





## 5.1 Introdução

A distribuição espacial dos teores de metais num dado ambiente geológico representa o produto final de uma série de processos naturais no decurso dos quais podem ocorrer fenómenos de empobrecimento/enriquecimento. O solo como recurso natural, finito, está sujeito a uma pressão cada dia mais crescente das actividades humanas. A introdução de quantidades variáveis de metais e seus compostos pelas actividades antrópicas vai por sua vez afectar mais ou menos drasticamente os padrões naturais de migração em ambiente superficial [MORENO. 2000].

Nos últimos tempos, a protecção e conservação dos é de importância vital pela relação que guarda com outros factores e recursos ambientais, que podem ficar perturbados devido às modificações ocorridas, podendo inclusive causar problemas de saúde ao próprio homem. Numerosas investigações têm evidenciado o efeito que a presença de elevados teores de elementos químicos presentes nos solos tem sobre a saúde humana [FERREIRA, 2004; FERREIRA, 2000].

O estudo do comportamento dos elementos químicos presentes nos solos é fundamental na prevenção dos possíveis problemas de contaminação/poluição e degradação dos solos. Esta primeira abordagem de base de dados geoquímicos dos solos da ilha de Santiago, Cabo Verde poderá fornecer indicações úteis sobre a caracterização do estado actual dos solos e das possíveis medidas a serem tomadas para a sua conservação e gestão ambiental.

## 5.2 Distribuição espacial dos elementos Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Nb, Ni, P, Pb, Sn, Sr, Th, Ti, V, Zn, Zr nos solos da ilha de Santiago

As cartas representam a variação espacial das concentrações dos elementos químicos nas amostras de solos elaboradas no programa *Surfer* versão 6.04. A base de dados criada corresponde a 32 elementos químicos (nove elementos maiores e 23 menores). Foram avaliadas 278 amostras do horizonte superficial (0-20 cm) na fracção inferior a 2 mm.

Os limites das classes cartografadas correspondem aos valores dos percentis apresentados no Quadro 4.15. Para a elaboração dos mapas foram utilizados os seguintes intervalos: [mínimo - 25%]; [25% - 50%]; [50% - 75%]; [75% - 90%]; [90% - 95]; [95% - 97.5] e [97.5 – máximo] encontrando-se na figura apenas referido o valor do limite superior. Os mapas foram efectuados utilizando como estimador a krigagem tendo por base uma análise geoestatística (utilizando o programa *Surfer*).

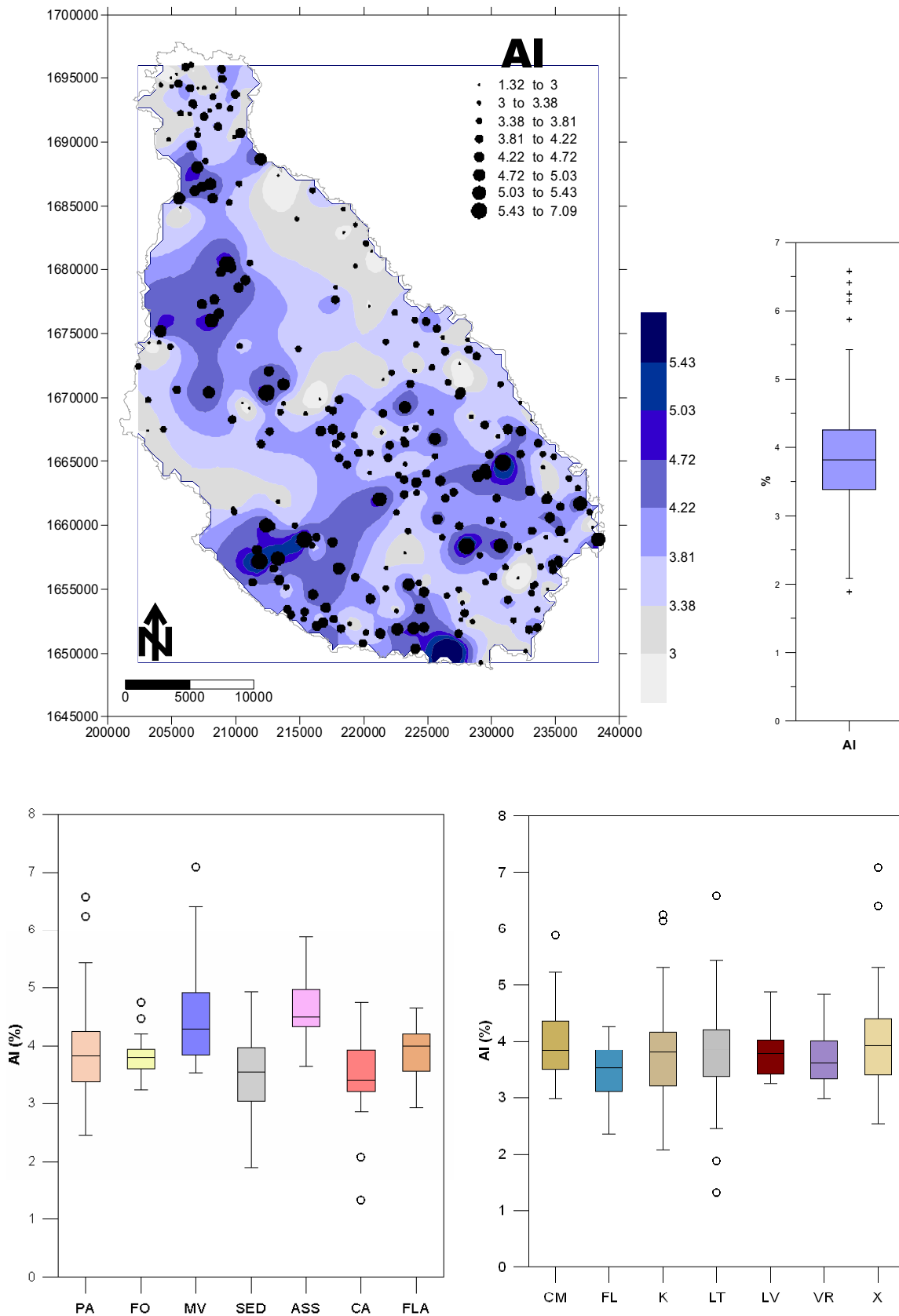


Figura 5.1 – Cartografia dos teores de Al com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

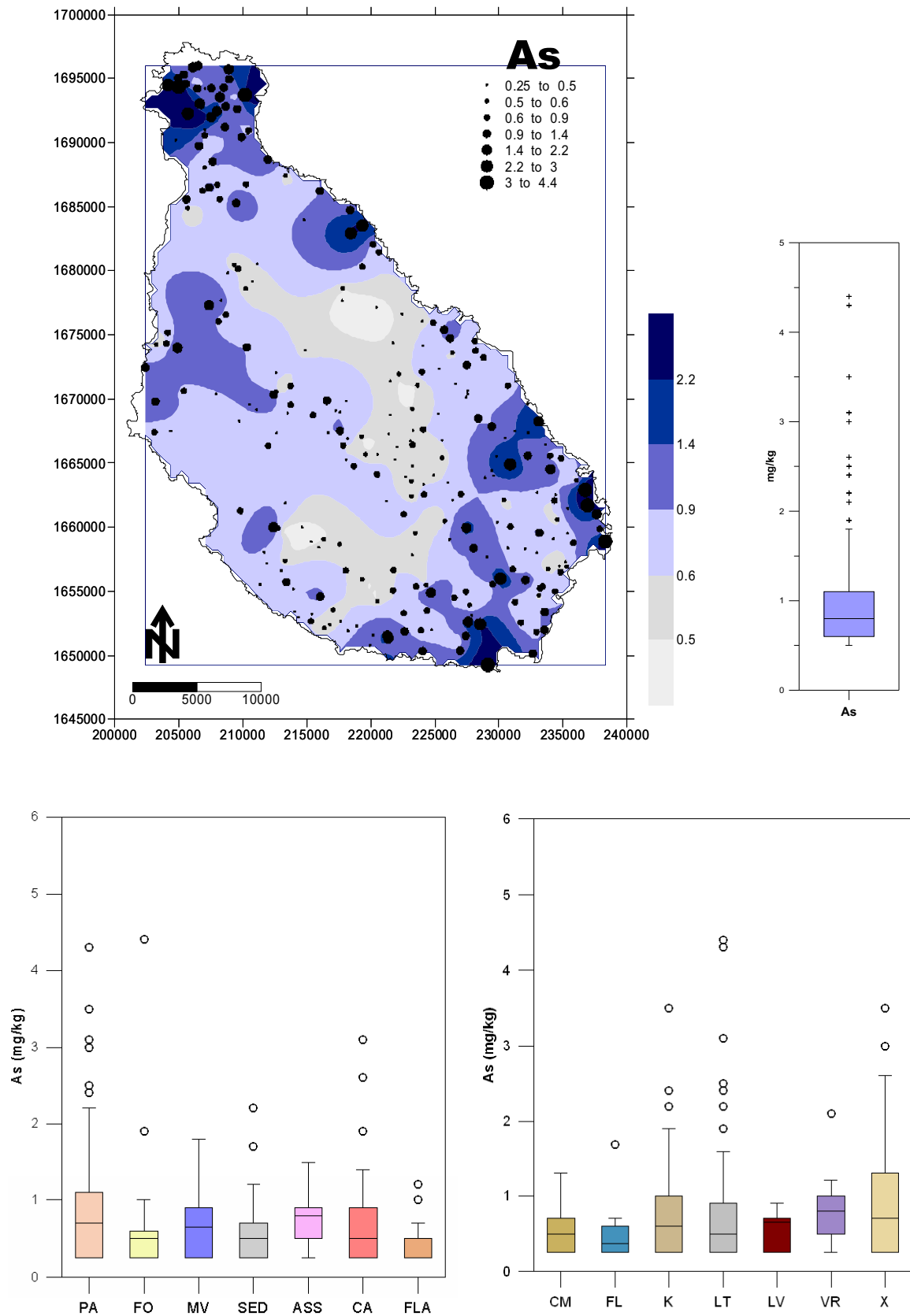


Figura 5.2 – Cartografia dos teores de As com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

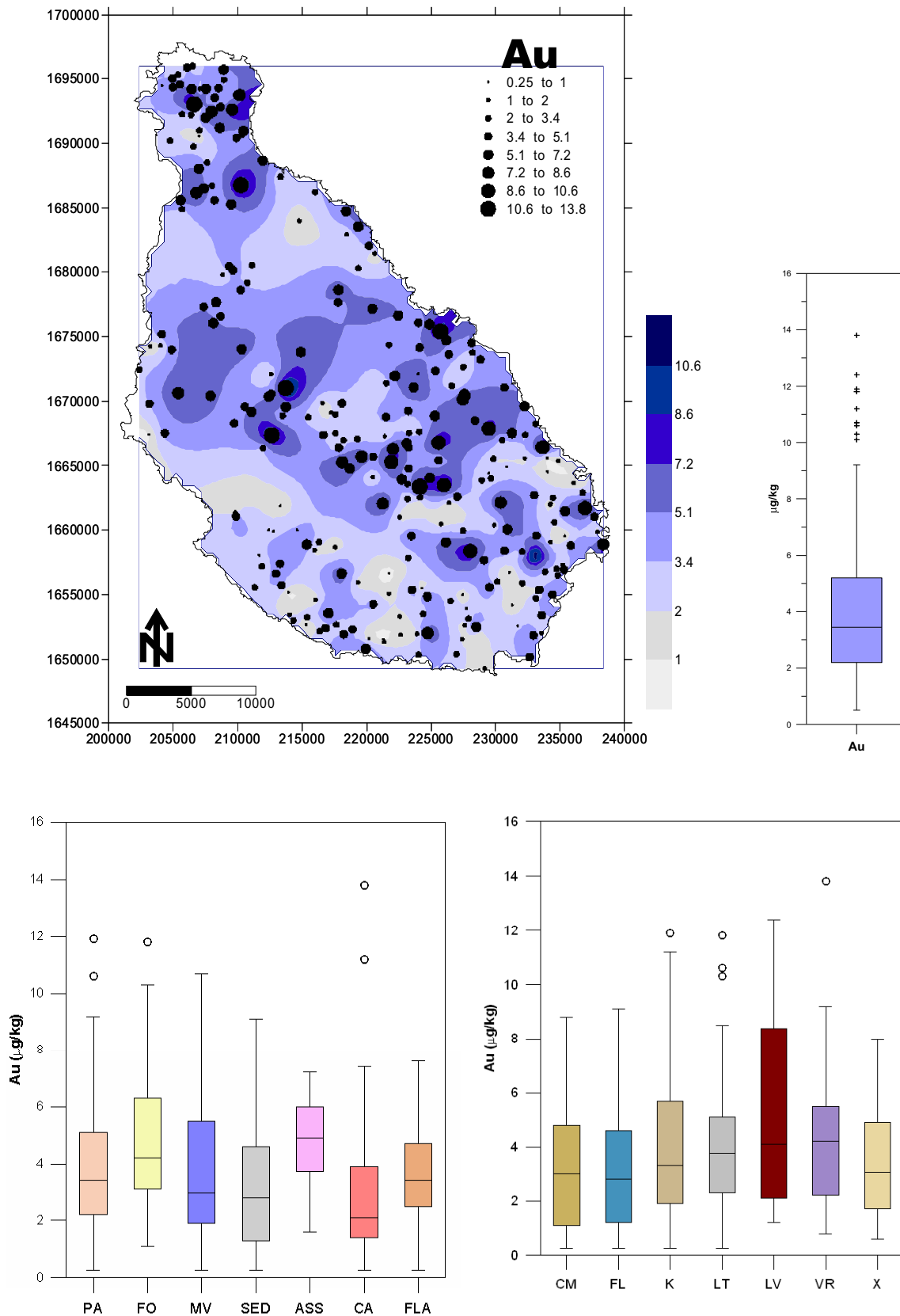


Figura 5.3 – Cartografia dos teores de Au com base nos valores de percentis (teores em µg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

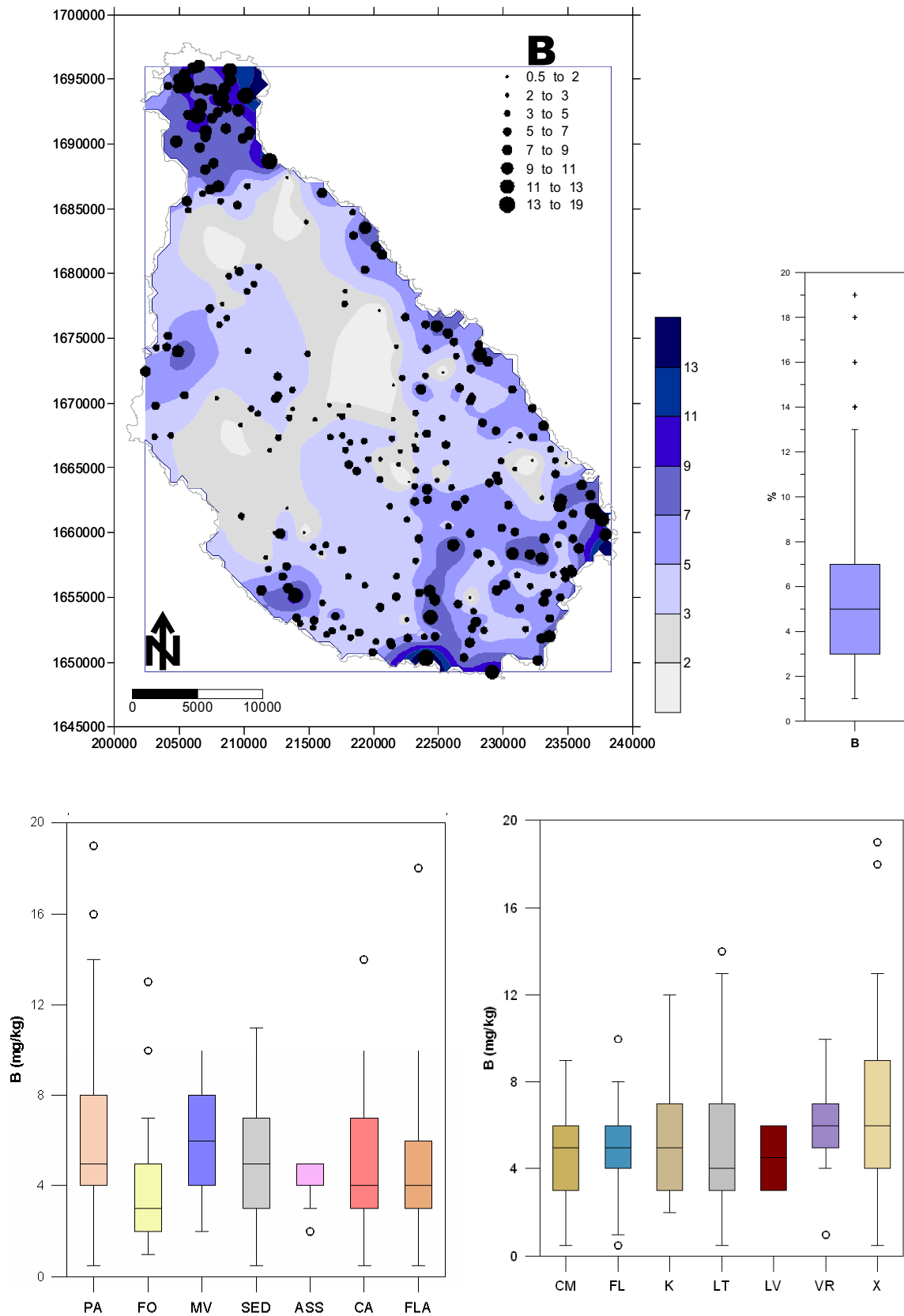


Figura 5.4 – Cartografia dos teores de B com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

