00102	0.02128	0.00213	0.77924	0.07753	0.00769	0.00077
SC	—	0.0001	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.161	0.008	0.23803	0.00571	0.2037	0.00346	0	0	0.00867	0.00087	0.02566	0.00446	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.16956	0.01046	0.083	0.0083	0	0	0	0	0.05578	0.00558	0.03078	0.00308
MN	—	0.13	0.006	0.08893	0.00568	0.02455	0.00069	0	0	0.00013	0.00007	0.05578	0.00558	0.00846	0.00085
FE	*	41.316	0.413	40.97004	3.14068	1.91318	0.19125	0	0	0.05137	0.00514	31.34798	3.1348	0.16926	0.01693
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.01503	0.00109	0.00657	0.00069	0	0	0	0	0	0	0.00846	0.00085
CU	—	0.00742	0.0021	0.01891	0.00134	0.01038	0.00104	0	0	0.00007	0.00001	0	0	0.00846	0.00085
ZN	—	0.03458	0.00332	0.12617	0.01251	0.00346	0.00242	0	0	0	0	0.12271	0.01227	0	0
OC	*	2.02	0.202	2.04212	0.16092	0.05188	0.00519	0	0	1.57409	0.15738	0.12271	0.01227	0.30775	0.03078
EC	*	4.59	0.459	4.58489	0.45567	0.02421	0.00242	0	0	4.55667	0.45567	0	0.00056	0	0

Tabela A.5 - BOI0209 – Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99964$, $X^2=0.07198$ e $GL=6$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	16	EC
Tstat	—	—	—	—	—	14.79398	—	7.521203	—	6.310203	—	12.50321	—	3.876645	—	0.456108	—
TOT	—	100	10	100.6001	4.43886	30.84101	2.0847	2.27554	0.30255	4.64595	0.73626	62.03056	4.96117	0.49183	0.12687	0.31523	0.69113
NA	*	0.944	0.083	0.91565	0.09103	0	0	0.91021	0.09102	0.00544	0.00144	0	0	0	0	0	0
MG	*	0.713	0.029	0.68515	0.03603	0.32229	0.03084	0	0	0.00613	0.0006	0.31387	0.01861	0	0	0	0
AL	*	3.436	0.034	3.43168	0.23223	2.3214	0.23192	0	0	0.14704	0.00144	0.34055	0.01179	0	0	0	0
SI	*	6.715	0.067	6.74549	0.75438	7.36638	0.73648	0	0	0.08363	0.00836	1.6283	0.16314	0	0	0	0
P	—	0.114	0.007	0.09222	0.00763	0.07433	0.0074	0	0	0.00177	0.00019	0.01613	0.00186	0	0	0	0
S	*	0.226	0.007	0.22587	0.01081	0.02005	0.00278	0.07509	0.00751	0.00474	0.00046	0.06017	0.0031	0.06551	0.00655	0	0
CL	—	0.321	0.007	0.93896	0.09105	0.02745	0.00247	0.91021	0.09102	0.0013	0.00014	0	0	0	0	0	0
K	—	0.299	0.007	0.41439	0.03422	0.33925	0.03393	0.03186	0.00319	0.00753	0.00074	0.01117	0.00186	0.02459	0.00246	0	0
CA	*	0.85	0.012	0.85877	0.11552	0.76794	0.07679	0.03186	0.00319	0.01482	0.00149	0.86657	0.08622	0.00271	0.00027	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.146	0.008	0.21623	0.00587	0.18165	0.00308	0	0	0.00604	0.0006	0.02853	0.00496	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.14589	0.00971	0.07402	0.0074	0	0	0	0	0.06203	0.0062	0.00984	0.00098	0	0
MN	—	0.0665	0.0054	0.08673	0.00624	0.0219	0.00062	0	0	0.00009	0.00005	0.06203	0.0062	0.00271	0.00027	0	0
FE	*	41.884	0.419	41.65213	3.49029	1.70612	0.17055	0	0	0.03577	0.00358	34.86117	3.48612	0.0541	0.00541	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.00856	0.00067	0.00586	0.00062	0	0	0	0	0	0	0.00271	0.00027	0	0
CU	—	0	0.00001	0.012	0.00096	0.00925	0.00093	0	0	0.00005	0	0	0	0.00271	0.00027	0	0
ZN	—	0.0198	0.00296	0.13955	0.01382	0.00308	0.00216	0	0	0	0	0.13647	0.01365	0	0	0	0
OC	*	1.31	0.131	1.32039	0.11065	0.04626	0.00463	0	0	1.09617	0.1096	0.13647	0.01365	0.04918	0.00492	0	0
EC	*	3.51	0.351	3.51	0.31889	0.02159	0.00216	0	0	3.17318	0.31732	0	0.00062	0	0	0.31523	0.03152

Tabela A.6 - BOI0210 – Peso 25 - Sol 3 - $R^2=0.99997$, $X^2=0.00749$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	4	FONTE A	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	15	OC
Testat	—	—	—	—	—	10.31201	—	7.618519	—	7.472869	—	7.04872	—	9.435344	—	5.946024	—	1.967709	—
TOT	—	100	10	101.1436	5.02759	19.1193	1.85408	1.91461	0.25131	43.32321	5.7974	3.20315	0.45443	32.48787	3.44321	0.72375	0.12172	0.37172	0.18891
NA	*	0.767	0.065	0.76959	0.07659	0	0	0.76584	0.07658	0	0	0.00375	0.00099	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.594	0.027	0.36841	0.02146	0.1998	0.01912	0	0	0	0	0.00423	0.00042	0.16439	0.00975	0	0	0	0
AL	—	2.523	0.028	1.92247	0.14535	1.43911	0.14378	0	0	0.20362	0.02036	0.10138	0.00099	0.17836	0.00617	0	0	0	0
SI	*	5.386	0.054	5.39234	0.46453	4.56664	0.45657	0	0	0	0	0.05766	0.00577	0.85281	0.08544	0	0	0	0
P	—	0.086	0.00644	0.0735	0.005	0.04608	0.00459	0	0	0.01776	0.00173	0.00122	0.00013	0.00845	0.00097	0	0	0	0
S	*	0.207	0.007	0.20694	0.01177	0.01243	0.00172	0.06318	0.00632	0	0	0.00327	0.00032	0.03151	0.00162	0.0964	0.00964	0	0
CL	—	0.34	0.008	0.78376	0.0766	0.01702	0.00153	0.76584	0.07658	0	0	0.0009	0.0001	0	0	0	0	0	0
K	—	0.127	0.005	0.28434	0.02154	0.21031	0.02103	0.0268	0.00268	0	0	0.00519	0.00051	0.00585	0.00097	0.03619	0.00362	0	0
CA	*	1	0.014	0.99932	0.06569	0.47607	0.04761	0.0268	0.00268	0.0078	0.00087	0.01022	0.00103	0.45386	0.04516	0.00398	0.0004	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.0875	0.0083	0.14472	0.00416	0.11261	0.00191	0	0	0.013	0.0026	0.00416	0.00042	0.01494	0.0026	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.09285	0.00581	0.04589	0.00459	0	0	0	0	0	0	0.03249	0.00325	0.01447	0.00145	0	0
MN	*	0.081	0.0071	0.08263	0.00511	0.01357	0.00038	0	0	0.03336	0.0039	0.00006	0.00003	0.03249	0.00325	0.00398	0.0004	0	0
FE	*	45.816	0.458	45.81295	3.17832	1.05768	0.10573	0	0	25.99393	2.59939	0.02466	0.00247	18.25818	1.82582	0.07961	0.00796	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.00761	0.00055	0.00363	0.00038	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00398	0.0004	0	0
CU	—	0	0.00001	0.00975	0.0007	0.00574	0.00057	0	0	0	0	0.00003	0	0	0	0.00398	0.0004	0	0
ZN	*	0.07187	0.00398	0.07221	0.00727	0.00191	0.00134	0	0	0	0	0	0	0.07147	0.00715	0	0	0	0
OC	*	1.3	0.13	1.3	0.08487	0.02868	0.00287	0	0	0	0	0.75575	0.07556	0.07147	0.00715	0.07237	0.00724	0.37172	0.03717
EC	*	2.2	0.22	2.20055	0.21878	0.01338	0.00134	0	0	0	0	2.18775	0.21877	0	0.00032	0	0	0	0

