



**Variabilidade Espacial de Elementos Químicos do Solo sob
Diferentes Usos em Bacia Hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim,
Estado do Rio Grande do Sul**

**Spatial Variability of Soil Chemical Elements in Different Uses for
River Basin Vacacaí-Mirim, Rio Grande do Sul**

Pedro Daniel da Cunha Kemerich¹; Sergio Roberto Martins²; Masato Kobayama²;
Willian Fernando de Borba⁴ & Rodrigo Ferreira da Silva⁵

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – ,
Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Agrônomicas e Ambientais (DCAA),
Linha 7 de Setembro S/N BR 386, Km 40, 98400-000, Frederico Westphalen, RS

² Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA),
Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima Trindade, 88040-900, Florianópolis, SC

³ Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental, Linha 7 de Setembro S/N BR 386, Km 40, 98400-000, Frederico Westphalen, RS

⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Agrônomicas e Ambientais (DCAA),
Linha 7 de Setembro S/N BR 386, Km 40, 98400-000, Frederico Westphalen, RS

E-mails: eng.kemerich@yahoo.com.br; sergio@ens.ufsc.br; kobiyama@ens.ufsc.br;
borba_willian@hotmail.com; rofesil@bol.com.br

Recebido em: 26/09/2012 Aprovado em: 25/06/2013

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2013_2_05_15

Resumo

O solo possui um papel fundamental para a sociedade humana, desempenhando diversas funções no ecossistema, dentre as principais destaca-se a função filtro, retendo algumas substâncias que nele são depositadas. Sendo assim, com aumento dos níveis de deposição de resíduos de forma inadequada, os níveis de contaminação estão cada vez maiores. Neste contexto o presente trabalho teve como objetivos caracterizar as propriedades físicas sob diferentes usos em uma bacia hidrográfica. Na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, os pontos foram escolhidos aleatoriamente, onde foram coletadas as amostras e analisadas no equipamento EDXRF. Posteriormente, os valores foram especializadas com auxílio do Software *Surfer 10*. As variações das concentrações dos elementos analisados foram as seguintes: para o elemento Alumínio variaram de 52.952,11 a 271.077,00 mg kg⁻¹. Para o elemento Cálcio, os valores variaram do Limite de Detecção (L.D) a 7.677,376 mg kg⁻¹. As concentrações do elemento Ferro variou de 14.118,56 a 156.695,50 mg kg⁻¹. As concentrações de Ítrio variaram do L.D. a 192,36 mg kg⁻¹, os valores de Magnésio variaram do LD a 31.944,05 mg kg⁻¹ os valores de Potássio de 1.256,236 a 60.693,230 mg kg⁻¹. Dentre os elementos analisados, apresentaram correlação os elementos químicos Ca e Al (-0,32), Ca e Al (0,03), K e Fe(-0,02), Mg e Fe (-0,27), Mg e K (-0,03) e Mg e Y (-0,02). Após análise dos dados é possível perceber que a concentração dos elementos é afetada devido ao uso e tipo de solo na Bacia Hidrográfica, sendo que isso é acentuado pela ação antrópica, principalmente nas áreas de pastagens e cultivos de arroz existentes na região. No presente estudo foi possível identificar que os usos de solo campo nativo, soja, pastagem, arroz e mata nativa tiveram uma maior influencia nas concentrações dos elementos alumínio, potássio e magnésio.

Palavras-Chave: Concentração; Elementos Químicos; Vacacaí-Mirim

Abstract

The soil has a fundamental role in human society, it plays diverse functions in the ecosystem, among the main functions is the filter function, it retains some substances that are deposited on the soil. Thus, with the increase levels of inadequate waste disposal, the contamination levels are increasing. In this context, the present study aimed to characterize the physical properties under different uses in a hydrographic basin. In the Vacacaí-Mirim River Basin, the points were chosen randomly, where the samples were collected and analyzed in EDXRF equipment. After, the values were specialized with the aid of Software *Surfer 10*. The variations of the concentrations of the elements analyzed were as follows: for the Element Aluminum varied of D.L. from 52.952,11 to 271.077,00 mg kg⁻¹. For the calcium element, values ranged from the detection limit (D.L.) to 7.677,376 mg kg⁻¹. The concentrations of iron element ranged of 14.118,56 to 156.695,50 mg kg⁻¹. The yttrium concentrations varied of D.L. to 192,36 mg kg⁻¹, values of Magnesium varied of D.L. to 31.944,05 mg kg⁻¹, values the potassium ranged from 1.256,236 to 60.693,230 mg kg⁻¹. Among the elements analyzed, the following showed a correlation: Ca and Al (-0,32), Ca and Al (0,03), K and Fe (-0,02), Mg to Fe (-0,27), Mg and K (-0,03) and Mg and Y (-0,02). After the data analysis it was observed that the concentration of the elements is affected by use and soil type in the Hydrographic Basin, and this is accentuated by anthropic action, principally in areas of pastures and rice crops in the region. In the present study it was observed that the uses of soil, native field, soybeans, pasture, rice and native forest had a greater influence on the concentrations of the elements aluminum, potassium and magnesium.