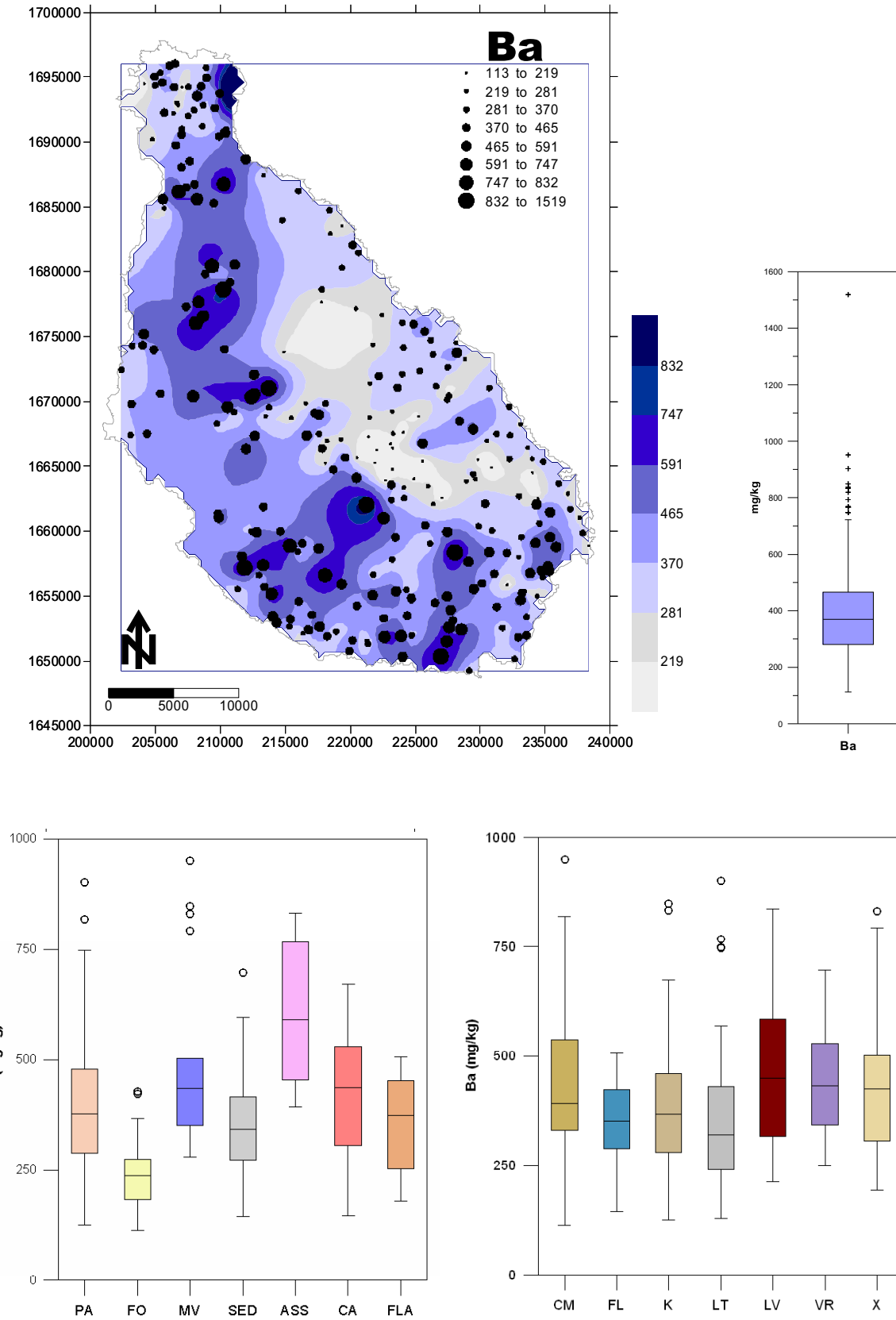


Figura 5.5 – Cartografia dos teores de Ba com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

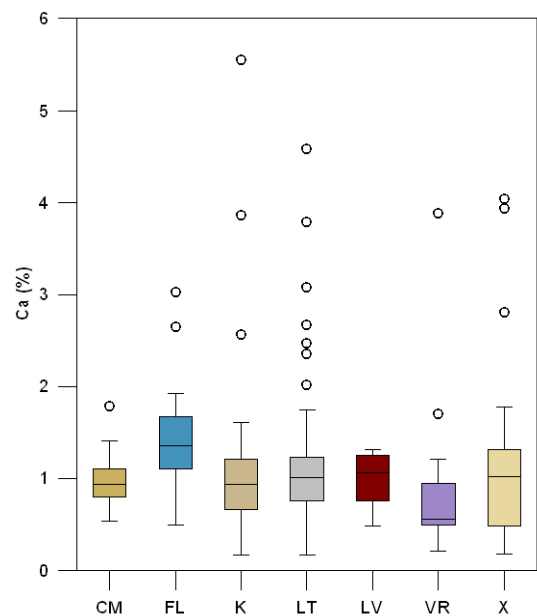
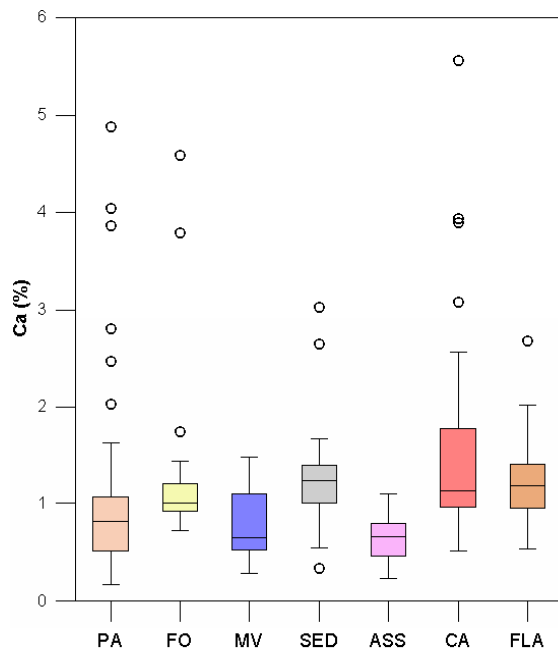
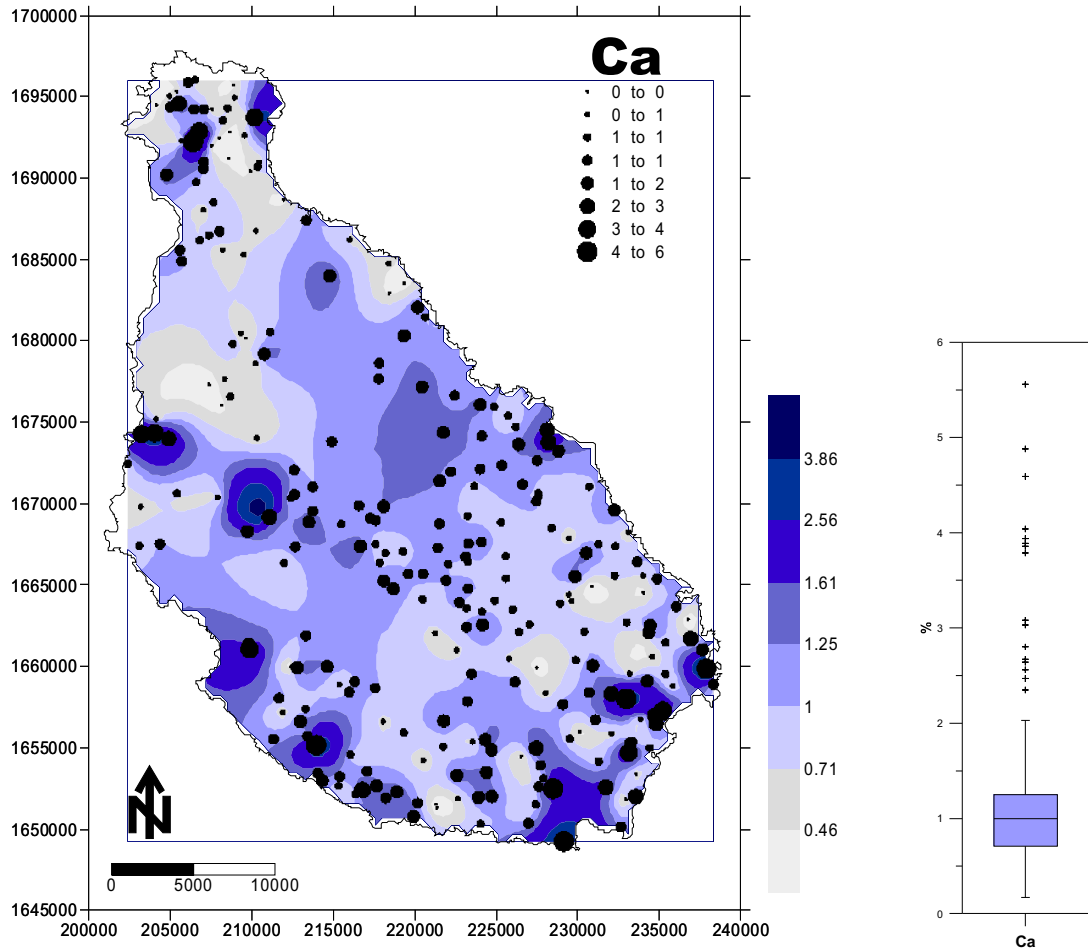


Figura 5.6 – Cartografia dos teores de Ca com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

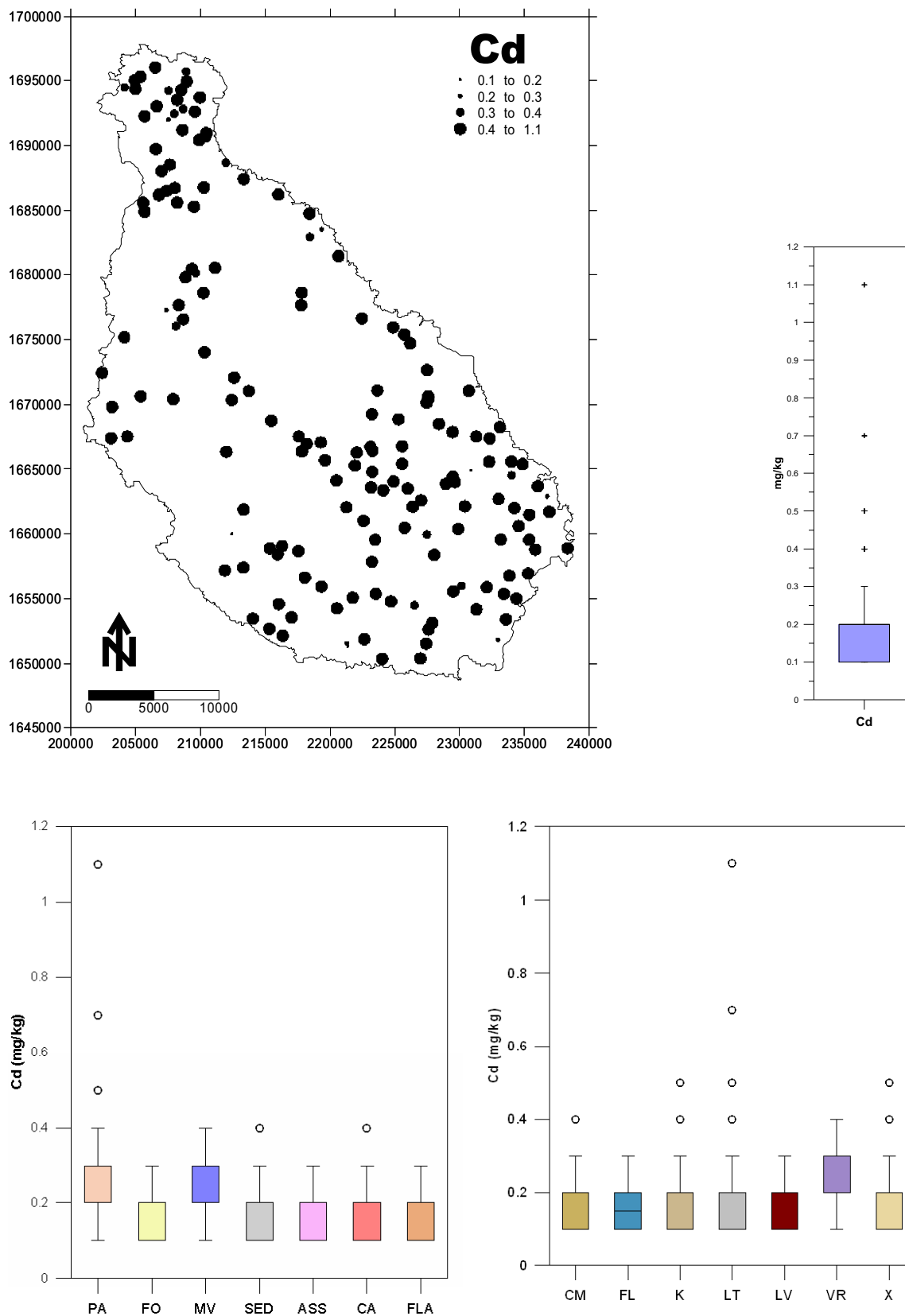


Figura 5.7 – Cartografia dos teores de Cd com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

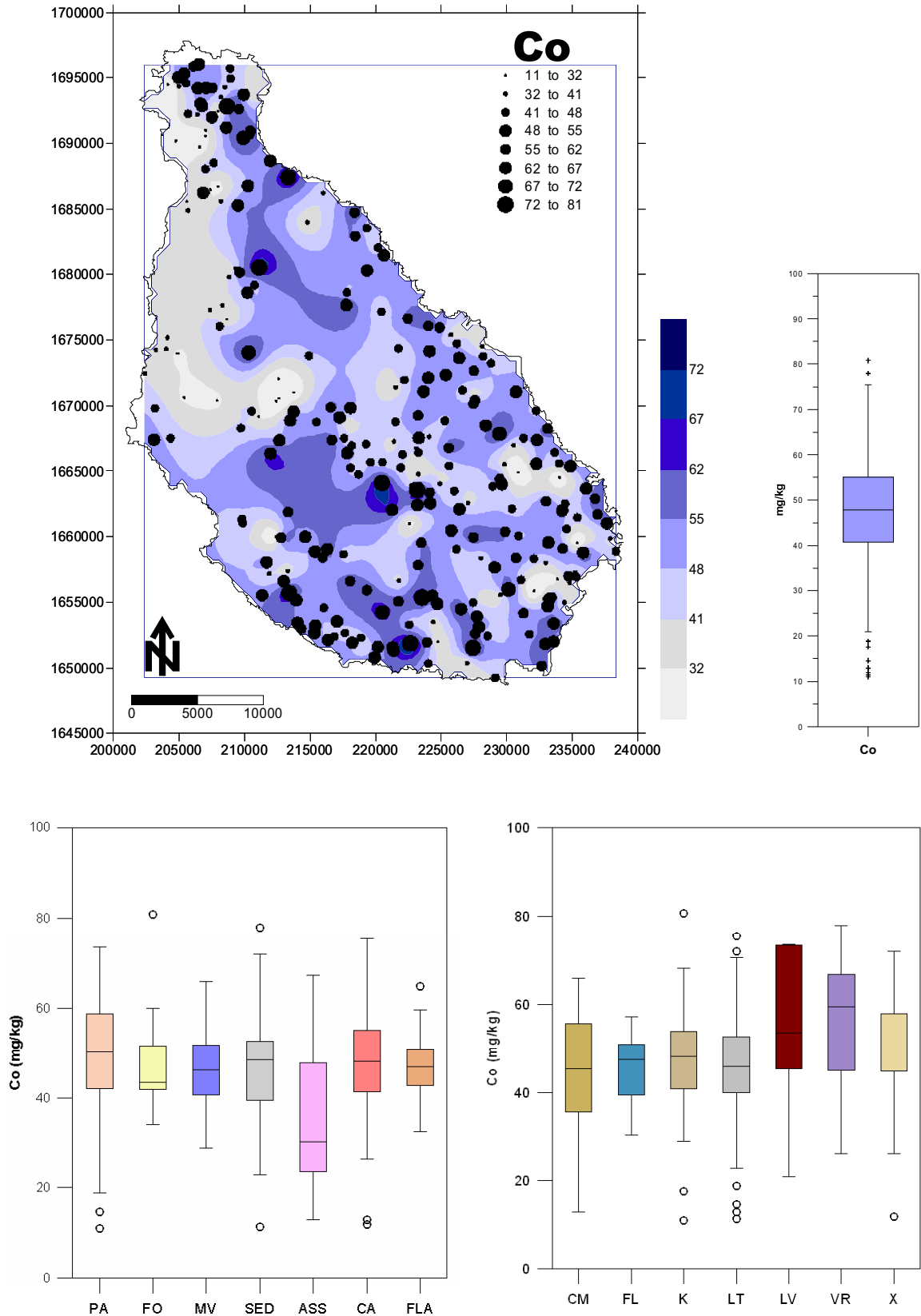


Figura 5.8 – Cartografia dos teores de Co com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

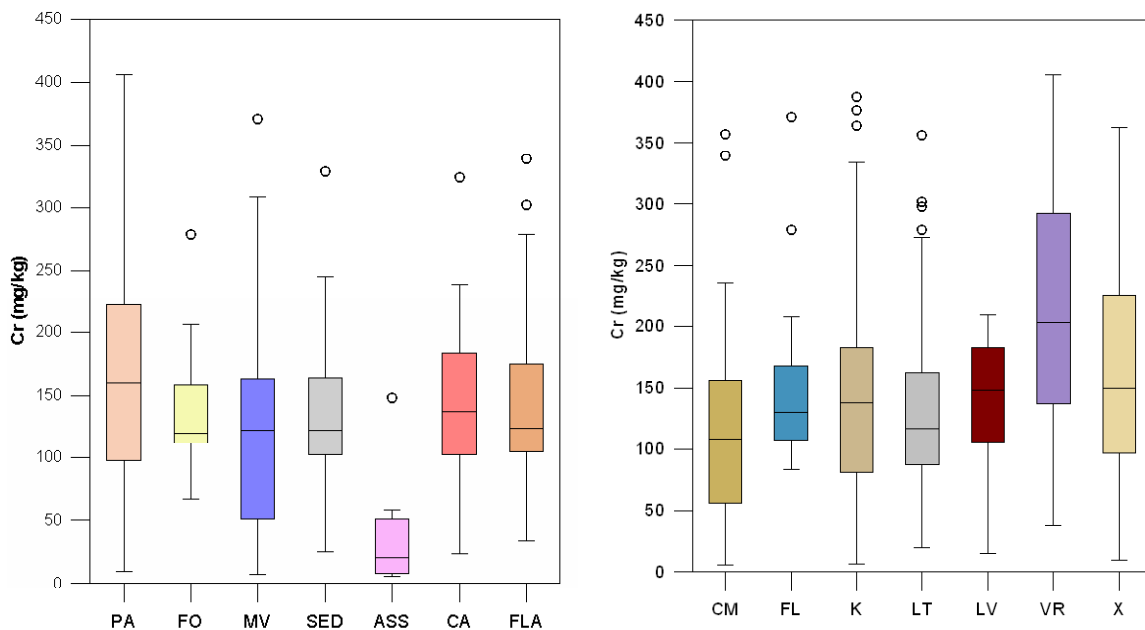
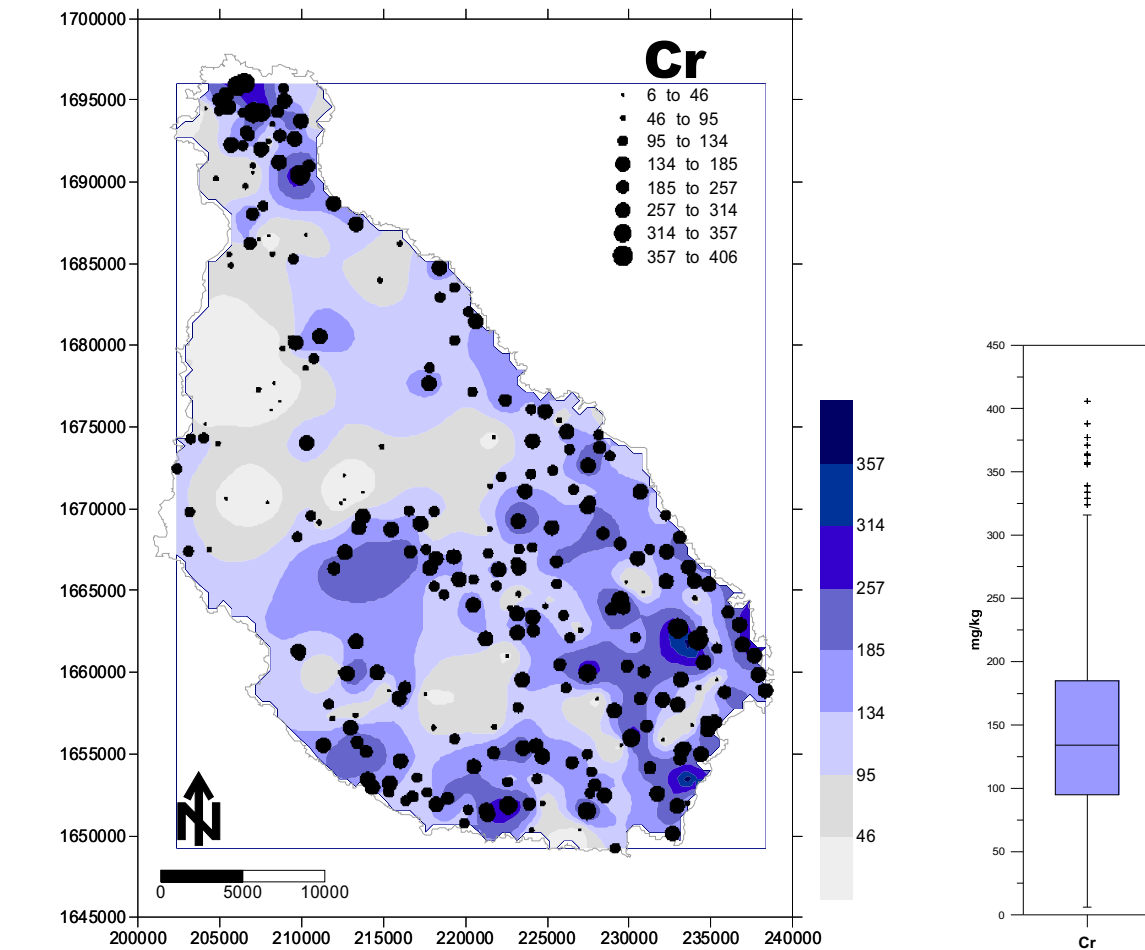