Tabela A.7 - BOI0211 - Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99988$, $X^2=0.0254$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	13	FONTE F	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	14.05156	—	9.680044	—	6.978617	—	12.69728	—	6.775524	—	0.810911	—
TOT	—	100	10	102.6513	4.63253	25.39075	1.80697	5.96252	0.61596	6.20092	0.88856	61.9904	4.88218	2.80527	0.41403	0.30144	0.37173
NA	*	2.468	0.086	2.39226	0.23851	0	0	2.38501	0.2385	0.00726	0.00192	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.702	0.029	0.58719	0.03148	0.26533	0.02539	0	0	0.00819	0.00081	0.31367	0.0186	0	0	0	0
AL	*	3.068	0.031	3.06802	0.19131	1.91116	0.19094	0	0	0.19626	0.00192	0.34033	0.01178	0	0	0	0
SI	*	5.095	0.051	5.13244	0.62797	6.06458	0.60633	0	0	0.11162	0.01116	1.62725	0.16303	0	0	0	0
P	—	0.131	0.007	0.07967	0.00638	0.06119	0.00609	0	0	0.00236	0.00025	0.01612	0.00186	0	0	0	0
S	*	0.559	0.009	0.55891	0.03426	0.0165	0.00229	0.19676	0.01968	0.00632	0.00062	0.06013	0.0031	0.27772	0.02777	0	0
CL	—	1.354	0.014	2.40934	0.23851	0.0226	0.00203	2.38501	0.2385	0.00174	0.00019	0	0	0	0	0	0
K	—	0.152	0.005	0.52424	0.03242	0.2793	0.02793	0.08348	0.00835	0.01005	0.00099	0.01116	0.00186	0.14026	0.01403	0	0
CA	*	1.161	0.015	1.17025	0.10723	0.63223	0.06322	0.08348	0.00835	0.01978	0.00198	0.86601	0.08617	0.01403	0.0014	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.11	0.008	0.18613	0.00563	0.14955	0.00254	0	0	0.00806	0.00081	0.02852	0.00496	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.17903	0.01035	0.06094	0.00609	0	0	0	0	0.06199	0.0062	0.05611	0.00561	0	0
MN	—	0.0844	0.0068	0.09557	0.00641	0.01803	0.00051	0	0	0.00012	0.00006	0.06199	0.0062	0.01543	0.00154	0	0
FE	*	44.423	0.444	44.09489	3.48683	1.40462	0.14041	0	0	0.04775	0.00477	34.8386	3.48386	0.30858	0.03086	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.02025	0.00162	0.00482	0.00051	0	0	0	0	0	0	0.01543	0.00154	0	0
CU	—	0.01465	0.00202	0.02311	0.00172	0.00762	0.00076	0	0	0.00006	0.00001	0	0	0.01543	0.00154	0	0
ZN	—	0.01928	0.002	0.13892	0.01375	0.00254	0.00178	0	0	0	0	0.13638	0.01364	0	0	0	0
OC	*	2.5	0.25	2.5	0.16017	0.03809	0.00381	0	0	1.46304	0.14628	0.13638	0.01364	0.56105	0.05611	0.30144	0.03014
EC	*	4.1	0.42	4.18083	0.42353	0.01777	0.00178	0	0	4.23523	0.42352	0	0.00062	0	0	0	0

Tabela A.8 - BOI0212 – Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.9999$, $X^2=0.01716$ e $GL=6$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	16	EC
Tstat	—	—	—	—	—	9.564081	—	9.641577	—	5.234893	—	14.42039	—	7.836973	—	2.374243	—
TOT		100	10	101.0437	4.084	19.49284	2.03813	6.80059	0.70534	4.01108	0.76622	65.72956	4.5581	3.18283	0.40613	1.82679	0.76942
NA	*	2.755	0.093	2.72493	0.27203	0	0	2.72024	0.27202	0.00469	0.00124	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.75	0.031	0.54159	0.02773	0.2037	0.01949	0	0	0.00529	0.00052	0.33259	0.01972	0	0	0	0
AL	—	2.899	0.03	1.95503	0.14712	1.46723	0.14659	0	0	0.12695	0.00124	0.36086	0.01249	0	0	0	0
SI	*	6.699	0.067	6.70349	0.4966	4.65586	0.46549	0	0	0.0722	0.00722	1.7254	0.17287	0	0	0	0
P	—	0.09209	0.00749	0.06559	0.00508	0.04698	0.00468	0	0	0.00152	0.00016	0.01709	0.00197	0	0	0	0
S	*	0.729	0.011	0.72918	0.04811	0.01267	0.00175	0.22442	0.02244	0.00409	0.0004	0.06376	0.00329	0.42395	0.0424	0	0
CL	—	1.549	0.015	2.73871	0.27203	0.01735	0.00156	2.72024	0.27202	0.00112	0.00012	0	0	0	0	0	0
K	—	0.21	0.007	0.4871	0.02842	0.21442	0.02144	0.09521	0.00952	0.0065	0.00064	0.01183	0.00197	0.15914	0.01591	0	0
CA	*	1.41	0.017	1.4107	0.10392	0.48537	0.04854	0.09521	0.00952	0.0128	0.00128	0.91824	0.09136	0.01751	0.00175	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.12	0.009	0.15026	0.00563	0.11481	0.00195	0	0	0.00521	0.00052	0.03024	0.00526	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.17617	0.01028	0.04678	0.00468	0	0	0	0	0.06573	0.00657	0.06366	0.00637	0	0
MN	*	0.0968	0.0075	0.09692	0.00681	0.01384	0.00039	0	0	0.00008	0.00004	0.06573	0.00657	0.01751	0.00175	0	0
FE	*	46.867	0.469	46.55908	3.69574	1.07834	0.1078	0	0	0.03089	0.00309	36.94001	3.694	0.35011	0.03501	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.02121	0.00179	0.0037	0.00039	0	0	0	0	0	0	0.01751	0.00175	0	0
CU	—	0.0134	0.00227	0.02339	0.00185	0.00585	0.00058	0	0	0.00004	0	0	0	0.01751	0.00175	0	0
ZN	*	0.0368	0.00288	0.04112	0.01452	0.00195	0.00136	0	0	0	0	0.14461	0.01446	0	0	0	0
OC	*	1.44	0.144	1.43906	0.10092	0.02924	0.00292	0	0	0.94637	0.09462	0.14461	0.01446	0.31828	0.03183	0	0