Keywords: Concentration; Chemical Elements; Vacacaí-Mirim

1 Introdução

O solo é um reservatório natural de água para as plantas, onde as práticas de manejo na agricultura visam promover condições ideais para o crescimento das plantas. Por se tratar de um reservatório aberto (atmosfera e subsolo), diversos estudos estão sendo realizados buscando quantificar as taxas de armazenamento, infiltração e evaporação da água em seu meio (Urach, 2007). No interior do solo estão presentes diversos tipos de organismos vivos, e dentre os principais destacam-se bactérias e outros organismos como os fungos, que estão em grandes quantidades no solo (Dos Santos, 2006).

A ação antrópica propicia um processo de degradação das terras, cuja intensidade continua sendo nos dias atuais, influenciada tanto por condições de clima, relevo, vegetação e solo, quanto e principalmente, pelo conjunto de práticas desenvolvidas pelo homem na agricultura ao longo do tempo (Casalinho, 2003).

Os principais metais pesados presentes no solo e nos produtos utilizados na agricultura são o Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). A presença dos metais pesados nos solos pode ter origem natural ou antropogênica (Abreu *et al.*, 2002). As origens naturais dependem do material de origem e do grau de intemperização que esse material sofreu. Segundo Tiller (1989), solos originados diretamente sobre rochas básicas apresentam-se com maior concentração de metais pesados do que aqueles formados sobre rochas ácidas ou sedimentares, isso se deve principalmente à ação do intemperismo. Abreu *et al.* (2002) afirmam que as ações que o homem realiza na natureza são a principal fonte de adição de metais pesados ao solo.

Outra fonte que se destaca nas alterações das propriedades químicas do solo segundo Andrade *et al.* (2009), é a intensificação das atividades industriais, agrícolas e de urbanização, que aumentam o risco de poluição dos solos por metais pesados. Entre as atividades industriais, destaca-se a metalúrgica de metais pesados, que produz grandes quantidades de rejeitos ricos nesses poluentes.

Embora os teores naturais de metais pesados no solo sejam, em parte, reflexos do material de origem, os processos de formação do solo, em conjunto com as condições geomorfológicas e climáticas tornam específicos os teores de metais em cada solo (Biondi, 2010). Sob o aspecto biológico, alguns destes metais são considerados essenciais para alguns organismos

vivos, porém, sob condições específicas podem causar impactos negativos aos ecossistemas.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar alterações químicas de solos em decorrência de diferentes usos e ocupações na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim no estado de Rio Grande do Sul, uma vez que essa bacia apresenta usos variados tais como cultivo de soja e arroz, áreas de mata nativa, campo nativo, pastagem e urbana, que podem sofrer ações antrópicas diretamente no seu meio.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da Área em Estudo

A bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim está localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes de 29° 36' 55"S e 29° 39' 50"S e longitudes de 53° 46' 30"W e 53° 49' 29"W, abrangendo área total de 1145,7 km². Esta região está inserida em três grandes compartimentos geomorfológicos, conforme mostra a figura 1a, com características morfológicas e geológicas distintas: Planalto, Rebordo do Planalto e Depressão Central ou Periférica. No Planalto localizam-se as nascentes da bacia, a região é caracterizada pelo relevo ondulado a suavemente ondulado, resultante da dissecação fluvial de sua superfície, a altitude está entre 300 m e 480 m e formou-se pelo vulcanismo da Bacia do Paraná, ocorrido no Mesozóico, com a presença de basaltos e arenitos "intertraps" (Casagrande, 2004). O mapa de localização dos pontos de amostragem e suas respectivas cotas topográficas podem ser observados na Figura 1b.

O Rebordo do Planalto é a transição entre o Planalto e a Depressão Central. Sua topografia caracteriza-se por ser formada por escarpas abruptas, drenagem fluindo no sentido da Depressão Central e padrão dendrítico, com presença marcante de vales em V (Casagrande, 2004). A área da Depressão Central é constituída por rochas sedimentares da bacia hidrográfica do rio Paraná, encobertas, localmente, por sedimentos cenozóicos e recentes (planícies aluviais). Na região da Depressão Central a topografia é plana a suavemente ondulada, com as elevações de forma arredondada (Embrapa, 1999).