Figura 5.9 – Cartografia dos teores de Cr com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

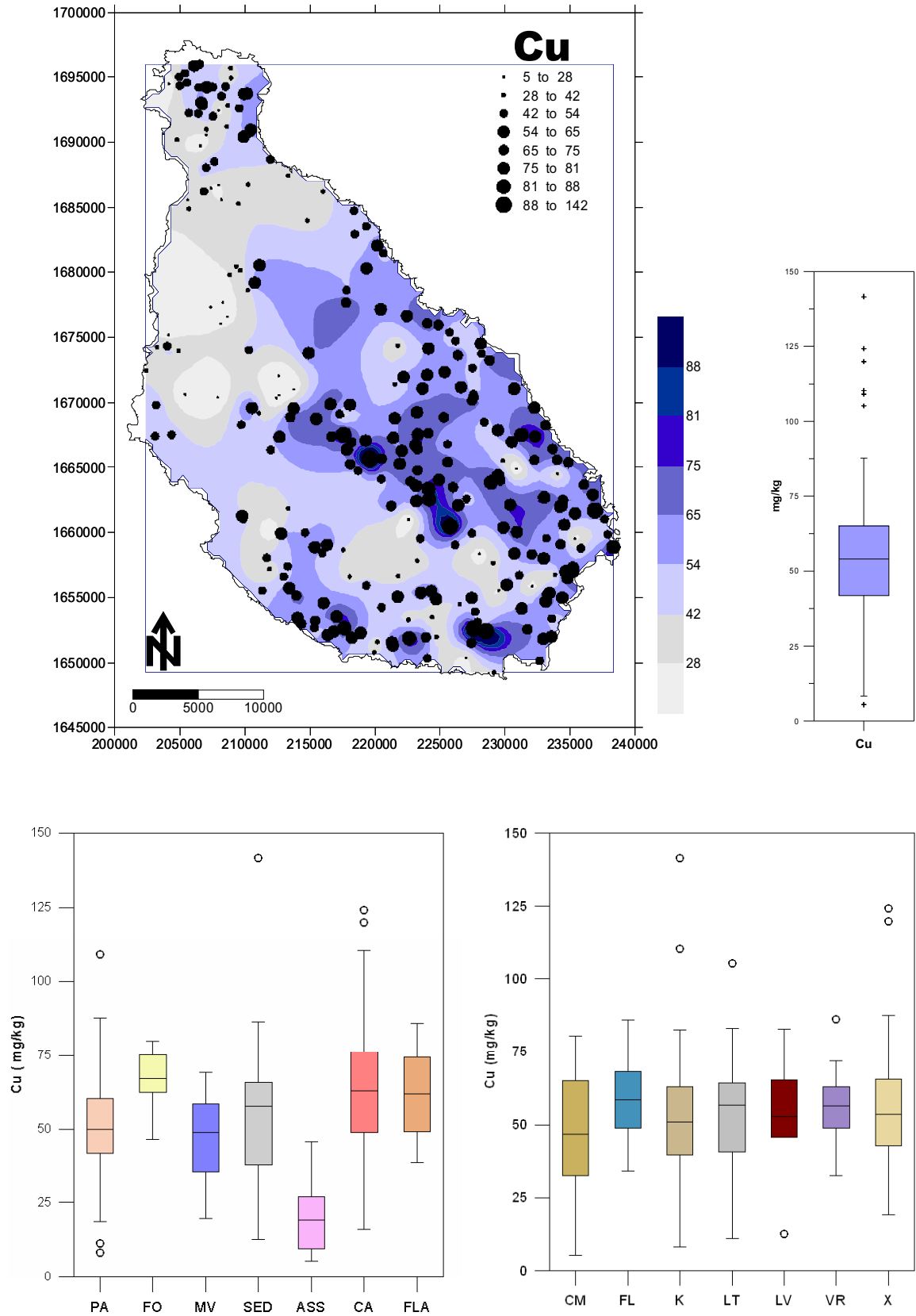


Figura 5.10 – Cartografia dos teores de Cu com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm

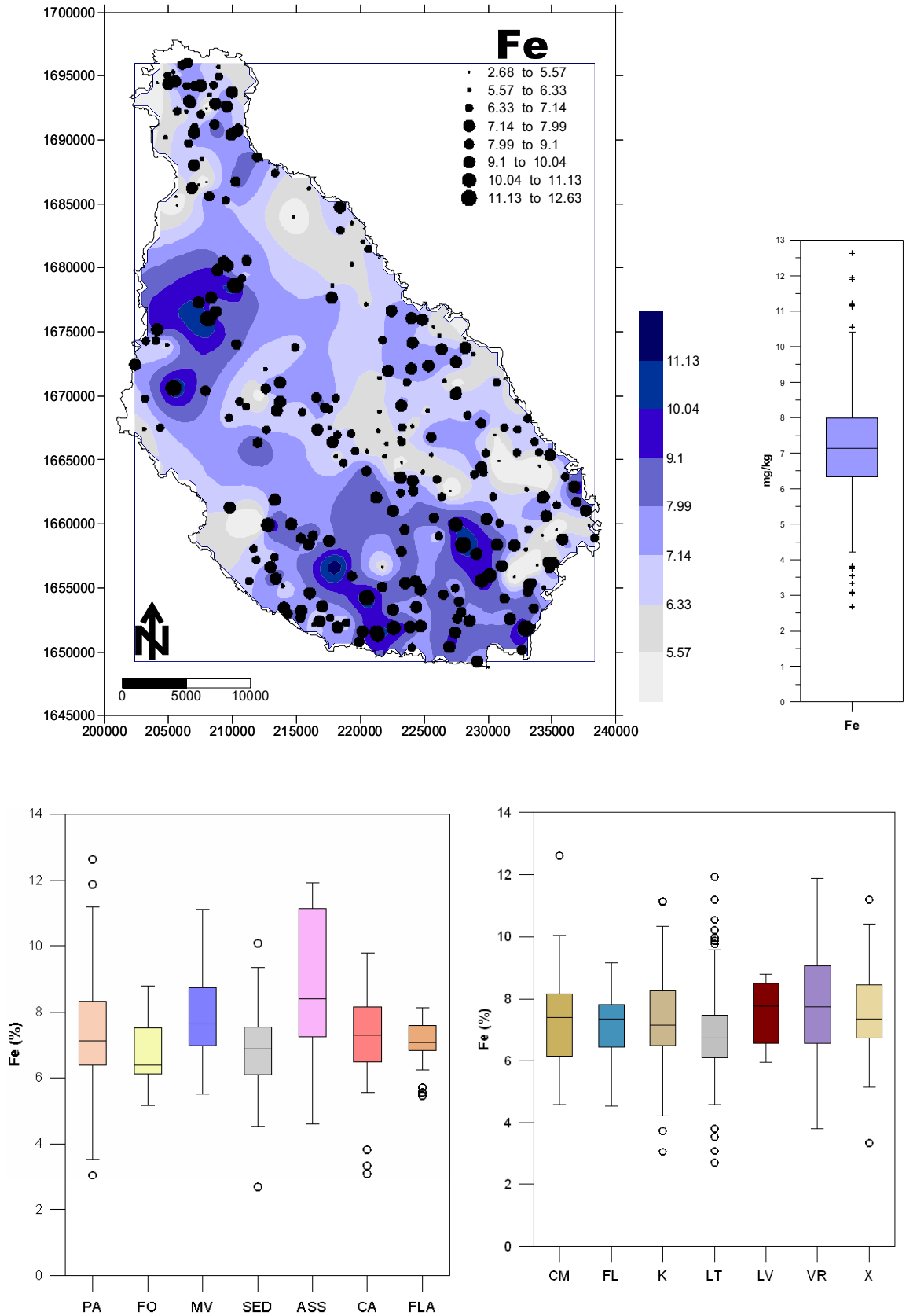


Figura 5.11 – Cartografia dos teores de Fe com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

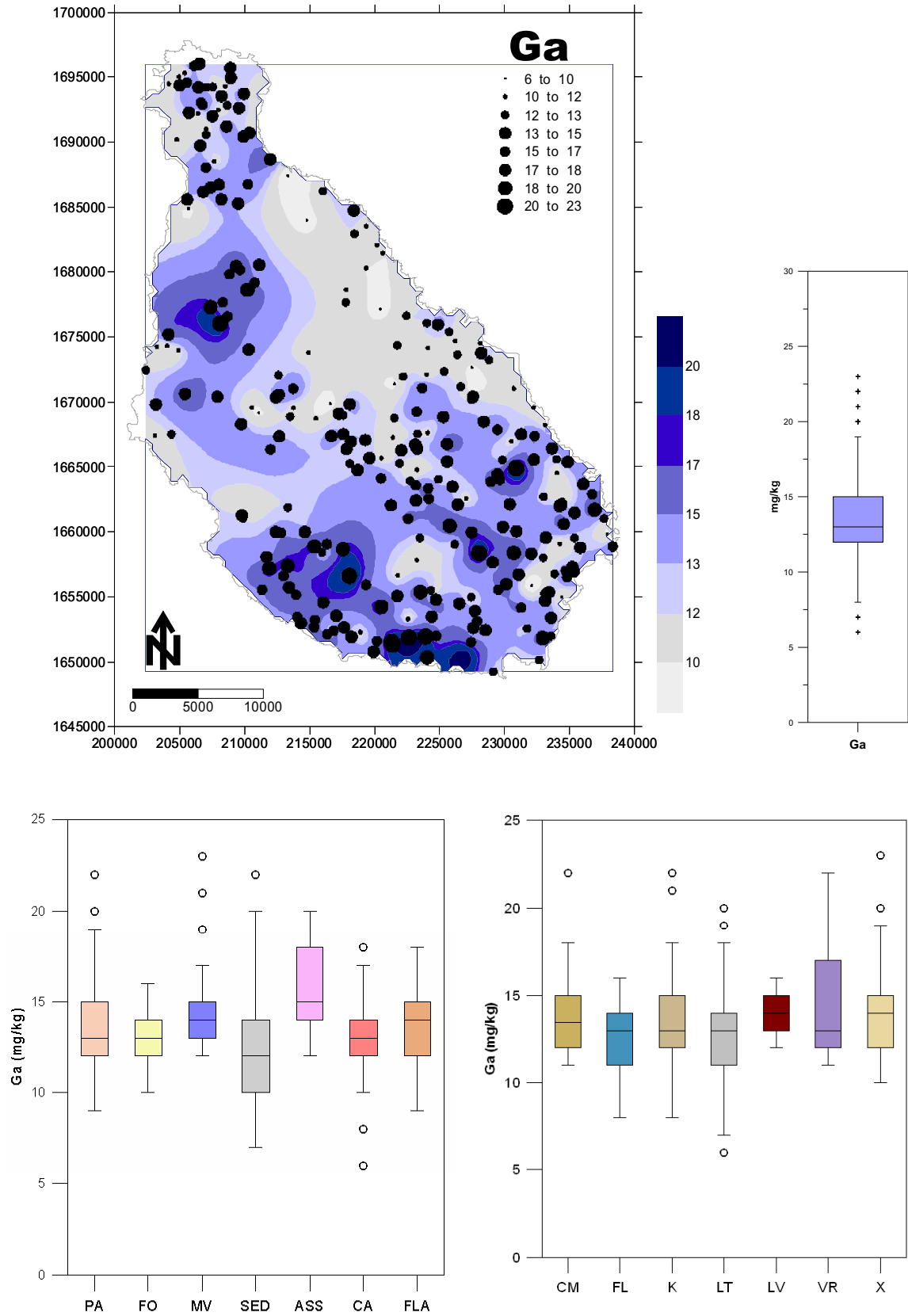


Figura 5.12 – Cartografia dos teores de Ga com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica <math>< 2\text{ mm}</math>.

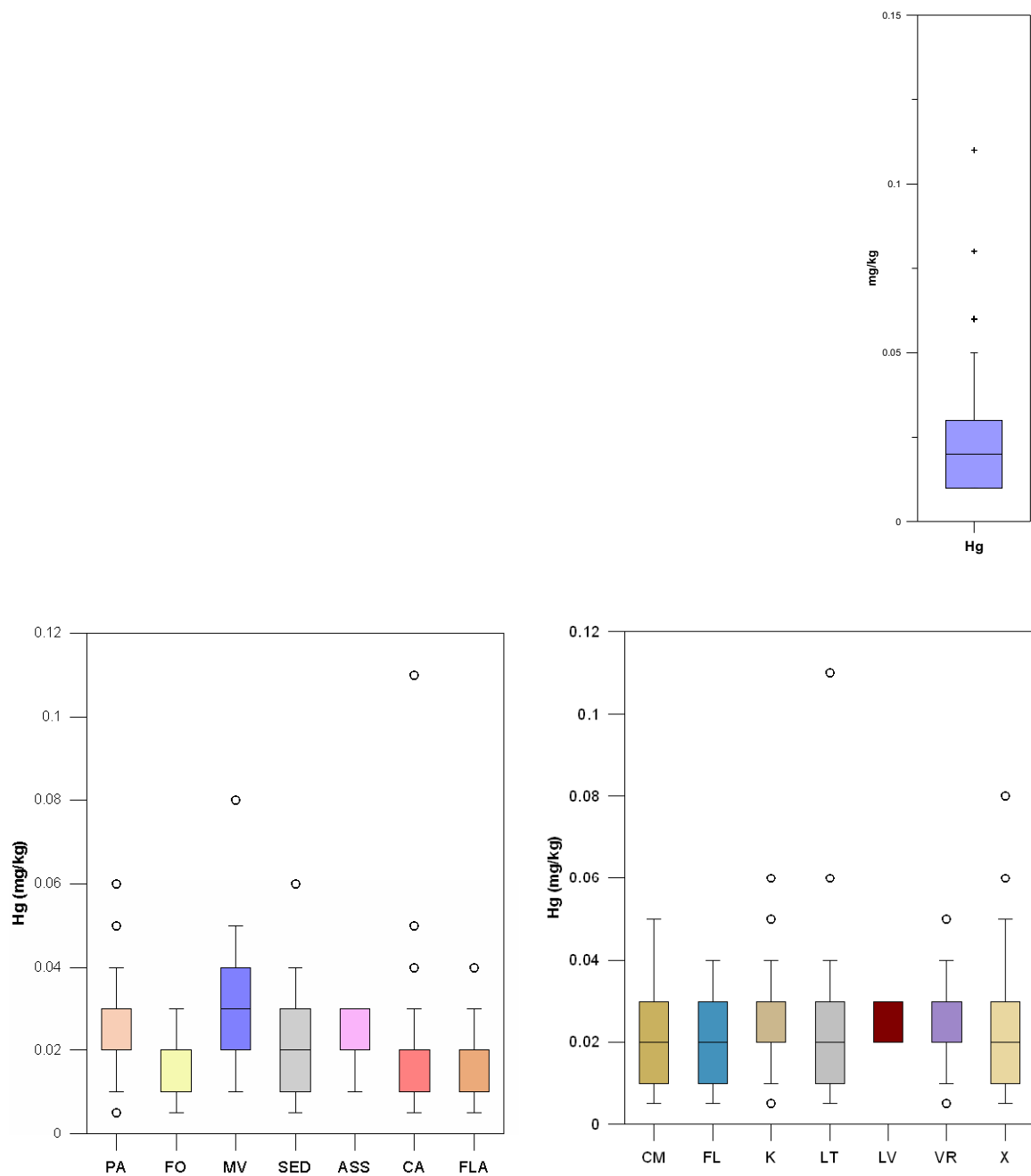


Figura 5.13 – Cartografia dos teores de Hg com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