Tabela A.9 – BOI0309 – Peso 23 - $R^2=0.99994$, $X^2=0.01079$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	PELOTAS	12	SIDMED	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	15.42073	—	6.604683	—	7.025676	—	12.26769	—	3.560668	—	—	—
TOT	—	100	10	98.17906	4.76652	37.41068	2.426	0.14385	0.02178	3.10844	0.44244	57.01471	4.64755	0.25149	0.07063	0.2499	0.1768
NA	—	0.985	0.092	0.06118	0.00583	0	0	0.05754	0.00575	0.00364	0.00096	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.99	0.035	0.68354	0.04114	0.39094	0.03741	0	0	0.0041	0.0004	0.28849	0.0171	0	0	0	0
AL	—	5.089	0.051	3.22729	0.28154	2.8159	0.28133	0	0	0.09838	0.00096	0.31301	0.01083	0	0	0	0
SI	*	10.635	0.106	10.48813	0.90588	8.93554	0.89337	0	0	0.05595	0.0056	1.49664	0.14995	0	0	0	0
P	—	0.151	0.01	0.10616	0.00914	0.09016	0.00898	0	0	0.00118	0.00012	0.01482	0.00171	0	0	0	0
S	*	0.12	0.006	0.12055	0.00557	0.02432	0.00337	0.00475	0.00047	0.00317	0.00031	0.0553	0.00285	0.0335	0.00335	0	0
CL	*	0.0918	0.0054	0.09176	0.00649	0.0333	0.00299	0.05754	0.00575	0.00087	0.00009	0	0	0	0	0	0
K	*	0.521	0.01	0.51871	0.04121	0.41152	0.04115	0.00201	0.0002	0.00504	0.0005	0.01026	0.00171	0.01257	0.00126	0	0
CA	*	1.047	0.016	1.05783	0.12231	0.93153	0.09315	0.00201	0.0002	0.00992	0.00099	0.7965	0.07925	0.00138	0.00014	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.214	0.01	0.25062	0.00591	0.22035	0.00374	0	0	0.00404	0.0004	0.02623	0.00456	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.15183	0.01065	0.08979	0.00898	0	0	0	0	0.05701	0.0057	0.00503	0.0005	0	0
MN	—	0.0722	0.0055	0.08502	0.00575	0.02656	0.00075	0	0	0.00006	0.00003	0.05701	0.0057	0.00138	0.00014	0	0
FE	*	40.658	0.407	40.29605	3.2109	2.06956	0.20688	0	0	0.02394	0.00239	32.04227	3.20423	0.02766	0.00277	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.00849	0.00076	0.00711	0.00075	0	0	0	0	0	0	0.00138	0.00014	0	0
CU	—	0.00451	0.00199	0.01264	0.00113	0.01122	0.00112	0	0	0.00003	0	0	0	0.00138	0.00014	0	0
ZN	—	0.02008	0.00263	0.12917	0.01281	0.00374	0.00262	0	0	0	0	0.12543	0.01254	0	0	0	0
OC	*	1.19	0.119	1.19	0.07872	0.05612	0.00561	0	0	0.73341	0.07333	0.12543	0.01254	0.02515	0.00251	0.2499	0.02499
EC	*	2.16	0.216	2.15446	0.21232	0.02619	0.00262	0	0	2.12307	0.21231	0	0.00057	0	0	0	0

Tabela A.10 - BOI0310 – Peso 24 - Sol 3 - $R^2=0.99998$, $X^2=0.00477$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	4	FONTE A	7	FONTE C	9	CARVAO	10	FONTE B	15	OC
TOT		100	10	100.6807	4.46112	31.57005	2.0161	2.21108	0.26827	28.09945	5.03403	11.45408	1.31194	5.69485	0.81554	21.16635	2.50295	0.48479	0.32729
NA	*	0.903	0.06	0.90323	0.08847	0	0	0.88443	0.08844	0	0	0.01214	0.00126	0.00666	0.00177	0	0	0	0
MG	_	0.659	0.025	0.44453	0.03221	0.32991	0.03157	0	0	0	0	0	0	0.00752	0.00074	0.1071	0.00635	0	0
AL	*	3.292	0.033	3.26874	0.23781	2.37628	0.23741	0	0	0.13207	0.01321	0	0	0.18024	0.00177	0.1162	0.00402	0	0
SI	*	6.458	0.065	6.4557	0.75601	7.54051	0.75389	0	0	0	0	0	0	0.10251	0.01025	0.55562	0.05567	0	0
P	_	0.0103	0.006	0.09527	0.00769	0.07608	0.00758	0	0	0.01152	0.00112	0	0	0.00216	0.00023	0.0055	0.00063	0	0
S	*	0.376	0.008	0.37581	0.02652	0.02052	0.00284	0.07297	0.0073	0	0	0.25302	0.02531	0.00581	0.00057	0.02053	0.00106	0	0
CL	_	0.434	0.008	0.91412	0.08848	0.0281	0.00253	0.88443	0.08844	0	0	0	0	0.00159	0.00017	0	0	0	0
K	_	0.2	0.006	0.39126	0.03488	0.34727	0.03473	0.03096	0.0031	0	0	0	0	0.00923	0.00091	0.00381	0.00063	0	0
CA	*	1.102	0.014	1.10281	0.08408	0.78609	0.07861	0.03096	0.0031	0.00506	0.00056	0.03264	0.00332	0.01817	0.00182	0.29569	0.02942	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	_	0.121	0.008	0.21152	0.00403	0.18595	0.00316	0	0	0.00843	0.00169	0	0	0.0074	0.00074	0.00974	0.00169	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	_	0	0.00001	0.1061	0.00792	0.07577	0.00758	0	0	0	0	0.00916	0.00092	0	0	0.02117	0.00212	0	0
MN	_	0.0798	0.0066	0.06533	0.00336	0.02241	0.00063	0	0	0.02164	0.00253	0	0	0.00011	0.00006	0.02117	0.00212	0	0
FE	*	41.564	0.416	41.5629	2.36344	1.74646	0.17458	0	0	16.85967	1.68597	11.39189	1.13922	0.04385	0.00439	11.89549	1.18955	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	_	0	0.00001	0.006	0.00063	0.006	0.00063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CU	_	0	0.00001	0.00953	0.00095	0.00947	0.00095	0	0	0	0	0	0	0.00006	0.00001	0	0	0	0
ZN	*	0.05265	0.00304	0.05207	0.00515	0.00316	0.00221	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04657	0.00466	0	0
OC	*	2.2	0.22	2.2	0.14564	0.04736	0.00474	0	0	0	0	0.27765	0.02772	1.34364	0.13434	0.04657	0.00466	0.48479	0.04848
EC	*	3.9	0.39	3.93872	0.38903	0.0221	0.00221	0	0	0	0	0.0725	0.00722	3.88958	0.38896	0	0.00021	0	0