O clima na bacia hidrográfica, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Os solos predominantes, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo da Embrapa (1999), são os ARGISSOLOS VERMELHO-

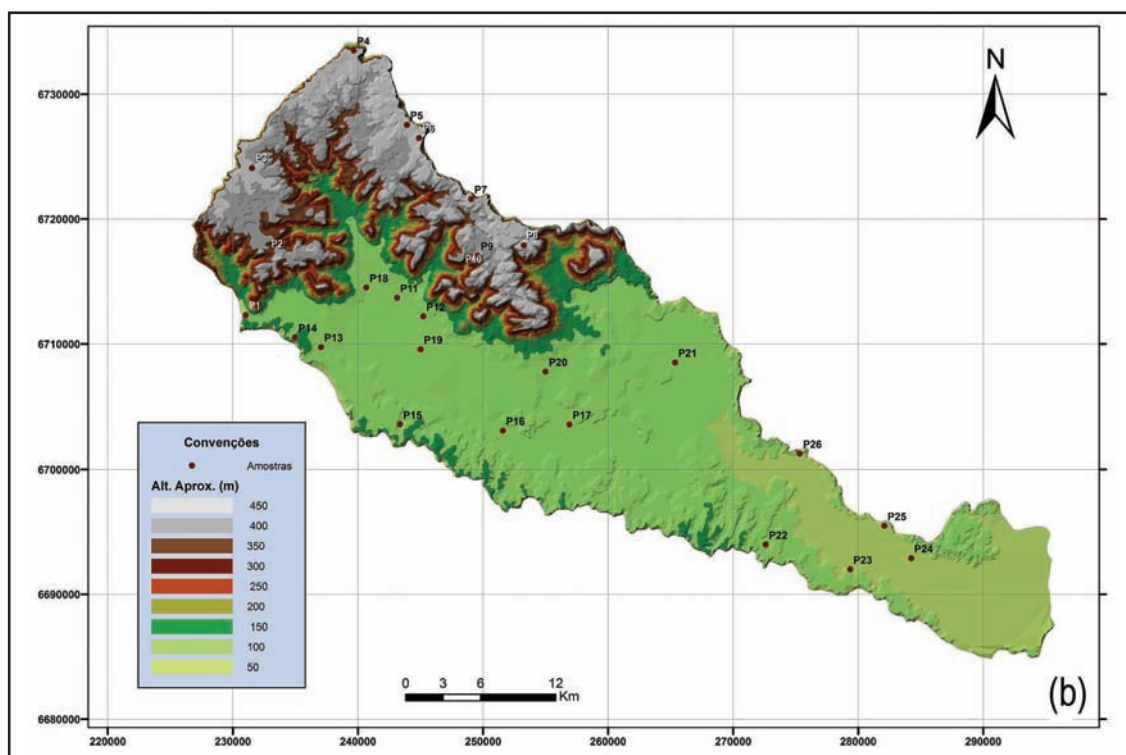
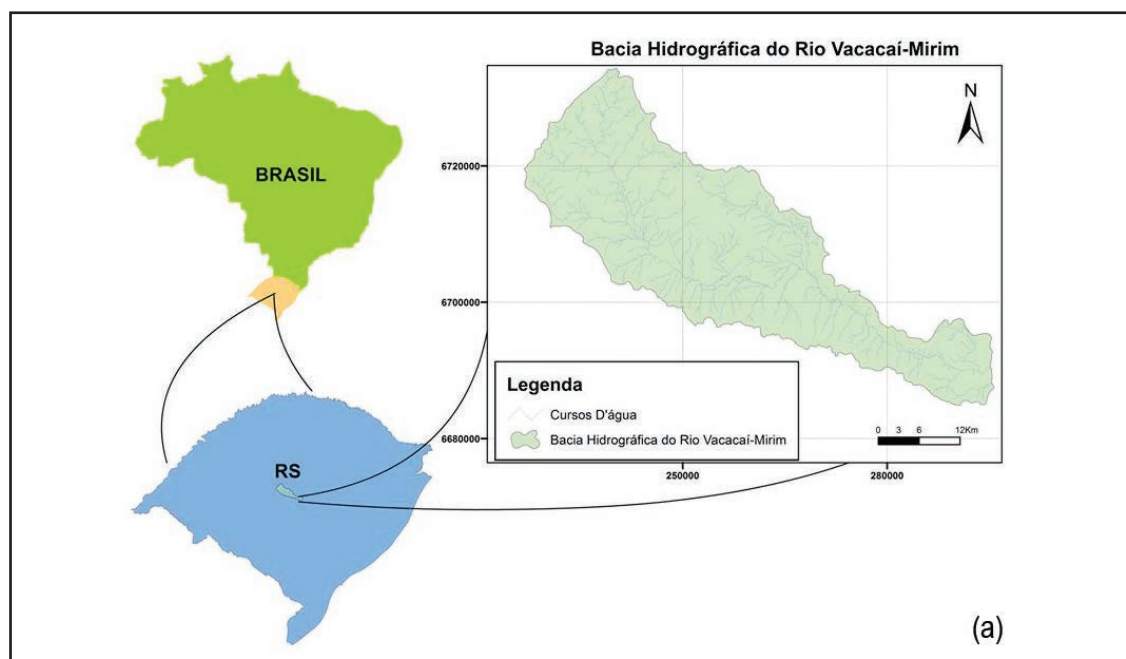