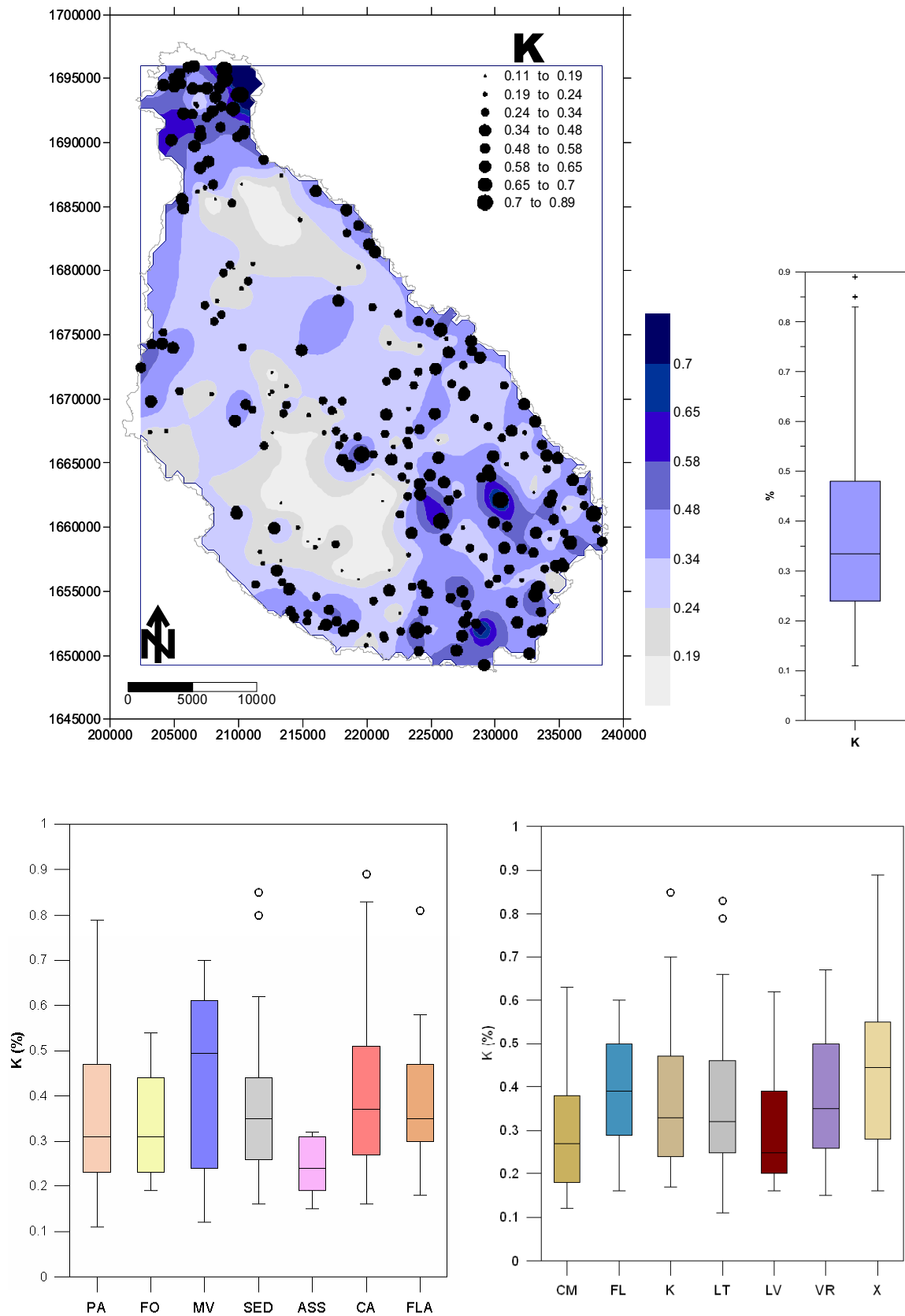


Figura 5.14 – Cartografia dos teores de K com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

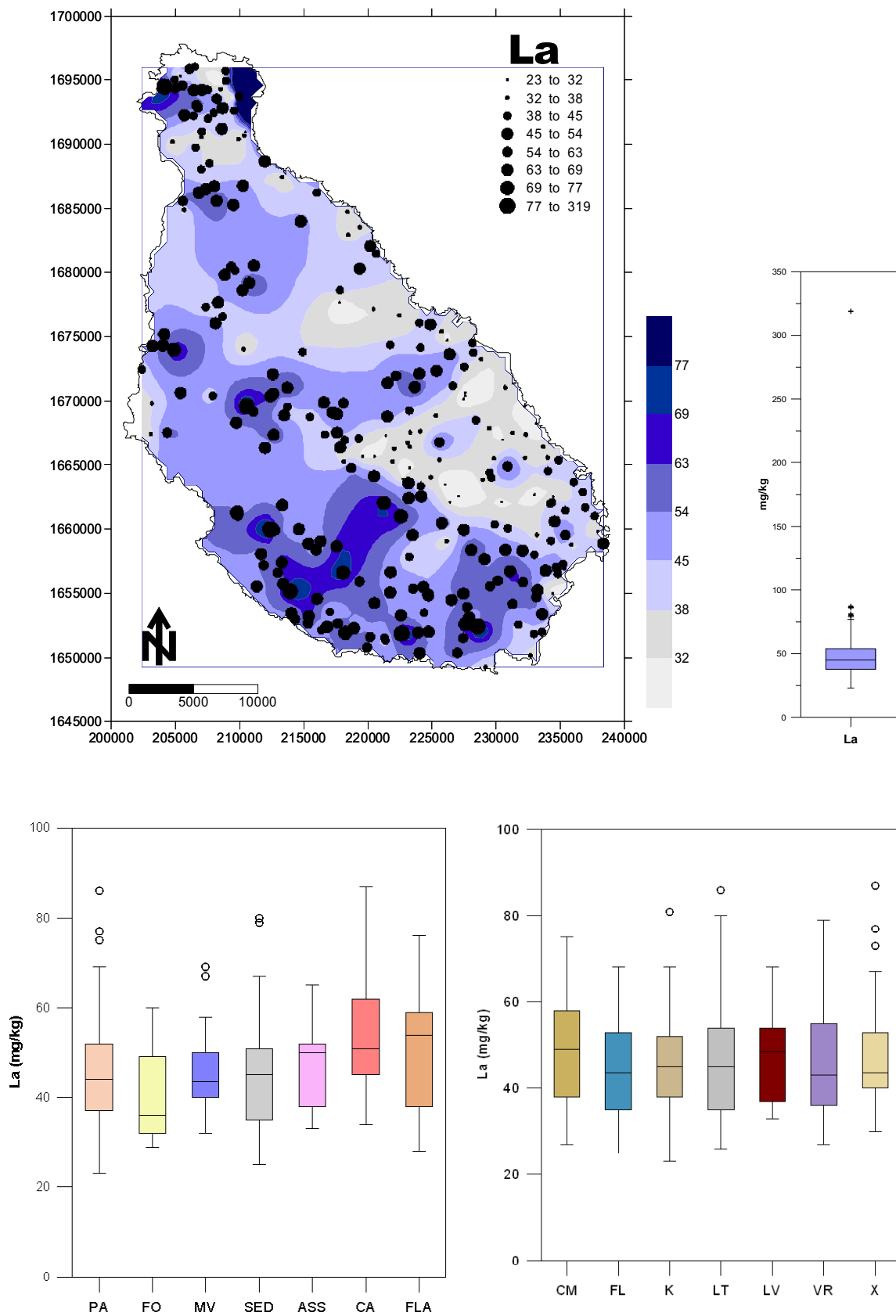


Figura 5.15 – Cartografia dos teores de La com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

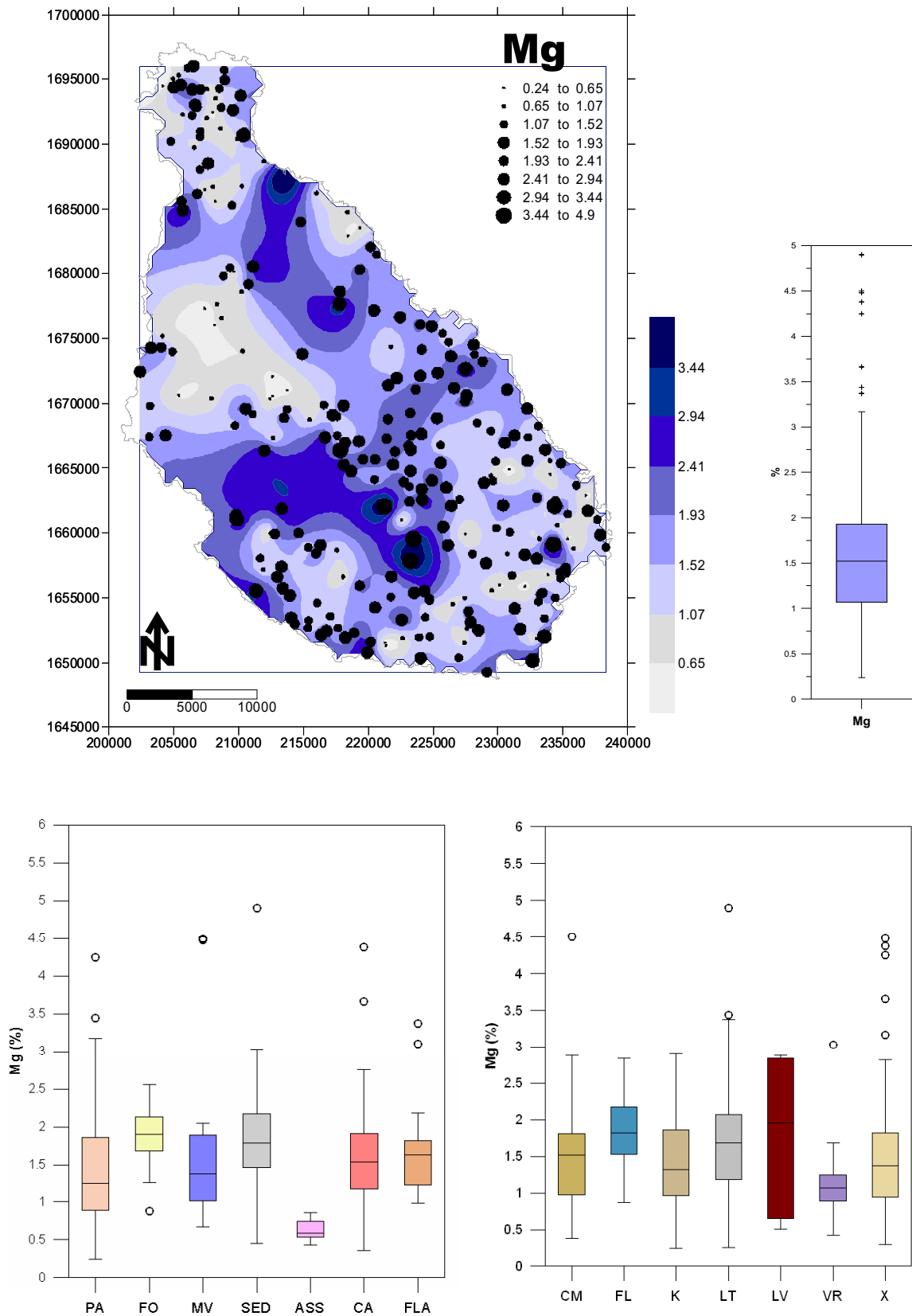


Figura 5.16 – Cartografia dos teores de Mg com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

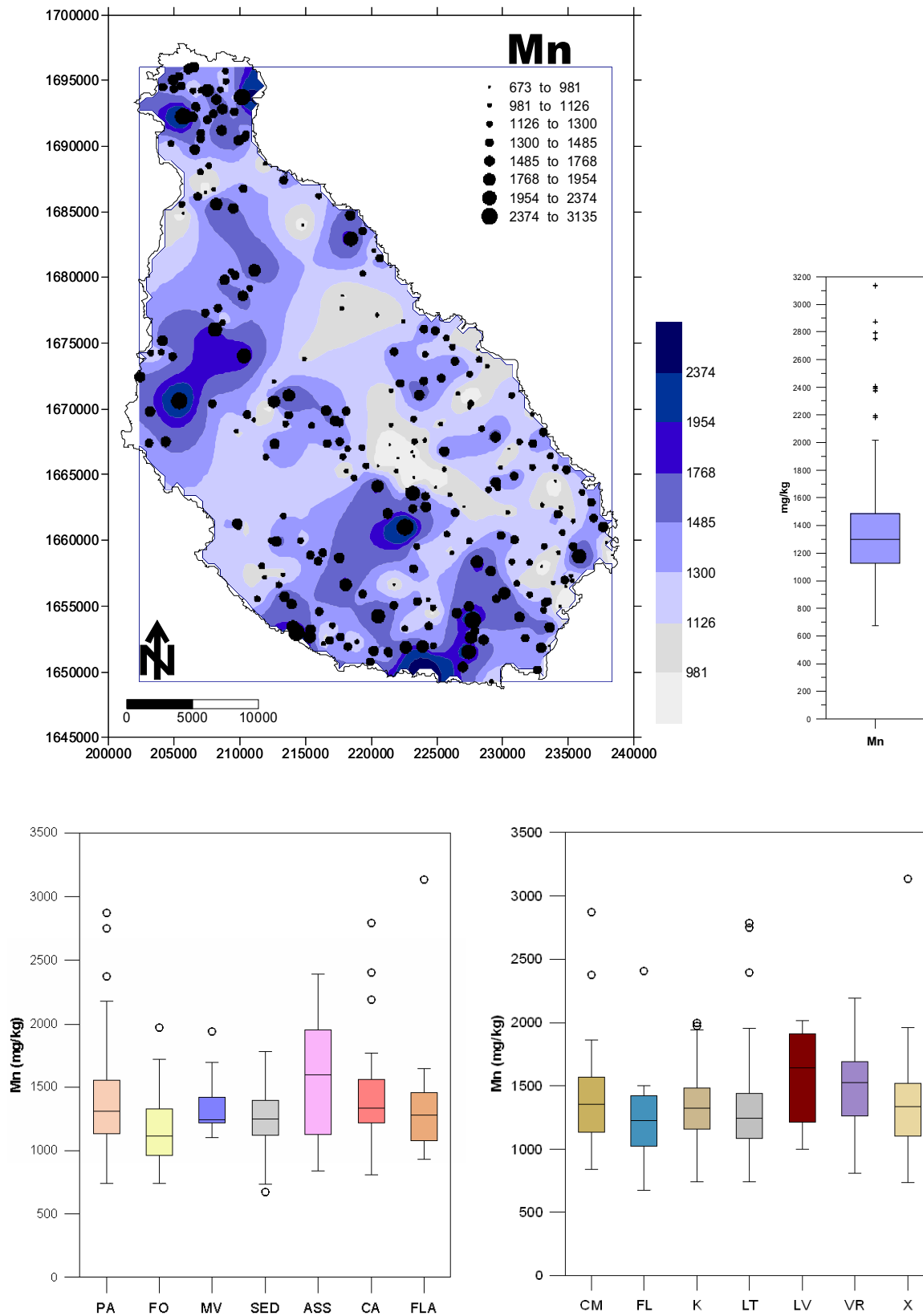


Figura 5.17 – Cartografia dos teores de Mn com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

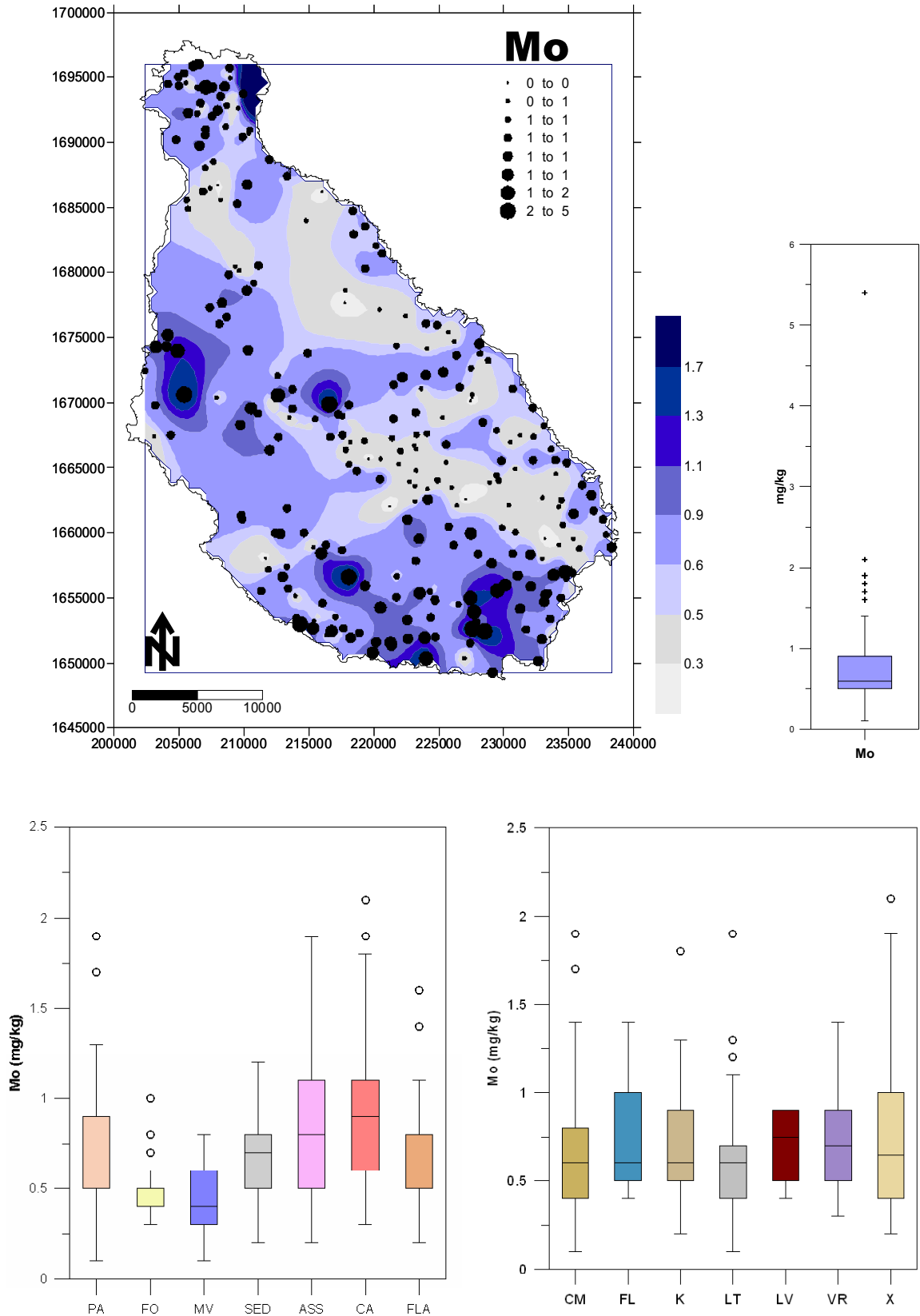


Figura 5.18 – Cartografia dos teores de Mo com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