1

Tabela A.11 - BOI0412 – Peso 24 - Sol 2 - $R^2=0.99992$, $X^2=0.00997$ e $GL=6$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	13.95052	—	9.827031	—	7.06036	—	14.40651	—	2.314457	—
TOT	—	100	10	103.1486	3.81228	38.34817	2.74887	17.64748	1.79581	7.69784	1.09029	38.42187	2.66698	1.03322	0.44642
NA	*	7.068	0.133	7.068	0.7059	0	0	7.05899	0.7059	0.00901	0.00239	0	0	0	0
MG	—	1.198	0.033	0.60531	0.04006	0.40074	0.03835	0	0	0.01016	0.001	0.19441	0.01153	0	0
AL	*	3.671	0.037	3.66258	0.28848	2.88647	0.28838	0	0	0.24364	0.00239	0.21094	0.0073	0	0
SI	*	8.873	0.089	8.88309	0.92142	9.15946	0.91575	0	0	0.13856	0.01386	1.00857	0.10105	0	0
P	—	0.18	0.009	0.10533	0.00928	0.09242	0.0092	0	0	0.00293	0.00031	0.00999	0.00115	0	0
S	—	0.857	0.014	0.65241	0.05838	0.02493	0.00345	0.58237	0.05824	0.00785	0.00077	0.03727	0.00192	0	0
CL	—	5.258	0.053	7.09528	0.70591	0.03413	0.00307	7.05899	0.7059	0.00216	0.00023	0	0	0	0
K	—	0.457	0.01	0.68828	0.04891	0.42183	0.04218	0.24706	0.02471	0.01247	0.00123	0.00692	0.00115	0	0
CA	—	1.519	0.02	1.76324	0.11219	0.95487	0.09549	0.24706	0.02471	0.02456	0.00246	0.53675	0.05341	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.208	0.012	0.25355	0.00502	0.22587	0.00383	0	0	0.01001	0.001	0.01767	0.00307	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.13046	0.00997	0.09204	0.0092	0	0	0	0	0.03842	0.00384	0	0
MN	*	0.0646	0.0051	0.06541	0.00392	0.02723	0.00077	0	0	0.00015	0.00008	0.03842	0.00384	0	0
FE	*	27.632	0.276	27.65395	2.16971	2.12142	0.21207	0	0	0.05927	0.00593	21.59309	2.15931	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.00729	0.00077	0.00729	0.00077	0	0	0	0	0	0	0	0
CU	—	0.06168	0.0024	0.01158	0.00115	0.0115	0.00115	0	0	0.00008	0.00001	0	0	0	0
ZN	*	0.06384	0.0024	0.06568	0.00887	0.00383	0.00268	0	0	0	0	0.08453	0.00845	0	0
OC	*	2.9915	0.29915	2.9915	0.20918	0.05752	0.00575	0	0	1.81623	0.18159	0.08453	0.00845	1.03322	0.10332
EC	*	5.2045	0.52045	5.24259	0.52577	0.02684	0.00268	0	0	5.25763	0.52576	0	0.00038	0	0

Tabela A.12 - BOI0509 – Peso 24 - Sol 2 - $R^2=0.99991$, $X^2=0.02201$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	15	OC
Tstat	_	_	_	_	_	12.11077	_	9.911287	_	7.082045	_	11.68942	_	6.277932	_	4.045651	_
TOT	_	100	10	96.49393	4.91512	16.38442	1.35288	4.07899	0.41155	8.06822	1.13925	64.11298	5.4847	1.28729	0.20505	2.56203	0.63328
NA	_	2.742	0.086	1.64104	0.16318	0	0	1.6316	0.16316	0.00944	0.0025	0	0	0	0	0	0
MG	_	0.737	0.024	0.50628	0.02529	0.17122	0.01638	0	0	0.01065	0.00105	0.32441	0.01923	0	0	0	0
AL	_	2.591	0.026	1.84059	0.12384	1.23326	0.12321	0	0	0.25536	0.0025	0.35198	0.01218	0	0	0	0
SI	*	5.694	0.057	5.74161	0.42629	3.91342	0.39126	0	0	0.14523	0.01452	1.68297	0.16862	0	0	0	0
P	_	0.0001	0.00001	0.05922	0.00439	0.03949	0.00393	0	0	0.00307	0.00032	0.01667	0.00192	0	0	0	0
S	*	0.387	0.007	0.38701	0.0221	0.01065	0.00147	0.13461	0.01346	0.00823	0.00081	0.06219	0.00321	0.17147	0.01715	0	0
CL	*	1.634	0.0016	1.63343	0.16317	0.01458	0.00131	1.6316	0.16316	0.00226	0.00024	0	0	0	0	0	0
K	_	0.223	0.006	0.32631	0.02011	0.18023	0.01802	0.05711	0.00571	0.01307	0.00129	0.01154	0.00192	0.06436	0.00644	0	0
CA	*	1.55	0.016	1.54631	0.09821	0.40797	0.0408	0.05711	0.00571	0.02574	0.00258	0.89566	0.08912	0.00708	0.00071	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	*	0.132	0.007	0.13475	0.00549	0.0965	0.00164	0	0	0.01049	0.00105	0.02949	0.00513	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	_	0	0.00001	0.12918	0.00795	0.03932	0.00393	0	0	0	0	0.06411	0.00641	0.02575	0.00257	0	0
MN	_	0.0856	0.0052	0.08299	0.00646	0.01163	0.00033	0	0	0.00016	0.00008	0.06411	0.00641	0.00708	0.00071	0	0
FE	*	31	0.31	31.08814	3.60432	0.90639	0.09061	0	0	0.06213	0.00621	36.03149	3.60315	0.1416	0.01416	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	_	0	0.00001	0.01019	0.00078	0.00311	0.00033	0	0	0	0	0	0	0.00708	0.00071	0	0
CU	_	0	0.00001	0.01208	0.00086	0.00492	0.00049	0	0	0.00008	0.00001	0	0	0.00708	0.00071	0	0
ZN	_	0.02721	0.00326	0.14269	0.01415	0.00164	0.00115	0	0	0	0	0.14105	0.0141	0	0	0	0
OC	*	4.76	0.476	4.76	0.31974	0.02458	0.00246	0	0	1.90362	0.19033	0.14105	0.0141	0.12873	0.01287	2.56203	0.2562
EC	*	5.55	0.555	5.53712	0.55106	0.01147	0.00115	0	0	5.51059	0.55106	0	0.00064	0	0	0	0