Figura 1(a) Localização da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, RS. (b) Mapa das cotas altimétricas e da localização dos pontos de amostragem na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

AMARELO Alumínicos e em alguns locais associados aos NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos na Região do Planalto; NEOSSOLOS LITÓLICOS e CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS na Região do Rebordo do Planalto e na Depressão Central, os PLANOSSOLOS, CHERNOSSOLOS

ARGILÚVICOS, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO (Casagrande, 2004).

A vegetação natural, na área do Planalto e do Rebordo do Planalto, é constituída, predominantemente, por floresta do tipo Floresta Estacional Decidual e na

Depressão Central ou Periférica de campos de pastagem natural. Em meio aos campos, é comum a presença de capões isolados de mata de pequeno e grande porte (Bacellar *et al.*, 2003).

2.2 Pontos de Amostragem Horizonte A (0 – 20 cm)

Os pontos de amostragem foram alocados visando uma distribuição espacial uniforme na bacia hidrográfica, com base nos diferentes tipos e usos de solos existentes, na região em estudo. Dessa maneira foram alocados 26 pontos de amostragem, sendo que estes receberam a numeração variando de P1 a P26. A Tabela 1 ilustra os diferentes usos e ocupações do solo, a Tabela 2 ilustra a porcentagem que cada uso corresponde na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim e a Tabela 3 ilustra os solos predominantes nas 26 pontos de amostragem.

USOS DO SOLO	PONTOS DE AMOSTRAGEM
Mata Nativa	1,2,3,10,26
Campo Nativo	5,12,22,23
Pastagem	11,14,15,20
Soja	4,6,7,8,9
Arroz	16,17,18,19,21,24,25
Área Urbana	13,14

Tabela 1 Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

USO DO SOLO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Área Urbana	2974,73	2,51
Arroz	339,16	28,67
Soja	13076,29	11,05
Solo Exposto	16149,25	13,65
Floresta	14811,09	12,52
Lâmina D'água	2147,16	1,81
Campo/Pastagem	35242,21	29,79

Tabela 2 Porcentagem referente a cada uso do solo Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

TIPO DE SOLO	PONTOS DE AMOSTRAGEM
Argissolo Bruno-Acinzentado álico ou aluminico	20, 21
Argissolo Bruno-Acinzentado álico	8
Neossolos Litólicos eutróficos e distróficos	2, 7, 9, 10
Argissolo Vermelho álico e distráfico	1, 3, 4, 5, 6, 13, 14, 15, 22, 23
Planossolo Háplico Eutráfico	11, 12, 16, 17, 18, 19, 24, 25, 26

Tabela 3 Tipos de solos e Pontos de Amostragem na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

Para a coleta, amostras de 2 kg da camada superficial, de 0 a 20 cm, foram retiradas do solo com auxílio de uma pá de corte. Posteriormente, o solo coletado foi acondicionado em caixa de isopor com gelo afim de se manter as características do momento da coleta. Foram coletadas três repetições por pontos de amostragem.

2.3 Preparo das Amostras e Determinação dos Metais

O preparo das amostras foi o mesmo utilizado por Kemerich *et al.* (2012), onde no laboratório, foram pesadas 20 g de solo e posto para secagem à temperatura de 105° C por 2 horas. Após o quarteamento e a secagem em estufa as amostras foram moídas manualmente em gral com pistilo, objetivando reduzir ao máximo a granulometria da amostra para reduzir os desvios do feixe de Raios-X, provenientes do aparelho (Shimadzu Energy Dispersion Fluorescence X-ray Spectrometer Ray, Serie EDX-720) - EDXRF e assim melhorar a eficiência das determinações. As amostras de solo foram então comprimidas em prensa manual em matriz apropriada, formando uma pastilha sólida e compacta que foi encaminhada para a análise. A pastilha foi formada usando 10 toneladas de pressão por 10 minutos, visando aglomerar as partículas tornando-as um aglomerado aumentado a eficiência da leitura do EDXRF.