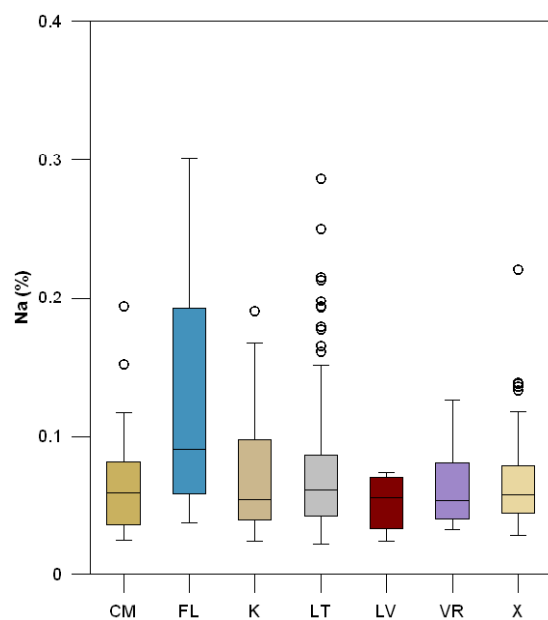
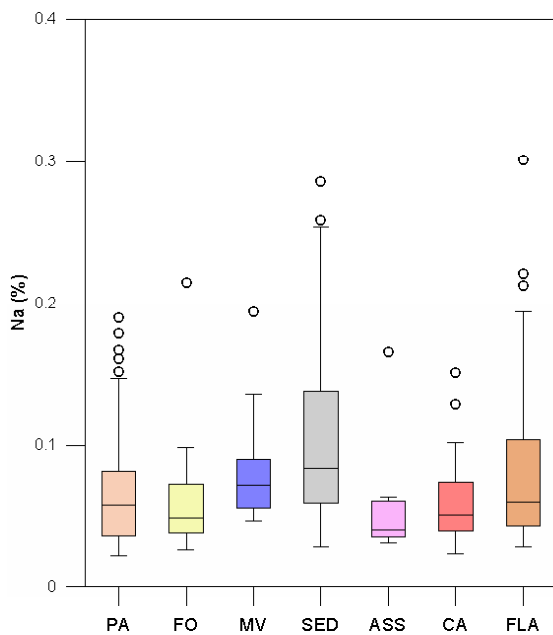
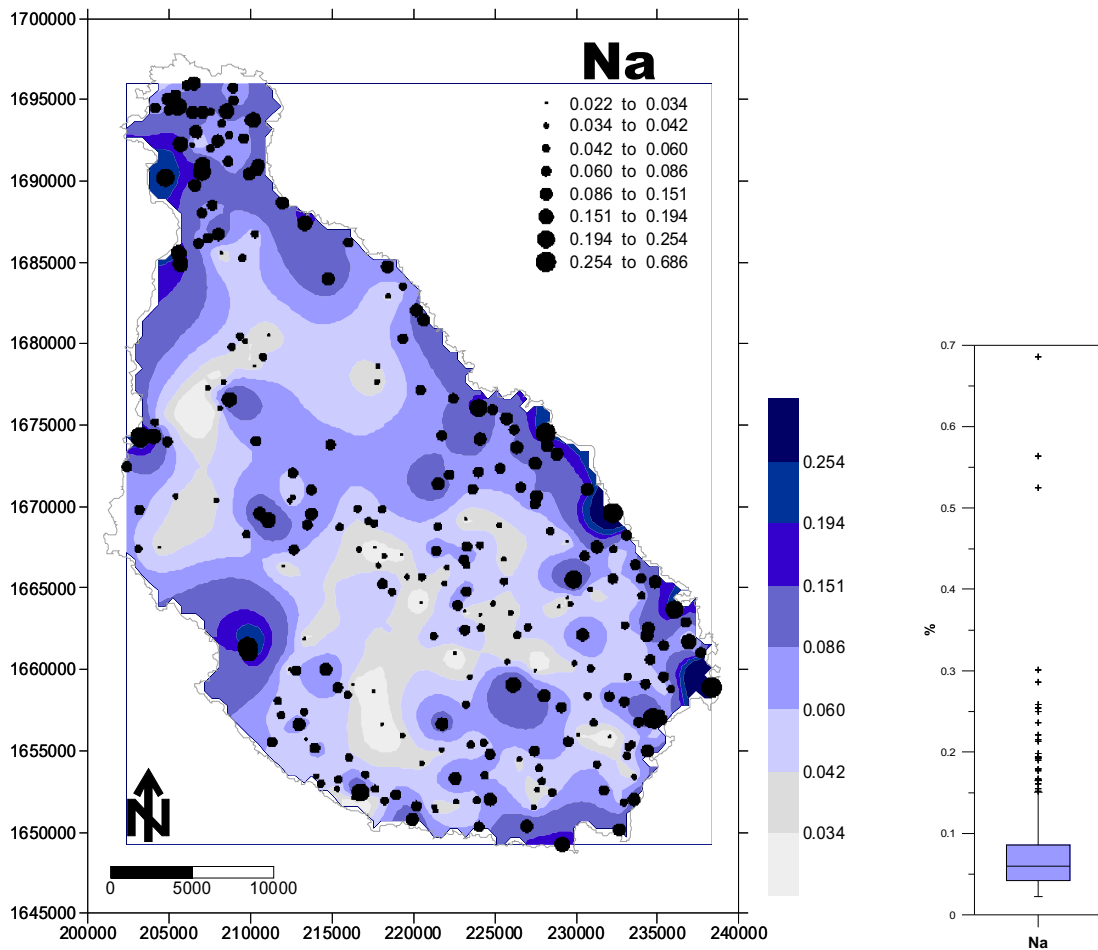


Figura 5.19 – Cartografia dos teores de Na com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

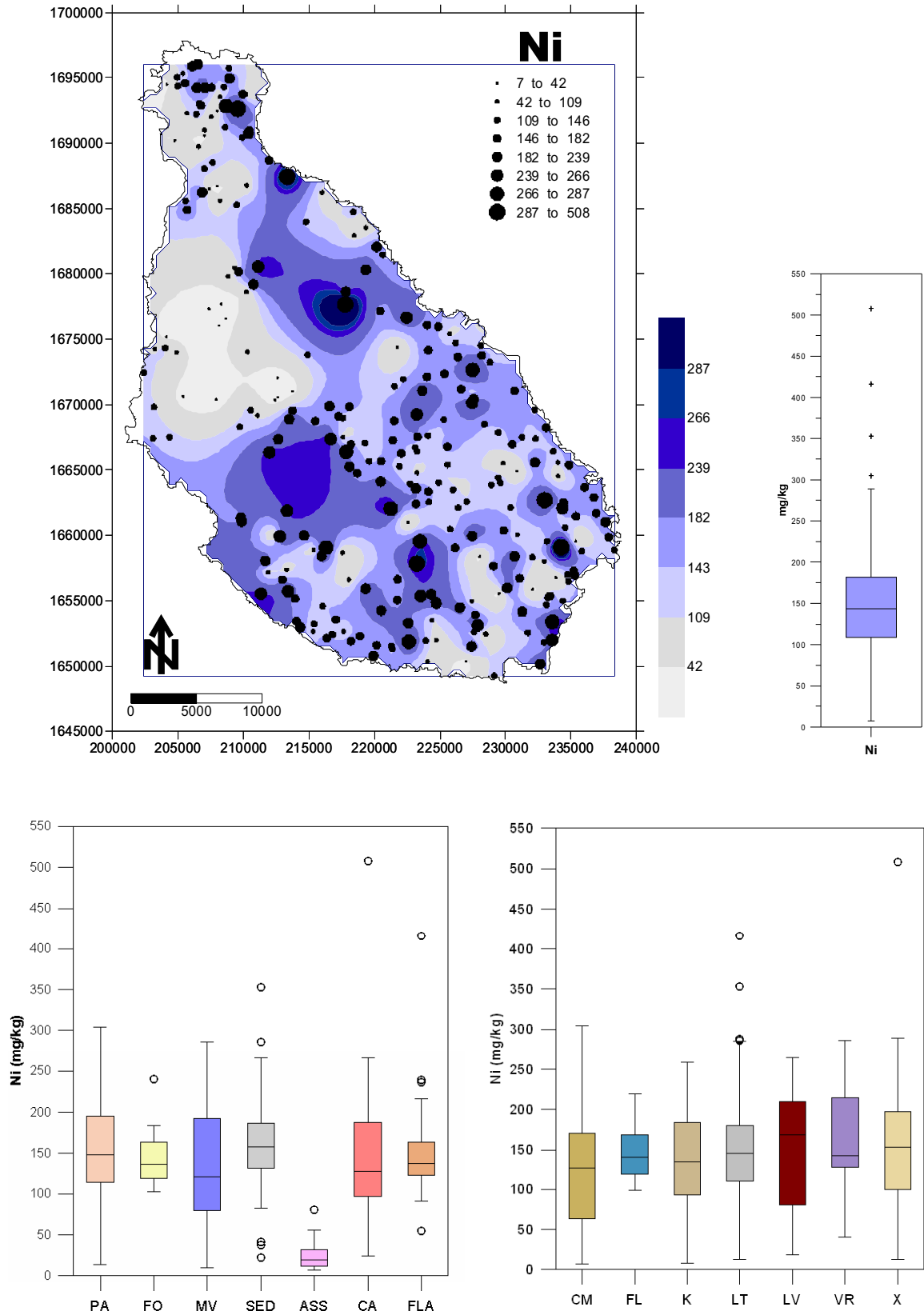


Figura 5.20 – Cartografia dos teores de Ni com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

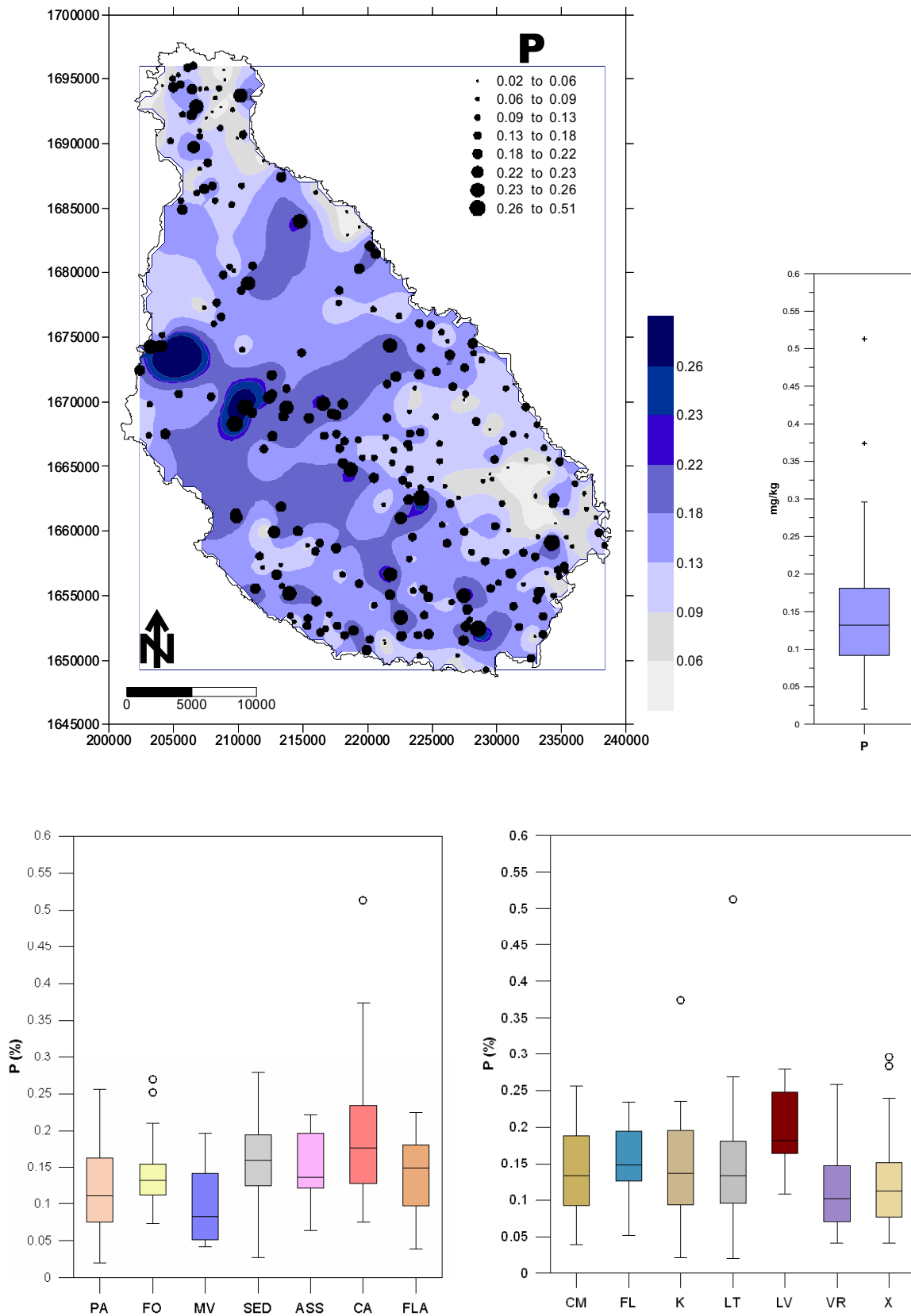


Figura 5.21 – Cartografia dos teores de P com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

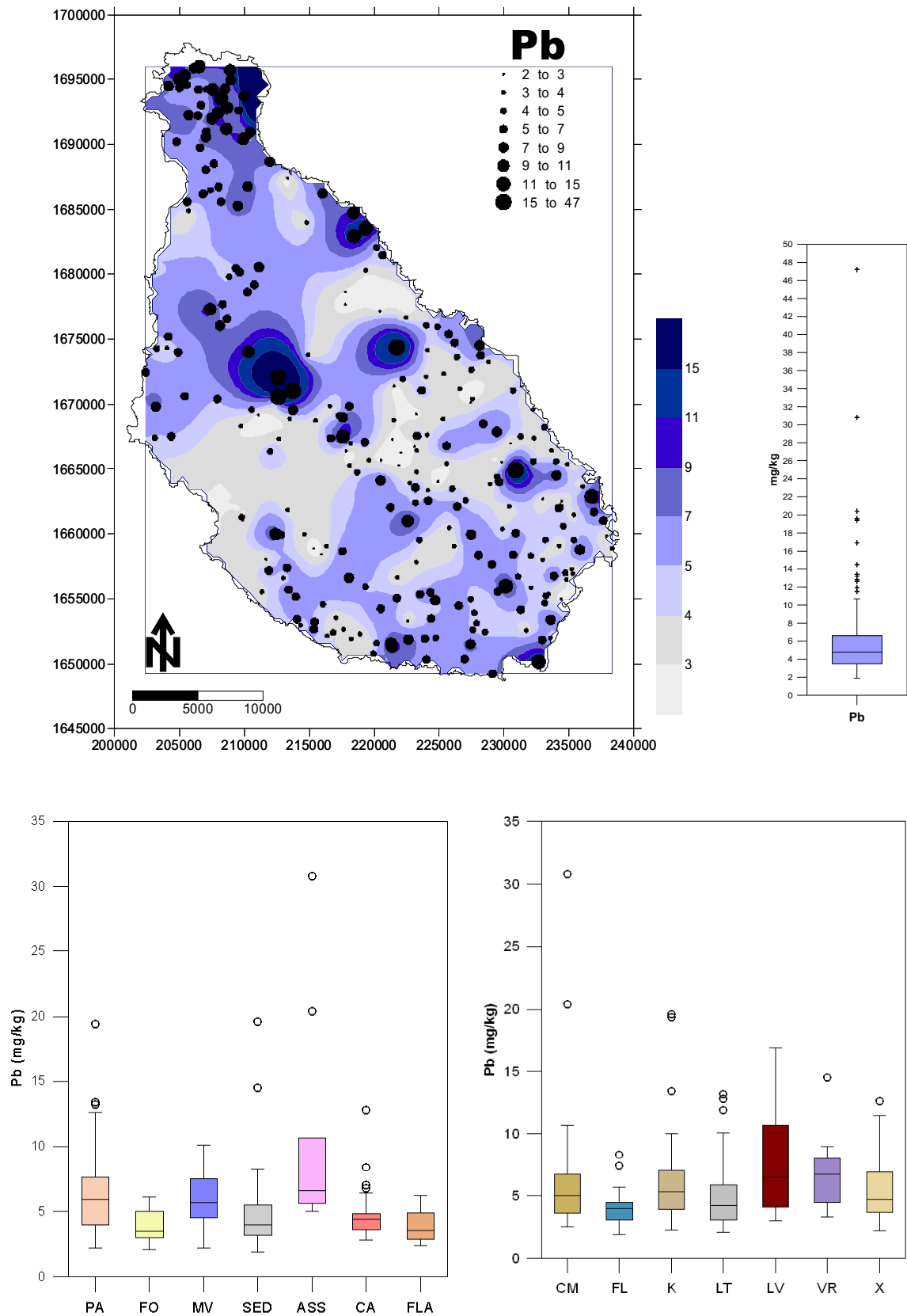


Figura 5.22 – Cartografia dos teores de Pb com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

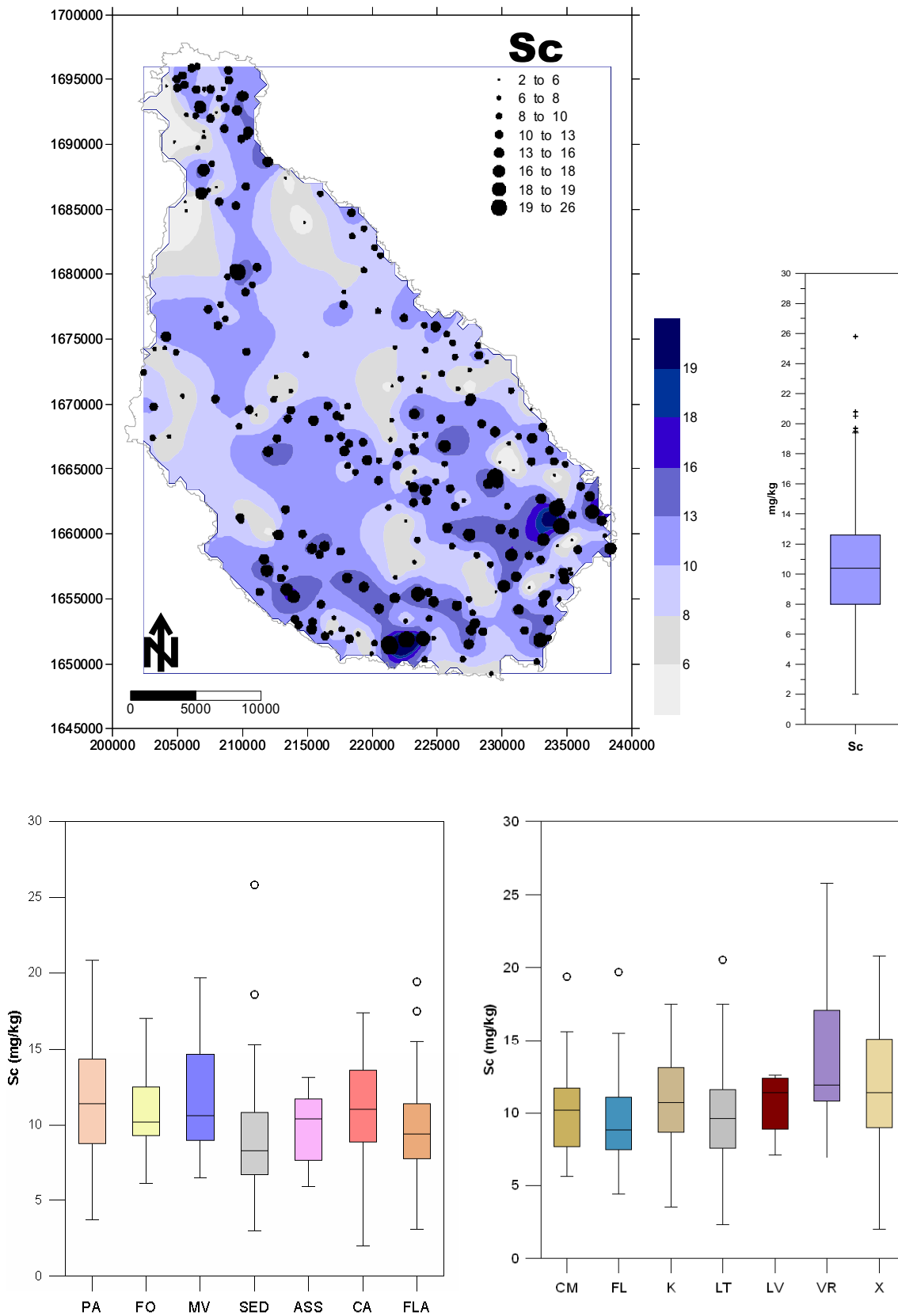


Figura 5.23 – Cartografia dos teores de Sc com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