Tabela A.13 - BOI0512 – Peso 25 - Sol 2 - $R^2=0.99954$, $X^2=0.08101$ e $GL=6$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	11.77649	—	8.212342	—	7.055218	—	11.59793	—	8.264755	—	2.165858	—
TOT	—	100	10	101.7123	4.25724	31.8342	2.7032	2.36343	0.28779	7.07716	1.00311	57.64764	4.97051	1.87081	0.22636	0.91906	0.42434
NA	*	0.961	0.067	0.95365	0.09456	0	0	0.94537	0.09454	0.00828	0.00219	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.876	0.029	0.63371	0.03624	0.33267	0.03183	0	0	0.00934	0.00092	0.2917	0.01729	0	0	0	0
AL	—	4.092	0.041	2.93664	0.23965	2.39616	0.23939	0	0	0.22399	0.00219	0.31649	0.01095	0	0	0	0
SI	*	8.92	0.089	8.91964	0.77528	7.6036	0.7602	0	0	0.12739	0.01274	1.51325	0.15161	0	0	0	0
P	*	0.09619	0.00766	0.09529	0.00784	0.07672	0.00764	0	0	0.00269	0.00028	0.01499	0.00173	0	0	0	0
S	*	0.406	0.008	0.40633	0.02644	0.02069	0.00287	0.07799	0.0078	0.00722	0.00071	0.05592	0.00288	0.24919	0.02492	0	0
CL	—	0.644	0.01	0.97569	0.09457	0.02833	0.00255	0.94537	0.09454	0.00198	0.00021	0	0	0	0	0	0
K	—	0.319	0.008	0.49865	0.03645	0.35018	0.03502	0.03309	0.00331	0.01147	0.00113	0.01038	0.00173	0.09354	0.00935	0	0
CA	*	1.66	0.018	1.6603	0.11279	0.79267	0.07927	0.03309	0.00331	0.02258	0.00226	0.80534	0.08013	0.01029	0.00103	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.181	0.01	0.22322	0.00568	0.1875	0.00318	0	0	0.0092	0.00092	0.02652	0.00461	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.17147	0.01028	0.0764	0.00764	0	0	0	0	0.05765	0.00576	0.03742	0.00374	0	0
MN	*	0.102	0.006	0.09621	0.00589	0.0226	0.00064	0	0	0.00014	0.00007	0.05765	0.00576	0.01029	0.00103	0	0
FE	*	31.19	0.312	31.24603	3.24465	1.76107	0.17604	0	0	0.05449	0.00545	32.39797	3.2398	0.20579	0.02058	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.01634	0.00121	0.00605	0.00064	0	0	0	0	0	0	0.01029	0.00103	0	0
CU	—	0.04814	0.00247	0.01991	0.0014	0.00955	0.00096	0	0	0.00007	0.00001	0	0	0.01029	0.00103	0	0
ZN	—	0.04896	0.00251	0.13001	0.01288	0.00318	0.00223	0	0	0	0	0.12682	0.01268	0	0	0	0
OC	*	2.9505	0.29505	2.9505	0.19197	0.04775	0.00478	0	0	1.66979	0.16695	0.12682	0.01268	0.18708	0.01871	0.91906	0.09191
EC	*	4.8629	0.48629	4.85951	0.48338	0.02228	0.00223	0	0	4.8337	0.48337	0	0.00058	0	0	0	0

Tabela A.14 - BOI0610 – Peso 24 - Sol 3 - $R^2=0.99999$, $X^2=0.00143$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	4	FONTE A	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	15.11127	—	9.973262	—	4.14622	—	7.056229	—	7.644384	—	4.558548	—	0.197818	—
TOT	—	100	10	103.8518	3.87535	47.82867	3.1651	8.15364	0.81755	14.30898	3.45109	11.51513	1.63191	20.38505	2.66667	1.54863	0.33972	0.11167	0.56451
NA	—	4.878	0.114	3.27493	0.32617	0	0	3.26146	0.32615	0	0	0.01347	0.00357	0	0	0	0	0	0
MG	—	1.313	0.036	0.61816	0.04824	0.49981	0.04783	0	0	0	0	0.0152	0.0015	0.10315	0.00612	0	0	0	0
AL	—	5.665	0.057	4.14368	0.35977	3.60006	0.35967	0	0	0.06725	0.00673	0.36445	0.00357	0.11191	0.00387	0	0	0	0
SI	*	12.263	0.123	12.16626	1.14359	11.42388	1.14215	0	0	0	0	0.20727	0.02073	0.53511	0.05361	0	0	0	0
P	*	0.131	0.01	0.13092	0.01152	0.11527	0.01148	0	0	0.00587	0.00057	0.00438	0.00046	0.0053	0.00061	0	0	0	0
S	*	0.538	0.012	0.53799	0.03421	0.03109	0.0043	0.26907	0.02691	0	0	0.01175	0.00115	0.01977	0.00102	0.20628	0.02063	0	0
CL	*	3.31	0.033	3.30994	0.32617	0.04257	0.00383	3.26146	0.32615	0	0	0.00322	0.00035	0	0	0	0	0	0
K	—	0.612	0.012	0.74002	0.05442	0.52612	0.05261	0.11415	0.01142	0	0	0.01865	0.00184	0.00367	0.00061	0.07743	0.00774	0	0
CA	*	1.625	0.022	1.62551	0.12301	1.19093	0.11909	0.11415	0.01142	0.00258	0.00029	0.03673	0.00368	0.28478	0.02834	0.00852	0.00085	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.241	0.013	0.31035	0.00534	0.28171	0.00478	0	0	0.00429	0.00086	0.01497	0.0015	0.00938	0.00163	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.16615	0.01206	0.11479	0.01148	0	0	0	0	0	0	0.02039	0.00204	0.03097	0.0031	0	0
MN	—	0.0934	0.0052	0.07411	0.00273	0.03396	0.00096	0	0	0.01102	0.00129	0.00023	0.00012	0.02039	0.00204	0.00852	0.00085	0	0
FE	*	22.946	0.229	22.94596	1.45599	2.64588	0.26449	0	0	8.58539	0.85854	0.08867	0.00887	11.4564	1.14564	0.17035	0.01703	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.0176	0.00128	0.00909	0.00096	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00852	0.00085	0	0
CU	—	0.00994	0.00012	0.02298	0.00167	0.01435	0.00143	0	0	0	0	0.00012	0.00001	0	0	0.00852	0.00085	0	0
ZN	*	0.04978	0.00202	0.04976	0.0056	0.00478	0.00335	0	0	0	0	0	0	0.04485	0.00448	0	0	0	0
OC	*	3.1	0.31	3.1	0.27244	0.07174	0.00717	0	0	0	0	2.71688	0.27164	0.04485	0.00448	0.15486	0.01549	0.11167	0.01117
EC	*	7.9	0.79	7.89911	0.78649	0.03348	0.00335	0	0	0	0	7.86484	0.78648	0	0.0002	0	0	0	0