Para a análise no EDXRF o método seguido foi o descrito por Pataca *et al.* (2005): tensão do tubo de 15 keV (Na a Sc) e 50 keV (Ti a U) com corrente no tubo 184 µA e 25 µA, respectivamente, colimador de 10 mm, tempo morto do detector de 40% e 39%, sob vácuo e detector de Si (Li) refrigerado com nitrogênio líquido, porém com tempo real de integração de 200 s.

O método analítico utilizado é método dos Parâmetros Fundamentais (FP), descrito por Bona *et al.* (2007), este método permite a obtenção da curva de sensibilidade do equipamento para cada elemento de interesse, quando uma amostra de composição química conhecida é submetida a parâmetros instrumentais bem definidos. A curva de sensibilidade do equipamento relaciona a intensidade fluorescente teórica calculada e a medida para cada elemento (Wastowski *et al.*, 2010).

No presente trabalho foram analisados os valores totais de Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Potássio (K) e Ítrio (Y).

2.4 Espacialização dos Resultados

Para a elaboração dos mapas foi utilizado o software *Surfer 10*, juntamente com a técnica da krigagem (Landim & Sturaro, 2002). Inicialmente foram lançados os valores para ponto de amostragem de solo (com o metal a ser espacializado) com as coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), escolhendo-se a opção *Counter Map* e gerando-se um cartograma de contorno da superfície da área estudada. Logo após, foram espacializadas as informações de interesse com o uso da opção *Post Map*.

3. Resultados e Discussão

3.1 Alumínio (Al)

Na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, os valores de Alumínio total variaram de 52.952,11 a 27.1077 mg kg⁻¹ com média de 152.454,86 ± 54.073,52 mg kg⁻¹ (Figura 2). Os maiores valores de Al estão localizados na região Oeste da Bacia Hidrográfica. Nessa região encontram-se áreas de mata nativa nos pontos 1 (226.041,80 mg kg⁻¹) e 3 (215.566,20 mg kg⁻¹), área de produção de soja nos pontos 4 (215.355,40 mg kg⁻¹), 6 (216.499,70 mg kg⁻¹), 7 (192.028,70 mg kg⁻¹) e 8 (214485,30 mg kg⁻¹) e de campo nativo no ponto 5 (271077,00 mg kg⁻¹). Os menores valores estão na região Leste em área ocupada por lavoura de arroz irrigado (Ponto 21) apresentados na Figura 1.

Koz *et al.* (2012) usando a técnica de EDXRF encontraram valores de Al no solo de 8840 mg kg⁻¹, Wastowski *et al.* (2010) obtiveram média de 85700 mg kg⁻¹, para a camada entre 0 – 10 cm, em um solo na cidade de Frederico Westphalen – RS.

Kabata-Pendias & Pendias (2001) dizem que o pH é a principal barreira geoquímica para esse elemento no solo, sendo que a sua mobilidade aumenta em solos com pH inferior a 5,5 e baixa com pH entre 6 e 9 (Shuqair, 2002). Em solos tropicais, sua concentração é maior que 15%. Com base nisso, pode-se dizer que o teor de Al em solos é variável com o pH do mesmo. Os teores de Al em solos estão estritamente ligados com a mineralização da matéria orgânica, que pode acarretar em grande liberação de Al, principalmente na camada superficial (Miranda *et al.*, 2006). Na área em estudo, os maiores valores ocorreram nos usos que possuem uma maior camada de matéria orgânica sobre a camada superficial do solo (soja, campo nativo e mata nativa) na superfície, evidenciando o explicado anteriormente. A toxicidade do alumínio constitui-se num dos principais fatores limitantes no que se refere ao crescimento das plantas e acidificação dos solos, sendo absorvido pelas raízes e translocado para a parte aérea das plantas, prejudicando seu desenvolvimento (Rufyikiri *et al.*, 2004).