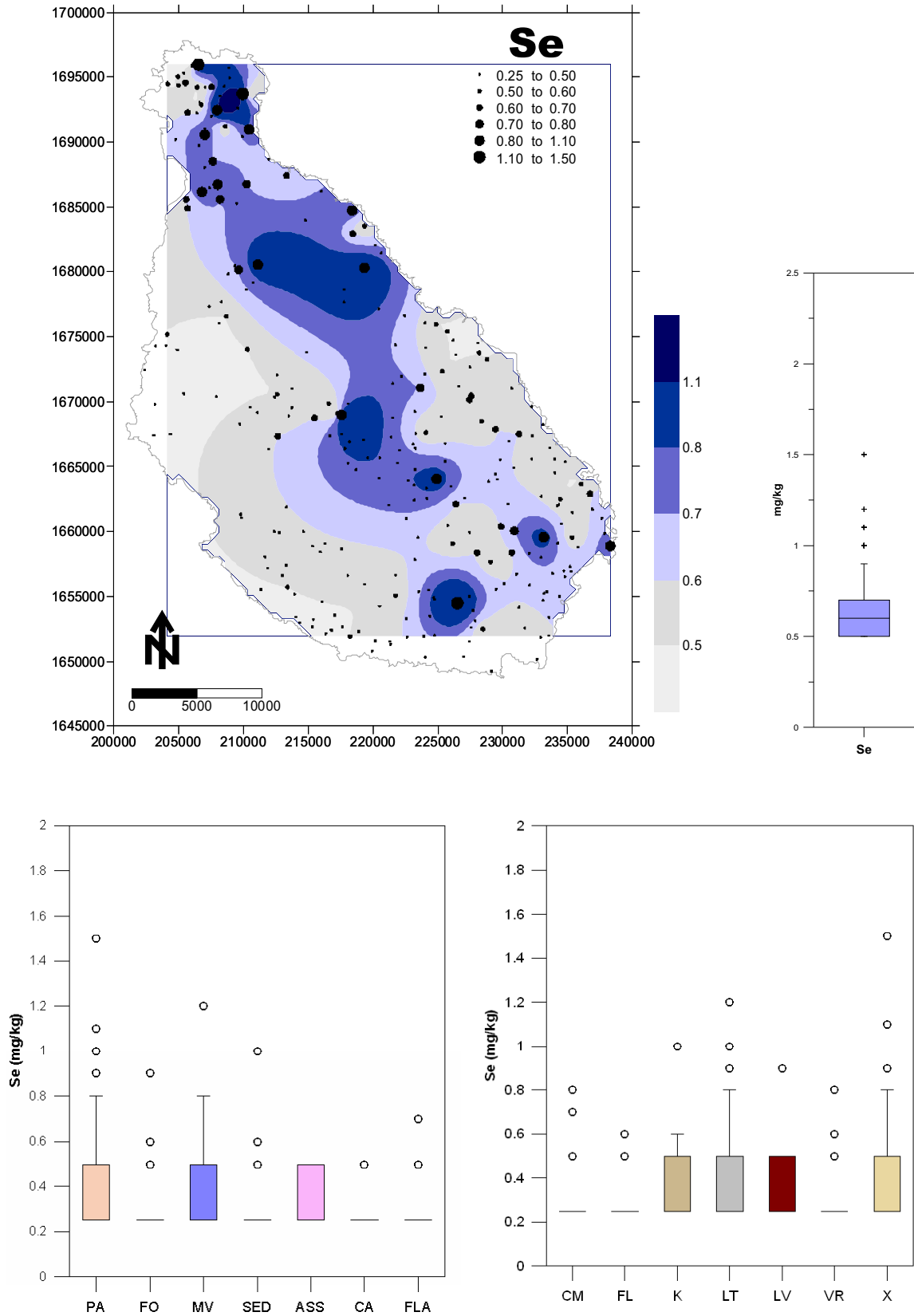


Figura 5.24 – Cartografia dos teores de Se com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

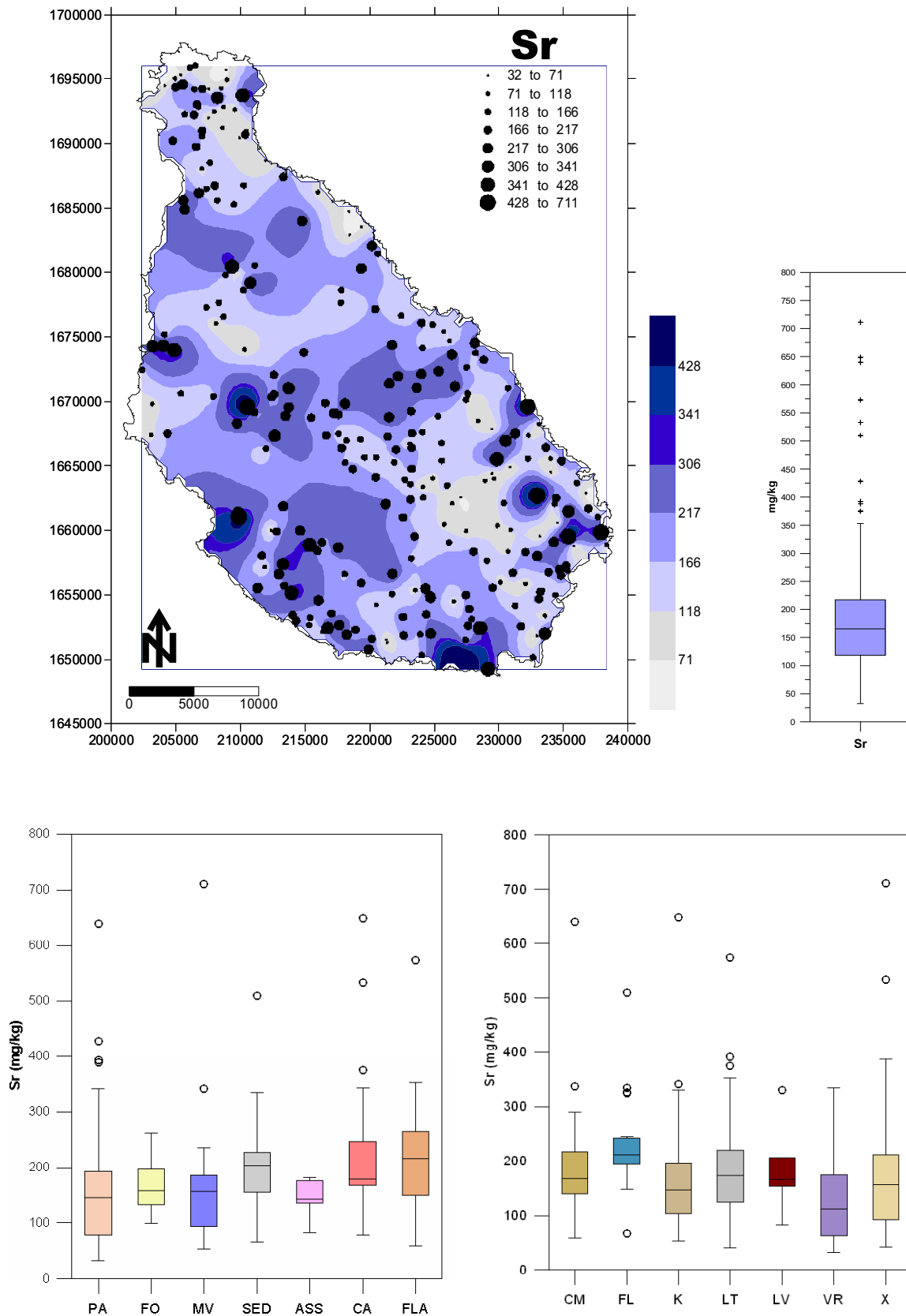


Figura 5.25 – Cartografia dos teores de Sr com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica <math>< 2\text{ mm}</math>.

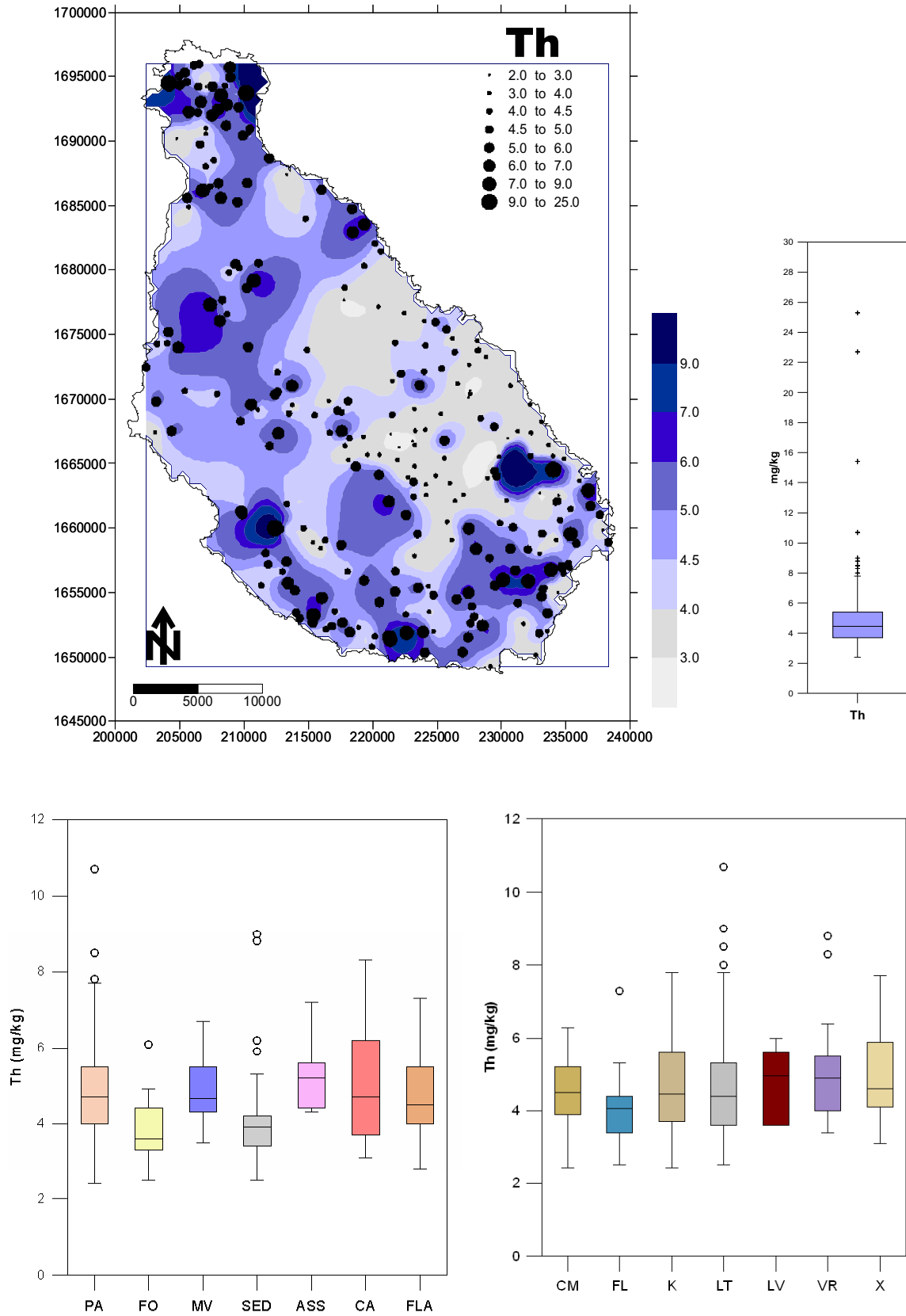


Figura 5.26 – Cartografia dos teores de Th com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

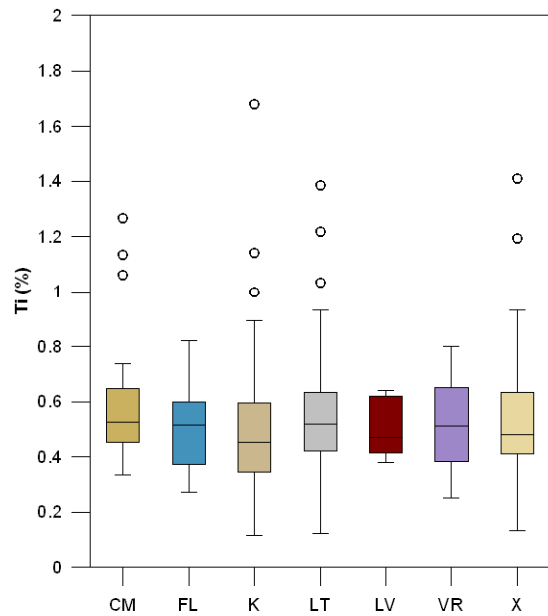
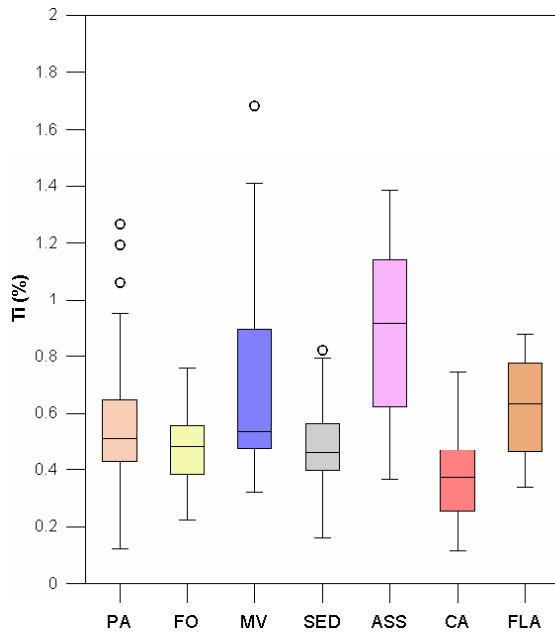
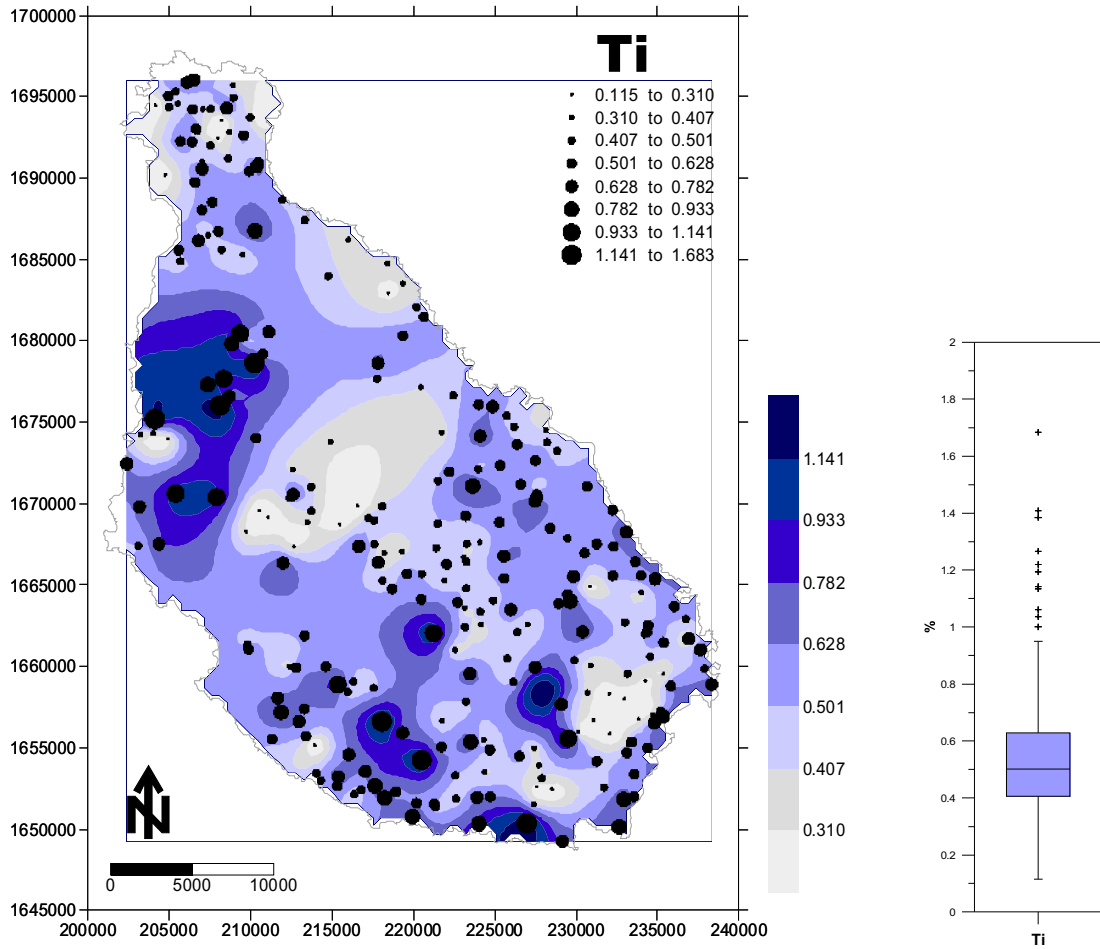


Figura 5.27 – Cartografia dos teores de Ti com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