Tabela A.15 - BOI0710 – Peso 24 - Sol 2 - $R^2=1$, $X^2=0.0009$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	7	FONTE C	9	CARVAO	10	FONTE B	15	OC
Tstat	_	_	_	_	_	13.77341	_	9.573496	_	4.545948	_	7.004396	_	12.23766	_	2.806726	_
TOT	_	100	10	98.19199	4.08714	30.46912	2.21217	5.75616	0.60126	6.57144	1.44556	5.17849	0.73932	49.25195	4.02462	0.96484	0.34376
NA	*	2.3	0.081	2.31549	0.23025	0	0	2.30246	0.23025	0.00697	0.00072	0.00606	0.00161	0	0	0	0
MG	_	1.088	0.03	0.57445	0.03387	0.3184	0.03047	0	0	0	0	0.00684	0.00067	0.24921	0.01478	0	0
AL	_	4.04	0.04	2.7277	0.22932	2.29341	0.22913	0	0	0	0	0.1639	0.00161	0.27039	0.00936	0	0
SI	*	8.515	0.085	8.51897	0.7391	7.27755	0.7276	0	0	0	0	0.09321	0.00932	1.29286	0.12953	0	0
P	_	0.228	0.008	0.0882	0.00746	0.07343	0.00731	0	0	0	0	0.00197	0.00021	0.01281	0.00148	0	0
S	*	0.41	0.008	0.40984	0.0242	0.0198	0.00274	0.18995	0.019	0.14516	0.01452	0.00528	0.00052	0.04777	0.00246	0	0
CL	_	1.46	0.015	2.33103	0.23026	0.02712	0.00244	2.30246	0.23025	0	0	0.00145	0.00016	0	0	0	0
K	_	0.397	0.008	0.433	0.03451	0.33516	0.03352	0.08059	0.00806	0	0	0.00839	0.00083	0.00887	0.00148	0	0
CA	_	1.403	0.016	1.56256	0.10254	0.75868	0.07587	0.08059	0.00806	0.01873	0.00191	0.01652	0.00166	0.68805	0.06846	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	_	0.159	0.009	0.20885	0.00503	0.17946	0.00305	0	0	0	0	0.00673	0.00067	0.02266	0.00394	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	_	0	0.00001	0.12763	0.00883	0.07313	0.00731	0	0	0.00526	0.00053	0	0	0.04925	0.00493	0	0
MN	_	0.118	0.007	0.07099	0.00496	0.02163	0.00061	0	0	0	0	0.0001	0.00005	0.04925	0.00493	0	0
FE	*	35.368	0.354	35.37952	2.84907	1.68555	0.16849	0	0	6.53576	0.6536	0.03987	0.00399	27.67959	2.76796	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	_	0	0.00001	0.00579	0.00061	0.00579	0.00061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CU	*	0.00937	0.00017	0.00937	0.00091	0.00914	0.00091	0	0	0	0	0.00005	0.00001	0	0	0	0
ZN	*	0.114	0.004	0.11377	0.01104	0.00305	0.00213	0	0	0	0	0	0	0.10835	0.01084	0	0
OC	*	2.5	0.25	2.5	0.15692	0.0457	0.00457	0	0	0.15929	0.0159	1.22181	0.12216	0.10835	0.01084	0.96484	0.09648
EC	*	3.6	0.36	3.59989	0.35372	0.02133	0.00213	0	0	0.0416	0.00414	3.53691	0.35369	0	0.00049	0	0

Tabela A.16 - BOI0809 - Peso 25 - Sol 2 - $R^2=0.99998$, $X^2=0.00307$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	7	FONTE C	9	CARVAO	10	FONTE B
Tstat	—	—	—	—	—	10.15076	—	8.587339	—	3.182353	—	9.493024	—	9.991391	—
TOT	—	100	10	98.23039	4.6321	28.63904	2.82137	3.43047	0.39948	3.28613	1.03261	5.92602	0.62425	56.94873	5.69978
NA	*	1.39	0.084	1.38261	0.13723	0	0	1.37219	0.13722	0.00348	0.00036	0.00693	0.00184	0	0
MG	—	0.871	0.034	0.59526	0.03336	0.29928	0.02864	0	0	0	0	0.00782	0.00077	0.28816	0.01708
AL	—	3.938	0.039	2.65587	0.21565	2.15566	0.21537	0	0	0	0	0.18756	0.00184	0.31265	0.01082
SI	*	8.553	0.086	8.55361	0.70019	6.84043	0.6839	0	0	0	0	0.10667	0.01067	1.4949	0.14978
P	—	0.0935	0.00803	0.08608	0.00709	0.06902	0.00687	0	0	0	0	0.00225	0.00024	0.01481	0.00171
S	*	0.265	0.009	0.26519	0.014	0.01862	0.00258	0.11321	0.01132	0.07259	0.00726	0.00604	0.00059	0.05524	0.00285
CL	—	0.765	0.013	1.39934	0.13724	0.02549	0.00229	1.37219	0.13722	0	0	0.00166	0.00018	0	0
K	—	0.31	0.009	0.38291	0.03193	0.31503	0.0315	0.04803	0.0048	0	0	0.0096	0.00095	0.01025	0.00171
CA	*	1.558	0.021	1.55945	0.10667	0.71311	0.07131	0.04803	0.0048	0.00937	0.00095	0.0189	0.0019	0.79557	0.07916
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.174	0.011	0.20258	0.00544	0.16868	0.00286	0	0	0	0	0.0077	0.00077	0.0262	0.00456
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.12831	0.00893	0.06873	0.00687	0	0	0.00263	0.00026	0	0	0.05695	0.00569
MN	—	0.0748	0.0074	0.0774	0.00572	0.02033	0.00057	0	0	0	0	0.00012	0.00006	0.05695	0.00569
FE	*	37.389	0.374	37.38685	3.22106	1.58431	0.15837	0	0	3.26829	0.32684	0.04563	0.00456	32.00518	3.20052
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.00544	0.00057	0.00544	0.00057	0	0	0	0	0	0	0	0
CU	—	0	0.00005	0.00865	0.00086	0.00859	0.00086	0	0	0	0	0.00006	0.00001	0	0
ZN	—	0.03137	0.0028	0.12815	0.01269	0.00286	0.002	0	0	0	0	0	0	0.12529	0.01253
OC	*	1.68	0.168	1.66017	0.14065	0.04296	0.0043	0	0	0.07966	0.00795	1.39819	0.13979	0.12529	0.01253
EC	*	4.01	0.401	4.04923	0.40476	0.02005	0.002	0	0	0.0208	0.00207	4.04747	0.40475	0	0.00057