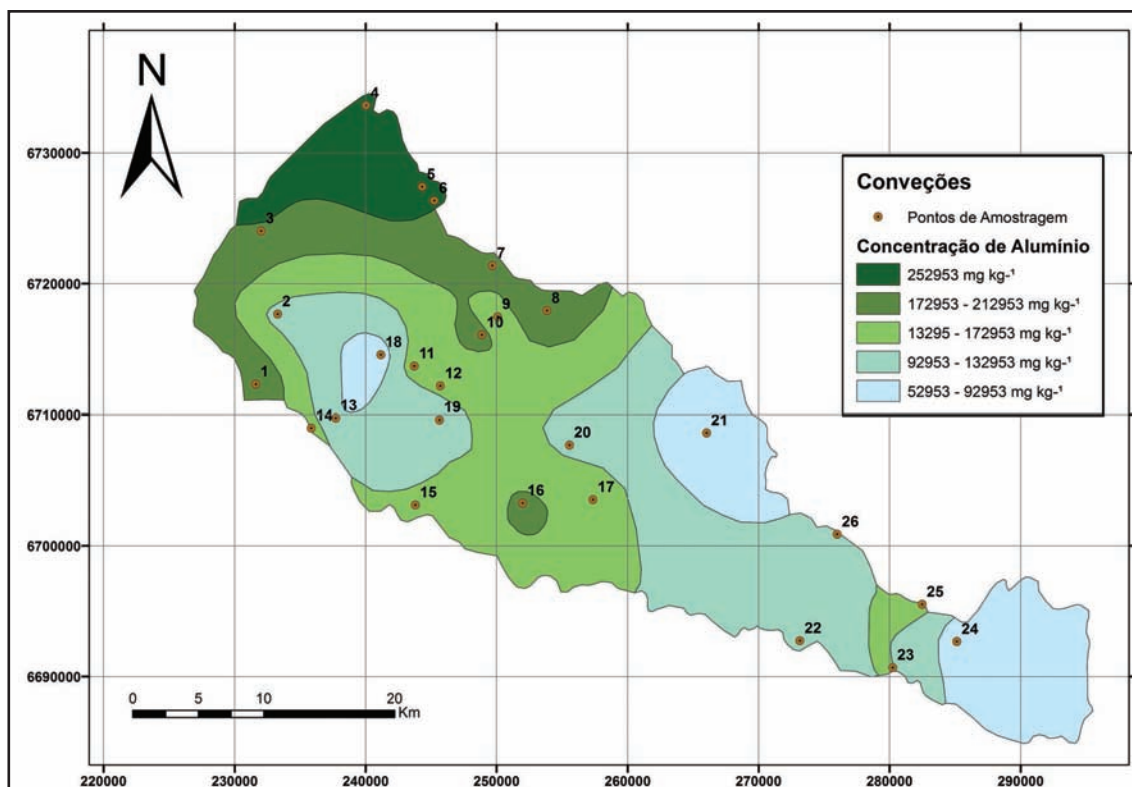


Figura 2
Variação da
Concentração
de Alumínio
no solo
da Bacia
Hidrográfica
do Rio
Vacacaí-
Mirim, 2010.

3.2 Cálcio (Ca)

Na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, os valores de Cálcio total variaram do Limite de Detecção (L.D) a $7677,376 \text{ mg kg}^{-1}$, com média de $1888,19 \pm 2130,37 \text{ mg kg}^{-1}$. Como pode ser observado na Figura 3, as maiores concentrações de Cálcio estão na região Oeste da Bacia Hidrográfica, já os menores valores encontram-se nas regiões Leste e Sudoeste.

Os maiores valores ocorreram nas áreas ocupadas por mata nativa, destacando-se os pontos 1 ($7677,37 \text{ mg kg}^{-1}$) e 2 ($5492,16 \text{ mg kg}^{-1}$), pastagem no ponto 11 ($3896,13 \text{ mg kg}^{-1}$) e plantações de arroz nos pontos 16 ($4281,24 \text{ mg kg}^{-1}$) e 19 ($6514,36 \text{ mg kg}^{-1}$).

Destacam-se como os menores valores os pontos 8 utilizado para produção de soja, ponto 13 localizado em área urbanizada, os pontos 17, 21, 24, e 25 utilizados para plantações de arroz e o ponto 23 onde havia campo nativo, no qual os valores de cálcio foram menores que o L.D. da técnica de EDXRF.

Cojocarú *et al.* (2006) encontraram concentração de Ca de 42600 mg kg^{-1} , Yu *et al.*

(2003) encontraram valores médios de $199000 \pm 6000 \text{ mg kg}^{-1}$. Wastowski *et al.* (2010) utilizando a técnica do EDX, verificaram a concentração média de 4450 mg kg^{-1} de cálcio, na camada de 0 – 10 cm, em solo da cidade de Frederico Westphalen – RS. O conteúdo de cálcio no solo é função do material de origem (rocha), sendo influenciado pela sua textura, teor de matéria orgânica e pela remoção das culturas. A principal fonte desse elemento adicionada ao solo é na forma de CaCO_3 , muito utilizado no controle da acidez no solo. Na área em estudo, os pontos que estão sob ação antrópica direta, áreas de cultivo de soja e arroz principalmente, destacam-se com maiores concentrações os cultivos com arroz possivelmente causado pelo efeito da calagem do solo.

3.3 Ferro (Fe)

Na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, as concentrações de Ferro total variaram de $14118,56$ a $156695,50 \text{ mg kg}^{-1}$ com média de $57437,876 \pm 40937,85 \text{ mg kg}^{-1}$. Os maiores valores de ferro estão localizados na região nordeste do cartograma, já os menores valores estão nas regiões Sul e Sudeste (Figura 4).