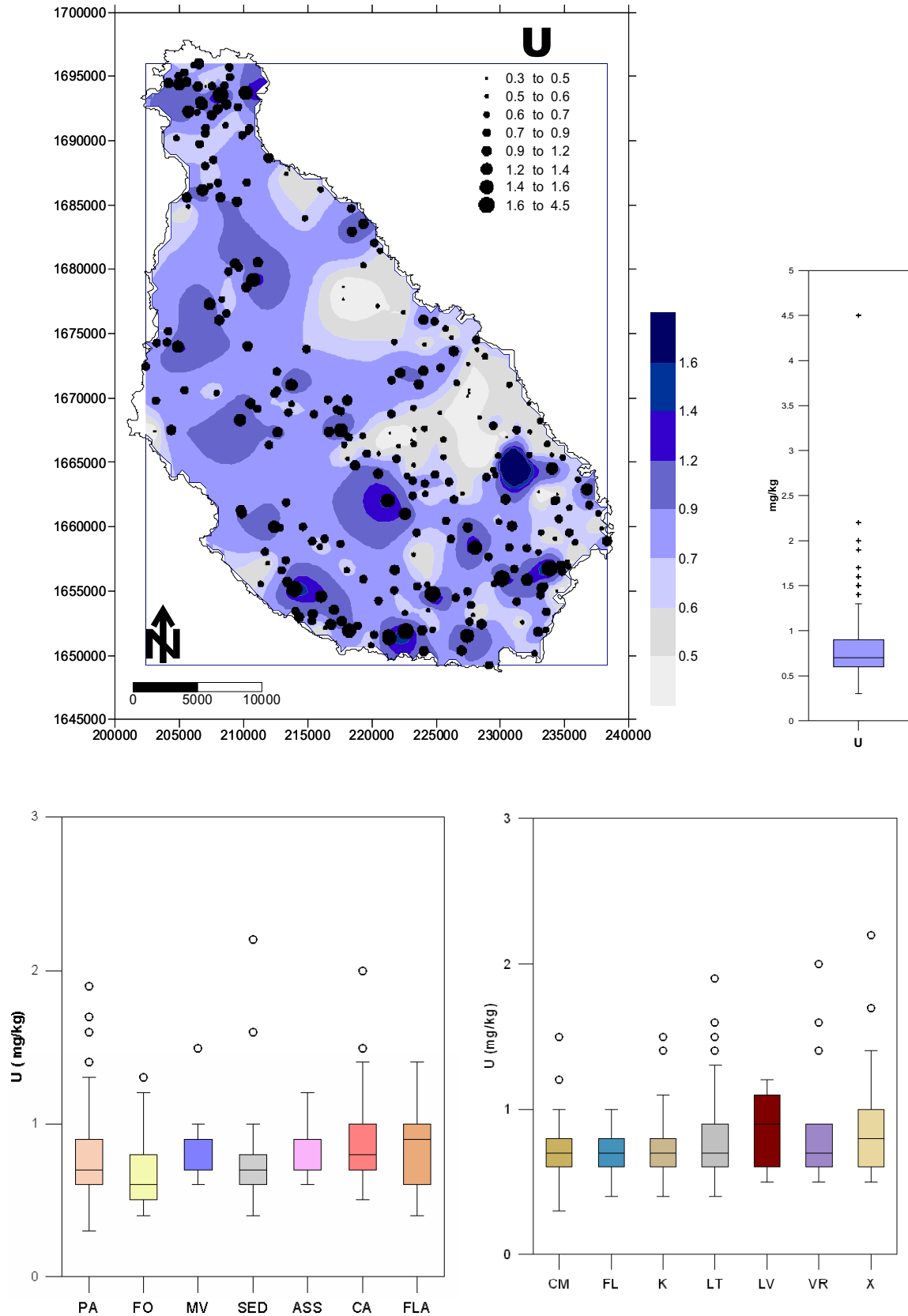


Figura 5.28 – Cartografia dos teores de U com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica < 2 mm.

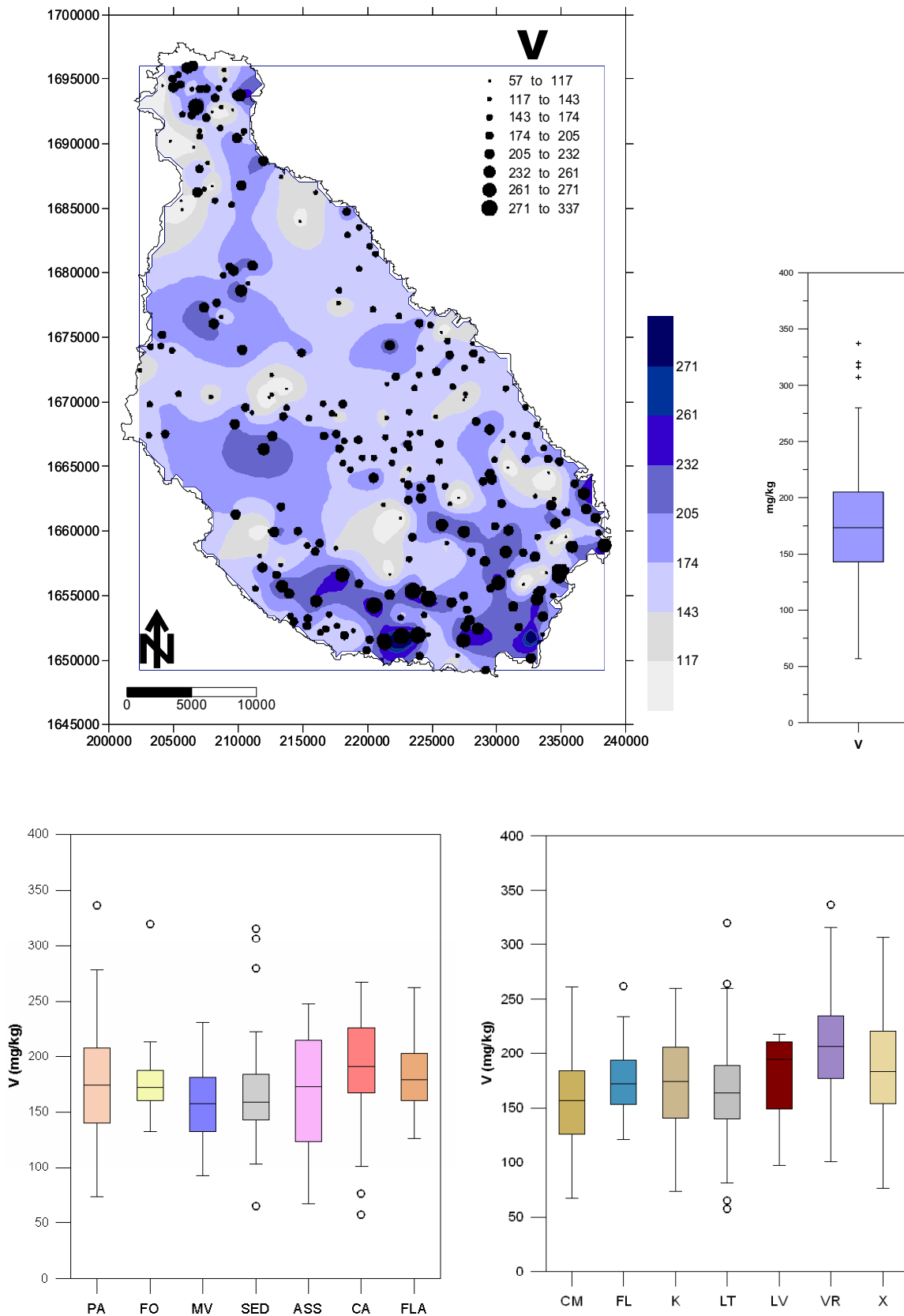


Figura 5.29 – Cartografia dos teores de V com base nos valores de percentis (teores em %) para a fracção granulométrica < 2 mm.

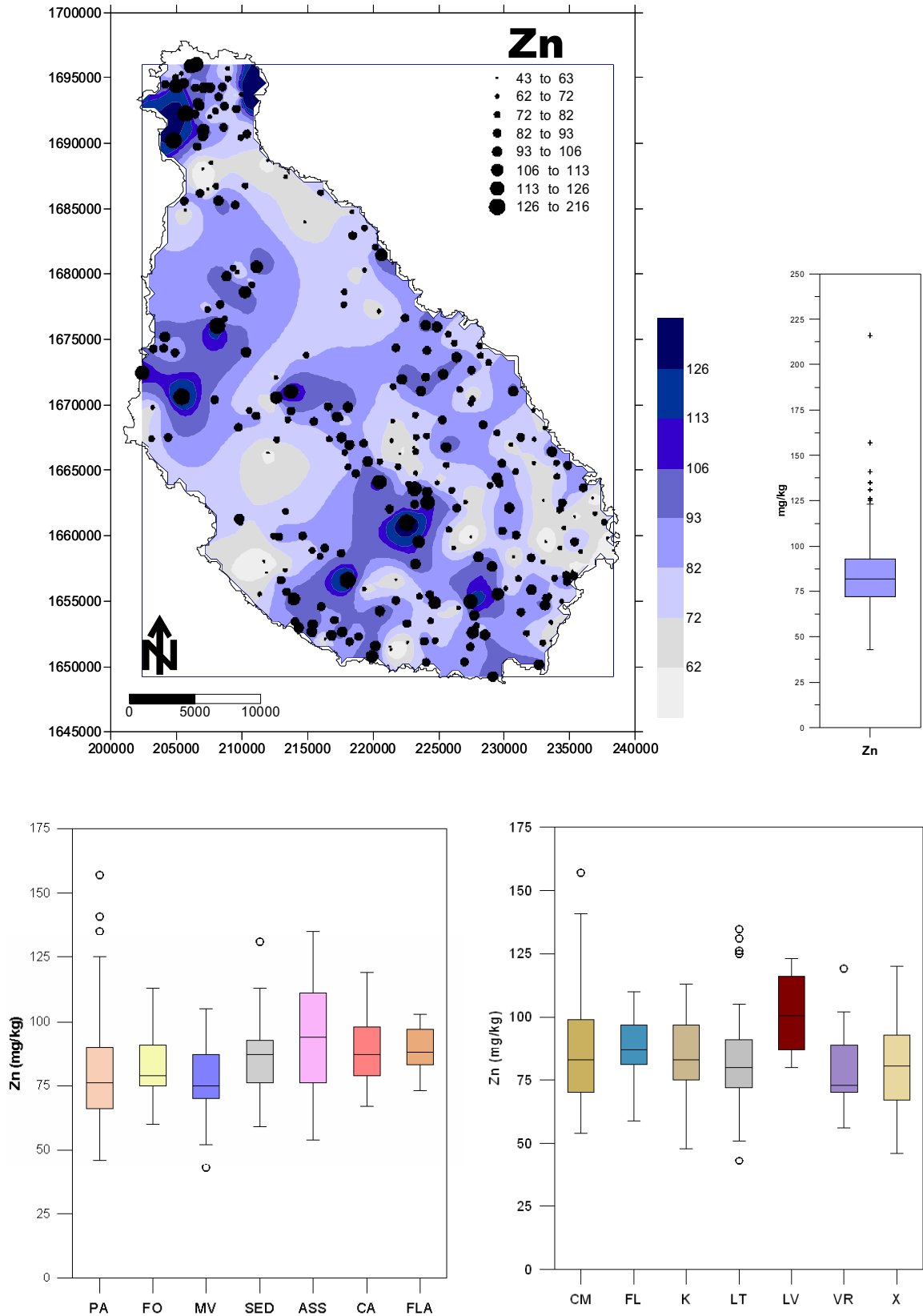


Figura 5.30 – Cartografia dos teores de Zn com base nos valores de percentis (teores em mg/kg) para a fracção granulométrica <math>< 2\text{ mm}</math>.

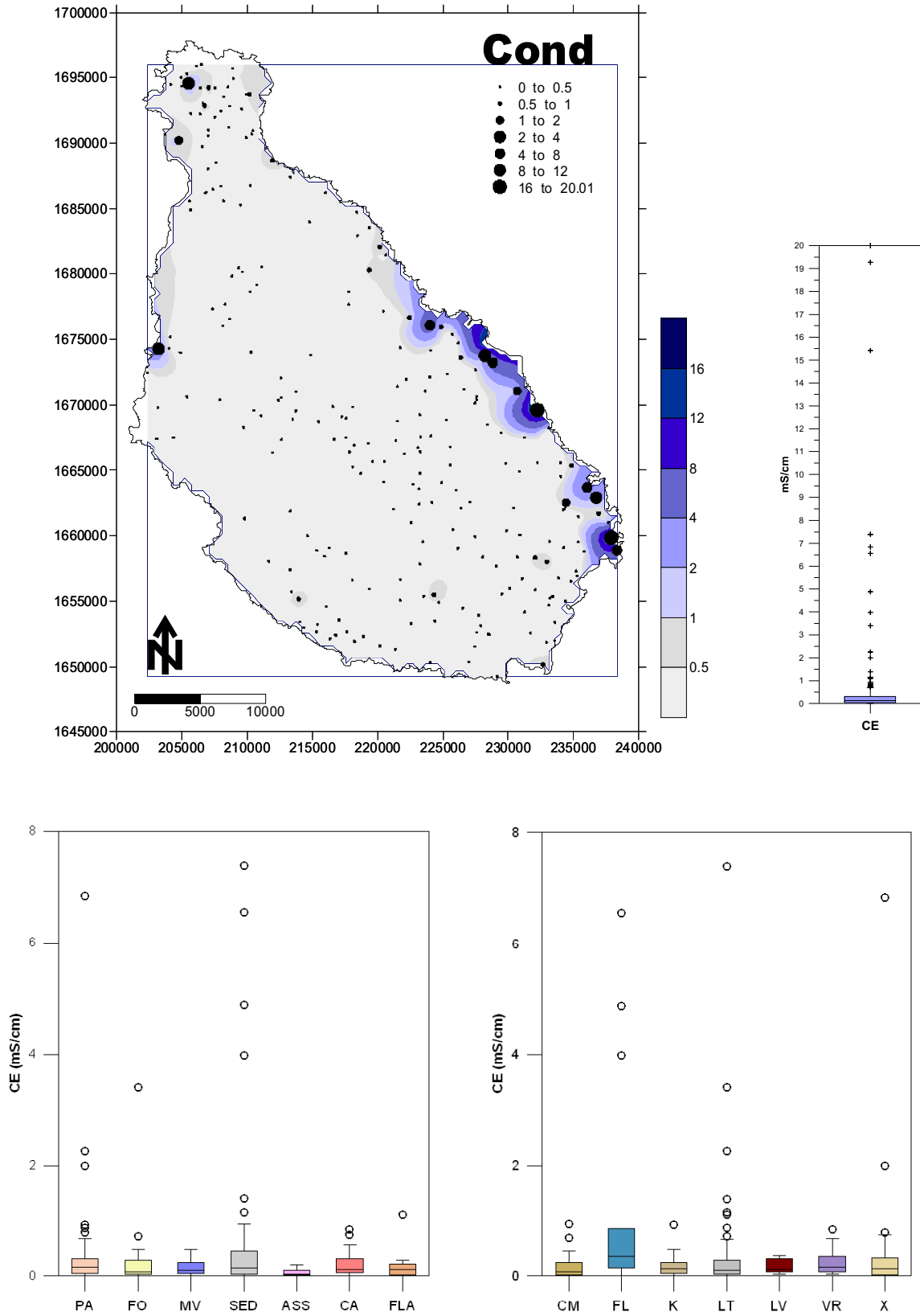


Figura 5.31 – Cartografia dos valores de Condutividade Eléctrica (CE) (valores em mS/cm) para a fracção granulométrica <math>< 2\text{ mm}</math>.

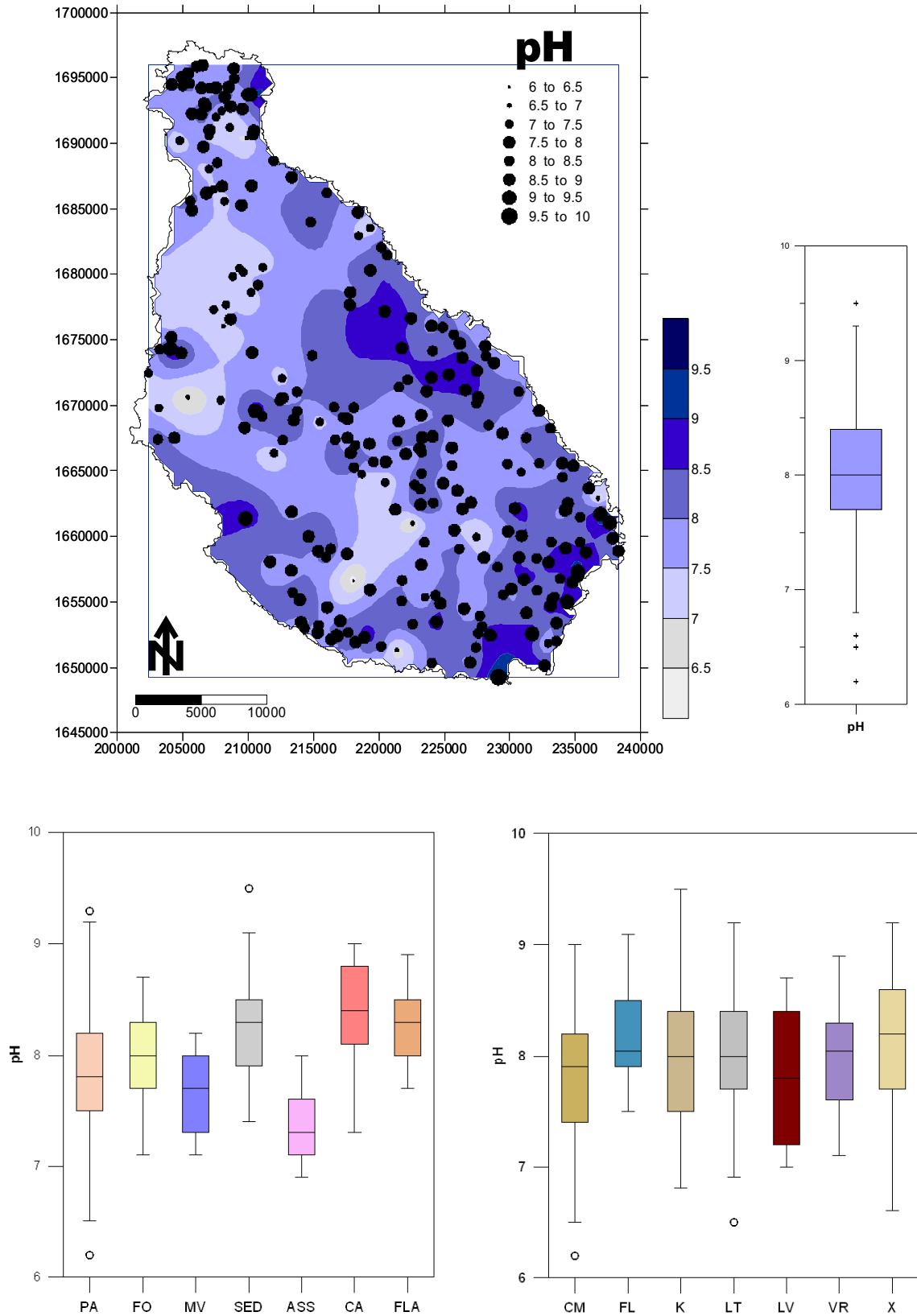


Figura 5.32 – Cartografia dos dos valores de pH do solo para a fracção granulométrica < 2 mm.