Tabela A.17 - BOI0907 - Peso 23 - Sol 2 - $R^2=0.99811$, $X^2=0.37125$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FORTE B	12	FORTE D
Tstat	—	—	—	—	—	12.58981	—	10.0752	—	9.496065	—	11.6638	—	6.996327	—
TOT	—	100	10	103.0532	4.63462	29.79593	2.36667	4.55258	0.45186	7.97565	0.83989	58.91946	5.05148	1.8096	0.25865
NA	—	3.1	0.097	1.83036	0.18212	0	0	1.82103	0.1821	0.00933	0.00247	0	0	0	0
MG	—	1.021	0.035	0.62003	0.03466	0.31137	0.0298	0	0	0.01053	0.00104	0.29813	0.01768	0	0
AL	—	3.852	0.039	2.81864	0.22436	2.24274	0.22407	0	0	0.25243	0.00247	0.32347	0.01119	0	0
SI	*	9.782	0.098	8.80696	0.72835	7.11676	0.71153	0	0	0.14356	0.01436	1.54664	0.15496	0	0
P	*	0.08467	0.00834	0.08778	0.00737	0.07181	0.00715	0	0	0.00303	0.00032	0.01532	0.00177	0	0
S	*	0.476	0.011	0.47599	0.02869	0.01937	0.00268	0.15024	0.01502	0.00814	0.0008	0.05715	0.00295	0.24104	0.0241
CL	*	1.871	0.019	1.8711	0.18212	0.02652	0.00238	1.82103	0.1821	0.00223	0.00024	0	0	0	0
K	—	0.274	0.008	0.5055	0.03466	0.32776	0.03278	0.06374	0.00637	0.01292	0.00128	0.01061	0.00177	0.09048	0.00905
CA	*	1.429	0.018	1.43553	0.11072	0.74192	0.07419	0.06374	0.00637	0.02544	0.00255	0.8231	0.0819	0.00995	0.001
SC	—	0.0001	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.182	0.01	0.21297	0.00567	0.1755	0.00298	0	0	0.01037	0.00104	0.0271	0.00471	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.16662	0.00995	0.07151	0.00715	0	0	0	0	0.05892	0.00589	0.03619	0.00362
MN	—	0.123	0.007	0.09019	0.00601	0.02116	0.0006	0	0	0.00016	0.00008	0.05892	0.00589	0.00995	0.001
FE	*	38.316	0.383	38.30218	3.31544	1.64831	0.16477	0	0	0.06141	0.00614	33.11273	3.31127	0.19906	0.01991
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.01561	0.00116	0.00566	0.0006	0	0	0	0	0	0	0.00995	0.001
CU	—	0.00802	0.00228	0.01897	0.00134	0.00894	0.00089	0	0	0.00008	0.00001	0	0	0.00995	0.001
ZN	—	0.02709	0.00345	0.1326	0.01313	0.00298	0.00209	0	0	0	0	0.12962	0.01296	0	0
OC	*	2.29	0.229	2.25863	0.18951	0.04469	0.00447	0	0	1.88177	0.18815	0.12962	0.01296	0.18096	0.0181
EC	*	5.38	0.538	5.42355	0.54474	0.02086	0.00209	0	0	5.44737	0.54474	0	0.00059	0	0

Tabela A.18 - BOI0909 - Peso 22 - Sol 3 - $R^2=0.99999$, $X^2=0.0028$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	4	FONTA A	9	CARVAO	10	FONTA B	12	FONTA D	16	EC
Tstat	—	—	—	—	—	12.0479	—	8.896998	—	3.467204	—	5.967998	—	4.150698	—	6.408518	—	0.380461	—
TOT	—	100	10	110.5834	4.75562	32.47103	2.69516	4.01219	0.45096	32.00902	9.23194	3.8416	0.6437	36.57251	8.81117	1.45358	0.22682	0.22346	0.58734
NA	*	1.602	0.082	1.60937	0.16049	0	0	1.60488	0.16049	0	0	0.00449	0.00119	0	0	0	0	0	0
MG	—	0.689	0.03	0.52945	0.03428	0.33932	0.03247	0	0	0	0	0.00507	0.0005	0.18506	0.01097	0	0	0	0
AL	*	3.202	0.033	3.18784	0.24475	2.44409	0.24418	0	0	0.15044	0.01504	0.12159	0.00119	0.20078	0.00695	0	0	0	0
SI	*	7.161	0.072	7.16779	0.78138	7.75571	0.77541	0	0	0	0	0.06915	0.00691	0.96003	0.09619	0	0	0	0
P	—	0.07826	0.00803	0.10235	0.00797	0.07826	0.00779	0	0	0.01312	0.00128	0.00146	0.00015	0.00951	0.0011	0	0	0	0
S	*	0.387	0.009	0.38693	0.02371	0.02111	0.00292	0.1324	0.01324	0	0	0.00392	0.00038	0.03548	0.00183	0.19362	0.01936	0	0
CL	—	0.909	0.013	1.63485	0.16051	0.0289	0.0026	1.60488	0.16049	0	0	0.00108	0.00012	0	0	0	0	0	0
K	—	0.202	0.007	0.49884	0.0369	0.35718	0.03572	0.05617	0.00562	0	0	0.00622	0.00061	0.00658	0.0011	0.07268	0.00727	0	0
CA	*	1.446	0.018	1.4457	0.09568	0.80853	0.08085	0.05617	0.00562	0.00576	0.00064	0.01225	0.00123	0.51092	0.05084	0.00799	0.0008	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.164	0.01	0.22267	0.0048	0.19125	0.00325	0	0	0.0096	0.00192	0.00499	0.0005	0.01682	0.00293	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.14357	0.00909	0.07793	0.00779	0	0	0	0	0	0	0.03657	0.00366	0.02907	0.00291	0	0
MN	*	0.0913	0.0074	0.09204	0.00477	0.02305	0.00065	0	0	0.02465	0.00288	0.00008	0.00004	0.03657	0.00366	0.00799	0.0008	0	0
FE	*	41.574	0.416	41.57113	2.81879	1.7963	0.17956	0	0	19.20541	1.92054	0.02958	0.00296	20.55375	2.05538	0.15989	0.01599	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.01416	0.00103	0.00617	0.00065	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00799	0.0008	0	0
CU	—	0.136	0.005	0.01777	0.00126	0.00974	0.00097	0	0	0	0	0.00004	0	0	0	0.00799	0.0008	0	0
ZN	—	0.04394	0.00345	0.08371	0.00836	0.00325	0.00227	0	0	0	0	0	0	0.08046	0.00805	0	0	0	0
OC	*	1.17	0.117	1.17662	0.09226	0.04871	0.00487	0	0	0	0	0.90639	0.09062	0.08046	0.00805	0.14536	0.01454	0	0
EC	*	2.87	0.287	2.87	0.26334	0.02273	0.00227	0	0	0	0	2.62381	0.26238	0	0.00037	0	0	0.22346	0.02235