As ocupações do solo com mata nativa no ponto 2 ($153380,60 \text{ mg kg}^{-1}$) e 3 ($156695,50 \text{ mg kg}^{-1}$)

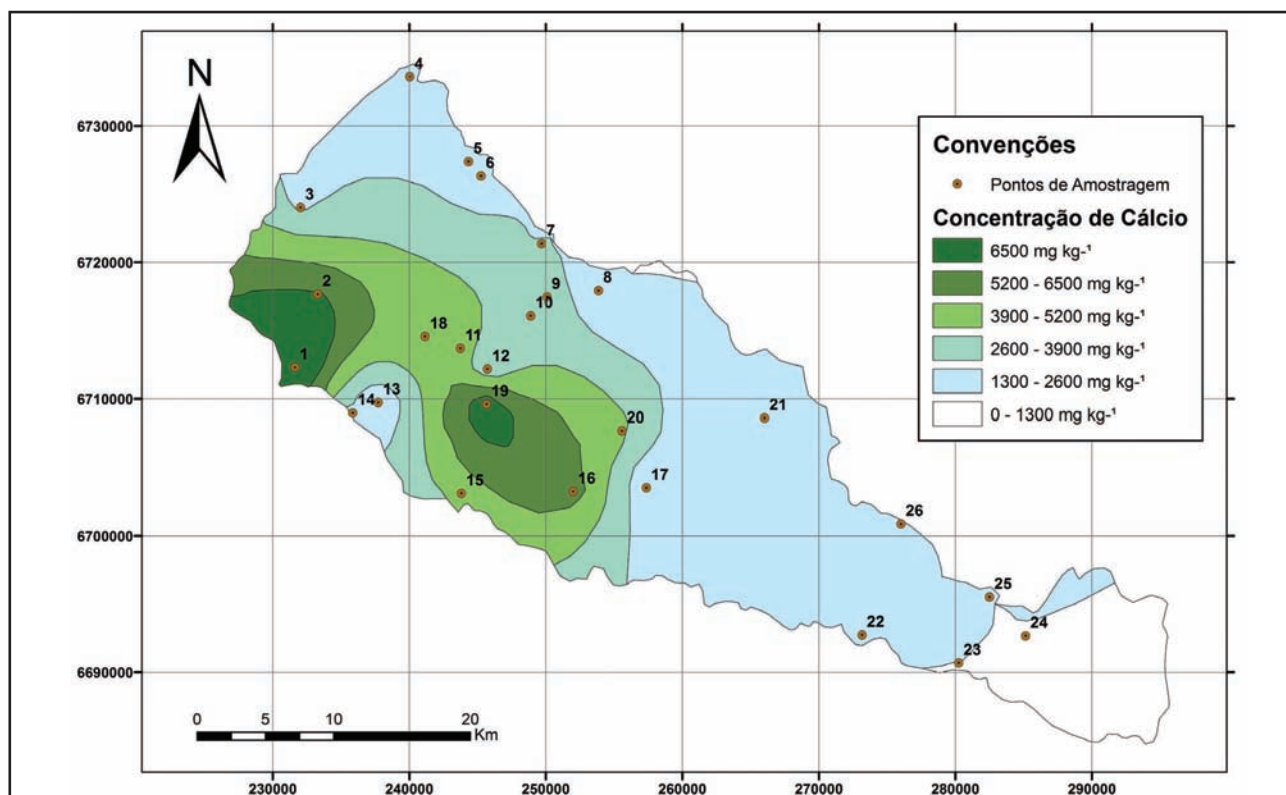


Figura 3 Variação da Concentração de Cálcio no solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, 2010.