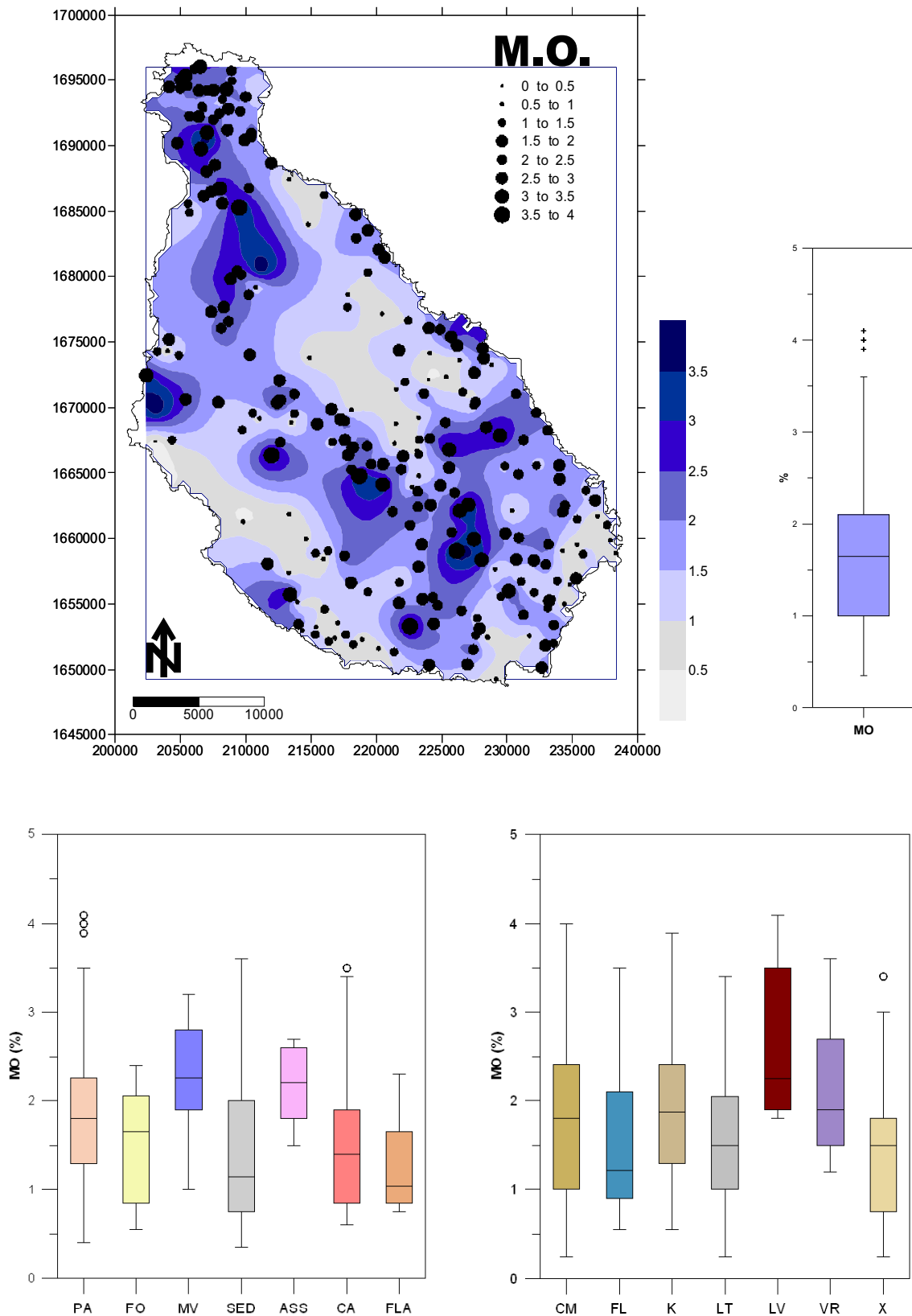


Figura 5.33 – Cartografia dos teores de Matéria Orgânica (MO) do solo para a fracção granulométrica < 2 mm.

### 5.3 Definição das concentrações de fundo para os solos da ilha de Santiago

Esta primeira abordagem de base de dados geoquímicos dos solos da ilha de Santiago, Cabo Verde poderá fornecer indicações úteis sobre a caracterização do estado actual dos solos e das possíveis medidas a serem tomadas para a sua conservação e gestão ambiental.

A noção de “geochemical background” ou de “concentrações de fundo geoquímico” é definida como a variação natural de um elemento químico, em relação ao ambiente superficial. Sendo o solo, um recurso natural, muito dinâmico, estas variações correspondem à interacção com os vários factores ambientais (geológicos, climáticos e biológicos). Ainda, dentro de uma dada zona, os teores de um elemento químico podem variar em dependência dos métodos de análises utilizados, da profundidade de colheita das amostras de solo, da fracção mineral escolhida para análises, entre outros factores.

A noção de concentrações de fundo geoquímico é de extrema importância para que os responsáveis pela avaliação da qualidade dos locais contaminados não baseiam a suas conclusões apenas num valor limite, o qual uma vez excedido definirá o local como contaminado, com todas as implicações sociais e políticas [FERREIRA, 2004]. Torna-se necessário que os avaliadores atendam aos padrões de distribuição espacial dos vários elementos químicos no ambiente superficial.

O Quadro 5.1 apresenta os resultados após aplicação de diferentes metodologias estatísticas simples e robustas descritas em FERREIRA (2004). Estes tratamentos tiveram como objectivo avaliar a variação das concentrações de base dos vários elementos químicos e definição de valores de fundo (VF) para os solos da ilha de Santiago.

Da análise do quadro 5.1 é possível constatar que a gama de valores calculados considerando o intervalo de variação compreendido entre o percentil 5 e 95 e o método de Tukey é muito semelhante para os elementos estudados. Por outro lado demonstra a dificuldade em estabelecer um único valor de fundo geoquímico, dadas as amplitudes de variação nas suas concentrações naturais.

Os valores de fundo apresentados na tabela foram definidos a partir da utilização de um parâmetro robusto, utilizando o valor calculado da mediana tendo em consideração o conjunto de dados definido pelo intervalo de variação pelo “range” não anómalo.

**Quadro 5.1 – Aplicação de diferentes metodologias estatísticas para cálculo de concentrações de base em solos da ilha de Santiago (Cabo Verde).**

		Range observ.	P5-P95	Range NA	VF
Al	%	1.32-7.09	2,88-4,97	1.32-5.46	<b>3,81</b>
As	mg/kg	0.25-4	0,25-2	0.25-2	<b>0,7</b>
Au	µg/kg	0.25-13.8	0,5-8,6	0.25-9.8	<b>3.4</b>
B	mg/kg	0.5-19	1-11	0.5-13	<b>5</b>
Ba	mg/kg	113-1519	183-747	113-738	<b>371</b>
Ca	%	0.17-5.56	0.35-2.56	0.17-2.05	<b>1.00</b>
Co	mg/kg	11-81	24-67	11-76	<b>48</b>
Cr	mg/kg	6-406	25-314	6-319	<b>134</b>
Cu	mg/kg	5-142	19-81	5-100	<b>54</b>
Fe	%	2.68-12.63	5.13-10.04	2.68-10.45	<b>7.14</b>
Ga	mg/kg	6-23	10-18	6-20	<b>13</b>
Hg	mg/kg	0.005-0.11	0.01-0.04	0.005-0.06	<b>0.02</b>
K	%	0.11-0.89	0.17-0.65	0.11-0.84	<b>0.34</b>
La	mg/kg	23-319	30-69	23-78	<b>45</b>
Mg	%	0.26-4.90	0.51-2.94	0.26-3.22	<b>1,53</b>
Mn	mg/kg	673-3135	899-1954	673-2024	<b>1300</b>
Mo	mg/kg	0.1-5.4	0.2-1.3	0.1-1.5	<b>0.6</b>
Na	%	0.022-0.686	0.030-0.194	0.022-0.152	<b>0.06</b>
Ni	mg/kg	5.1-508	22.7-266	5.1-289	<b>145</b>
P	%	0.02-0.513	0.044-0.234	0.02-0.315	<b>0,132</b>
Pb	mg/kg	2-47	2.5-11	2-11	<b>4.8</b>
Sc	mg/kg	2-25.8	5-17.5	2-19.4	<b>10.5</b>
Sr	mg/kg	32-711	60-341	32-363	<b>167</b>
Th	mg/kg	2-23	3-7	2-8	<b>4.5</b>
Ti	mg/kg	0.115-1.683	0.244-0.933	0.115-0.958	<b>0.502</b>
U	mg/kg	0.3-2.2	0.5-1.4	0.3-1.4	<b>0.7</b>
V	mg/kg	57-337	100-261	57-297	<b>174</b>
Zn	mg/kg	43-216	56-113	43-125	<b>82</b>

Range observ. – intervalo definido pelos valores de mínimo e máximo da população (ver tabela 4.1); P5 – P95 - intervalo definido pelos valores correspondentes ao valor do percentil 5 e 95 –; Range não anómalo calculado de acordo com a metodologia de Tukey, 1977; VF –valor de fundo geoquímico.

## **5.4 Elaboração de mapas de interesse ambiental**

### **5.4.1 – Cartografia do Índice de Contaminação**

Com a finalidade de resumir a informação contida nas cartas de teores (figuras 5.1 a 5.33), recorreu-se ao cálculo do Índice de enriquecimento/contaminação. Este índice baseia-se na filosofia inerente ao índice proposto por CHON *et al.* (1996). O índice de enriquecimento/contaminação pode ser calculado ao nível de um local ou de uma área,

razão pela qual o seu valor pode dar uma ideia do grau de enriquecimento/contaminação por metais à escala do local de amostragem [MORENO, 2000].

Os valores inferiores ou iguais a 1 indicam que os metais se encontram em níveis considerados do fundo geoquímico. Os valores superiores a 1 revelam que, em média, os teores dos metais estão acima do respectivo fundo geoquímico e que qualquer enriquecimento pode resultar de fontes geológicas naturais ou de ações antrópicas. Apesar de nenhum metal controlar o índice, cada um tem a sua importância relativa na construção do mesmo. Calculou-se, em primeiro lugar o factor de contaminação (FC) de cada metal, dividindo o seu teor químico numa dada amostra pelo respectivo valor de fundo. A divisão do somatório dos diferentes factores ( $\Sigma FC$ ) pelo número total de elementos analisados (N), permitiu calcular o valor do índice de enriquecimento/contaminação (IC) em cada amostra.

$$IC = \frac{\Sigma(\text{teor de metal/valor guia})}{N} = \frac{\Sigma FC}{N}$$

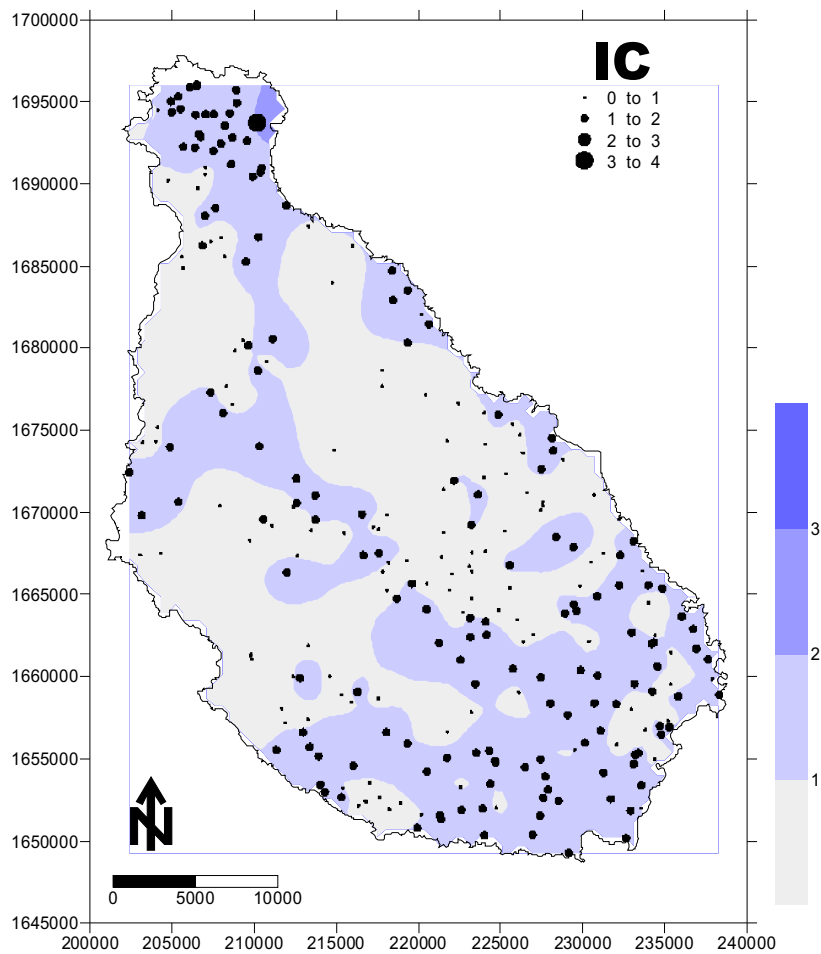
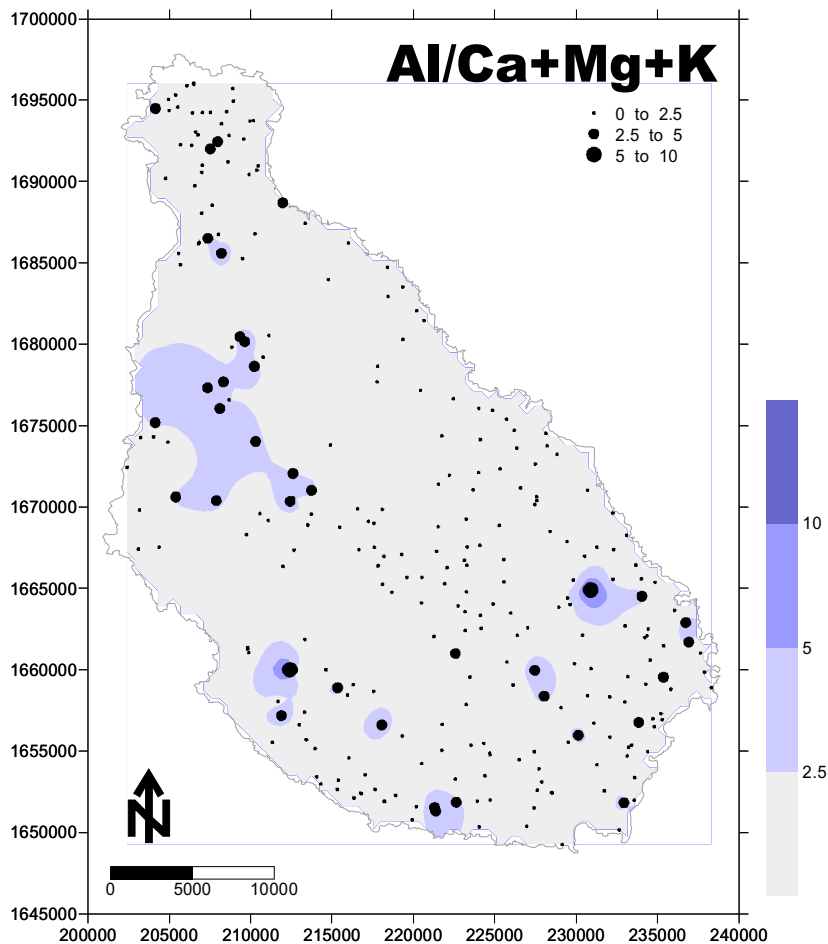


Figura 5.34 - Cartografia do índice de enriquecimento/contaminação para a granulometria < 2 mm considerando para o cálculo as variáveis As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V e Zn.

Na figura 5.34 está representada a cartografia do índice de enriquecimento/contaminação considerando para o cálculo as variáveis Ag, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, V e Zn. A cartografia do índice de enriquecimento/contaminação permite evidenciar, na zona estudada, que a zona que apresenta um índice de enriquecimento próximo de 1 é a zona correspondente à Formação do Pico da Antónia enquanto as restantes zonas apresentam valores de Índice de Contaminação que variam entre 1 e 2, traduzindo um ligeiro enriquecimento nestes elementos.



**Figura 5.35 – Cartografia do índice Al / (Ca+Mg+K) nos solos da ilha de Santiago.**

### **5.4.2 – Cartografia da susceptibilidade à acidificação dos solos**

A qualidade de um solo para fins agrícolas depende, entre outros factores, dos nutrientes passíveis de serem utilizados pelas plantas. A dependência das plantas e animais relativamente a certos nutrientes é sobejamente conhecida. Por exemplo, a resistência das plantas a doenças provocadas por fungos depende da existência de Cu disponível [KAURANNE & SILLANPAA, 1992 in FERREIRA, 2001], a deficiência do mesmo elemento em animais provoca anemia [MUSTONEN IN TARVAINEN, 1996]; o encaracolamento de folhas

de plantas e perda de cabelo, rigidez nas articulações, deficiências de crescimento e reprodução de animais são sintomas frequentemente relacionados com deficiência em Zn [MUSTONEN IN TARVAINEN, 1996] ou com Mn [KAURANNE & SILLANPAA, 1992 in FERREIRA, 2001]. O índice  $Al/(Ca+Mg+K)$  foi aplicado por RAISANEN (in TARVAINEN, 1996) para medir a susceptibilidade para a acidificação dos solos, tendo chegado à conclusão que os solos mais vulneráveis à acidificação são condicionados pelo tipo de “bedrock” designadamente por aqueles que apresentam um valor da razão superior a 2.5 [FERREIRA, 2001].

Da análise da figura 5.36 podemos constatar que a maioria amostras apresenta valores do índice inferiores a 2.5 permitindo concluir que o grau de vulnerabilidade à acidificação é baixo. No entanto podemos constatar que pontualmente algumas zonas apresentam um menor potencial nutritivo e que apresentam simultaneamente maiores problemas quanto à acidificação dos solos. Referimo-nos em particular aos solos associadas à Formação dos Flamengos (zonas de S. João Batista e Senhora da Luz) e também aos solos associados à Formação da Assomada (designadamente na zona de Santa Catarina).