Tabela A.19 - BOI0910 – Peso 23 - Sol 2 – $R^2=0.99989$, $X^2=0.02507$ e $GL=5$

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	7	FONTE C	9	CARVAO	10	FONTE B	15	OC
Tstat	—	—	—	—	—	11.12794	—	11.84567	—	6.064881	—	6.932997	—	10.00618	—	2.383037	—
TOT	—	100	10	106.6631	3.31777	29.17357	2.62165	19.95995	1.685	16.54827	2.72854	4.94496	0.71325	35.22547	3.52037	0.8109	0.34028
NA	—	11.37	1.137	8.00731	0.7984	0	0	7.98398	0.7984	0.01754	0.00182	0.00579	0.00153	0	0	0	0
MG	—	1.636	0.039	0.48963	0.03104	0.30486	0.02917	0	0	0	0	0.00653	0.00064	0.17824	0.01057	0	0
AL	—	4.107	0.041	2.54579	0.21949	2.19589	0.21939	0	0	0	0	0.15651	0.00153	0.19339	0.00669	0	0
SI	*	7.732	0.077	7.98178	0.70285	6.96811	0.69666	0	0	0	0	0.08901	0.0089	0.92467	0.09264	0	0
P	—	0.144	0.009	0.08135	0.00708	0.07031	0.007	0	0	0	0	0.00188	0.0002	0.00916	0.00106	0	0
S	*	1.096	0.016	1.09588	0.07541	0.01896	0.00263	0.65868	0.06587	0.36555	0.03657	0.00504	0.00049	0.03417	0.00176	0	0
CL	*	7.776	0.078	7.77979	0.7984	0.02596	0.00233	7.98398	0.7984	0	0	0.00138	0.00015	0	0	0	0
K	—	0.336	0.009	0.6147	0.04257	0.32091	0.03209	0.27944	0.02794	0	0	0.00801	0.00079	0.00634	0.00106	0	0
CA	*	1.602	0.021	1.60182	0.09209	0.72642	0.07264	0.27944	0.02794	0.04716	0.0048	0.01577	0.00158	0.4921	0.04896	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.158	0.012	0.19446	0.00411	0.17183	0.00292	0	0	0	0	0.00643	0.00064	0.0162	0.00282	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.11848	0.00795	0.07002	0.007	0	0	0.01324	0.00132	0	0	0.03523	0.00352	0	0
MN	—	0.0785	0.0065	0.05604	0.00357	0.02071	0.00058	0	0	0	0	0.0001	0.00005	0.03523	0.00352	0	0
FE	*	37.464	0.375	37.45857	2.57955	1.61388	0.16133	0	0	16.45841	1.64589	0.03808	0.00381	19.79671	1.97967	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.00554	0.00058	0.00554	0.00058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CU	—	0.0192	0.00193	0.0088	0.00088	0.00875	0.00088	0	0	0	0	0.00005	0	0	0	0	0
ZN	*	0.07977	0.00314	0.07983	0.00801	0.00292	0.00204	0	0	0	0	0	0	0.0775	0.00775	0	0
OC	*	2.5	0.25	2.5	0.14787	0.04376	0.00438	0	0	0.40113	0.04005	1.16671	0.11665	0.0775	0.00775	0.8109	0.08109
EC	*	3.5	0.35	3.50114	0.33791	0.02042	0.00204	0	0	0.10475	0.01043	3.37741	0.33774	0	0.00035	0	0

Tabela A.20 - BOI1009 – Peso 23 - Sol 2 – $R^2=0.99993$, $X^2=0.01615$ e GL= 5

SP name	I	Mconc	Munc	Cconc	Cunc	1	SOLOS	2	MAR	9	CARVAO	10	FONTE B	12	FONTE D	16	EC
Tstat	—	—	—	—	—	10.41779	—	10.00561	—	6.16304	—	12.98697	—	6.01146	—	0.749258	—
TOT	—	100	10	96.55147	4.33076	21.75744	2.08849	2.21144	0.22102	4.41779	0.71682	66.84433	5.14703	0.81305	0.13525	0.50742	0.67723
NA	—	1.596	0.075	0.88974	0.08847	0	0	0.88458	0.08846	0.00517	0.00137	0	0	0	0	0	0
MG	*	0.582	0.027	0.57143	0.02959	0.22737	0.02176	0	0	0.00583	0.00057	0.33823	0.02005	0	0	0	0
AL	—	3.552	0.036	2.14448	0.16411	1.63768	0.16362	0	0	0.13982	0.00137	0.36698	0.0127	0	0	0	0
SI	*	7.735	0.077	7.69701	0.54856	5.19676	0.51957	0	0	0.07952	0.00795	1.75466	0.1758	0	0	0	0
P	—	0.08056	0.00698	0.07149	0.0056	0.05244	0.00522	0	0	0.00168	0.00018	0.01738	0.00201	0	0	0	0
S	*	0.265	0.008	0.26494	0.01363	0.01414	0.00196	0.07298	0.0073	0.00451	0.00044	0.06484	0.00334	0.1083	0.01083	0	0
CL	*	0.914	0.012	0.91383	0.08847	0.01936	0.00174	0.88458	0.08846	0.00124	0.00013	0	0	0	0	0	0
K	—	0.217	0.006	0.33013	0.02456	0.23933	0.02393	0.03096	0.0031	0.00716	0.00071	0.01203	0.00201	0.04065	0.00407	0	0
CA	*	1.118	0.015	1.12596	0.10761	0.54176	0.05418	0.03096	0.0031	0.01409	0.00141	0.93382	0.09291	0.00447	0.00045	0	0
SC	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TI	—	0.145	0.009	0.16464	0.0058	0.12815	0.00218	0	0	0.00574	0.00057	0.03075	0.00535	0	0	0	0
V	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	—	0	0.00001	0.13532	0.00864	0.05222	0.00522	0	0	0	0	0.06684	0.00668	0.01626	0.00163	0	0
MN	—	0.0747	0.0069	0.08685	0.00671	0.01545	0.00044	0	0	0.00009	0.00004	0.06684	0.00668	0.00447	0.00045	0	0
FE	*	44.046	0.441	44.13507	3.75859	1.20362	0.12032	0	0	0.03402	0.0034	37.56651	3.75665	0.08944	0.00894	0	0
CO	*	0	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	—	0	0.00001	0.00861	0.00062	0.00413	0.00044	0	0	0	0	0	0	0.00447	0.00045	0	0
CU	—	0.00778	0.002	0.01104	0.00079	0.00653	0.00065	0	0	0.00004	0	0	0	0.00447	0.00045	0	0
ZN	—	0.02415	0.00236	0.14923	0.01478	0.00218	0.00152	0	0	0	0	0.14706	0.01471	0	0	0	0
OC	*	1.31	0.131	1.306	0.10561	0.03264	0.00326	0	0	1.04233	0.10422	0.14706	0.01471	0.0813	0.00813	0	0
EC	*	3.54	0.354	3.54	0.30598	0.01523	0.00152	0	0	3.01735	0.30173	0	0.00067	0	0	0.50742	0.05074