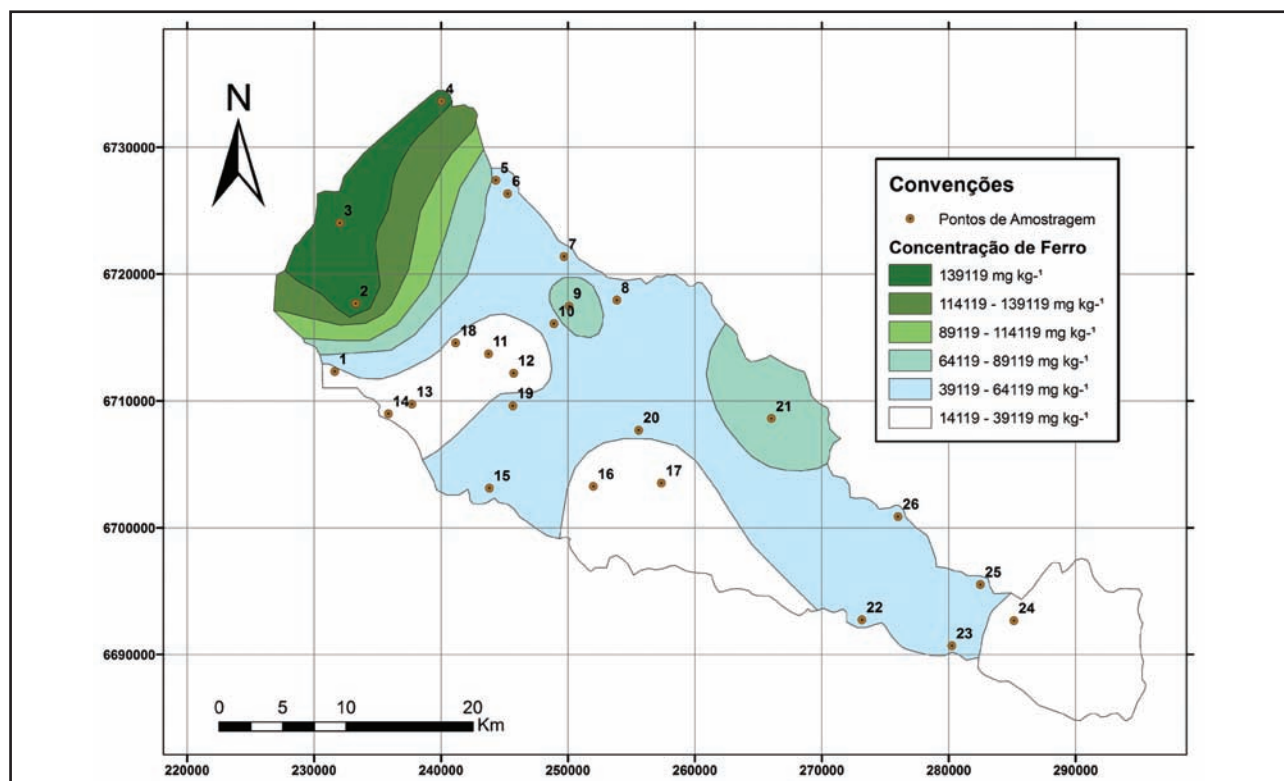


Figura 4 Variação da Concentração de Ferro no solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, 2010.

e com plantações de soja no ponto 4 (156694,55 mg kg⁻¹) e no ponto 9 (102435,70 mg kg⁻¹), apresentam os maiores valores.

Koz *et al.* (2012) usando a técnica de EDXRF encontraram valores de Fe em solo de 5410 mg kg⁻¹, Yu *et al.* (2003) encontraram valores médios de 14100 ± 50 mg kg⁻¹, valores estes bem abaixo, se comparado aos encontrados no presente estudo.

O ferro é um nutriente essencial à saúde humana e está presente em diversos alimentos. Estima-se que de 60 a 70% do ferro total presente nos seres humanos encontra-se associado à hemoglobina (OMS, 1998). Em condições de alagamento, pode ocorrer toxidez desse elemento nas plantas (Bataglia, 1991), como no caso da cultura do arroz, realizada nas áreas dos pontos de amostragem 16, 17, 18, 19, 21, 24 e 25.

O elemento Fe aparece no solo principalmente na forma de óxidos, que possuem grande poder de pigmentação, determinando assim a coloração de muitos solos (Costa *et al.*, 2002), pois esse material é de difícil lixiviação por estar fortemente aderido na solução do solo.

3.4 Ítrio (Y)

Na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, os valores de Ítrio total variaram do L.D. a 192,36 mg kg⁻¹ com média de 60,158 ± 59,07 mg kg⁻¹. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Oliveira *et al.* (2009), na Ilha Rata (RJ), onde a concentração de Ítrio na camada de 0 – 10 cm foi de 79 mg kg⁻¹.

O Ítrio (Y) pertence ao grupo dos elementos terras raras, e geralmente esta associado aos lantanídeos. É usado na composição de cerâmicas e vidros ópticos que, devido ao seu óxido, apresentam elevados pontos de fusão. Também é utilizado em filtros de microondas. A toxicidade está associada com a alta capacidade do íon Y substituir os íons Ca nos seres vivos, que são responsáveis por muitas funções metabólicas. Uma consequência biológica é formar colóides com as proteínas. Os sais de Y são cancerígenos (Echeverria, 2007).

Como pode ser observado na Figura 5, os maiores valores de Ítrio estão na região central e nordeste da bacia, onde destacam-se os pontos 2 e 3 em área ocupada por mata nativa, pontos 4, 7, 8 e 9 ocupados por plantação de soja, ponto 19 ocupado por plantação de arroz e o ponto 20 ocupado por pastagem.

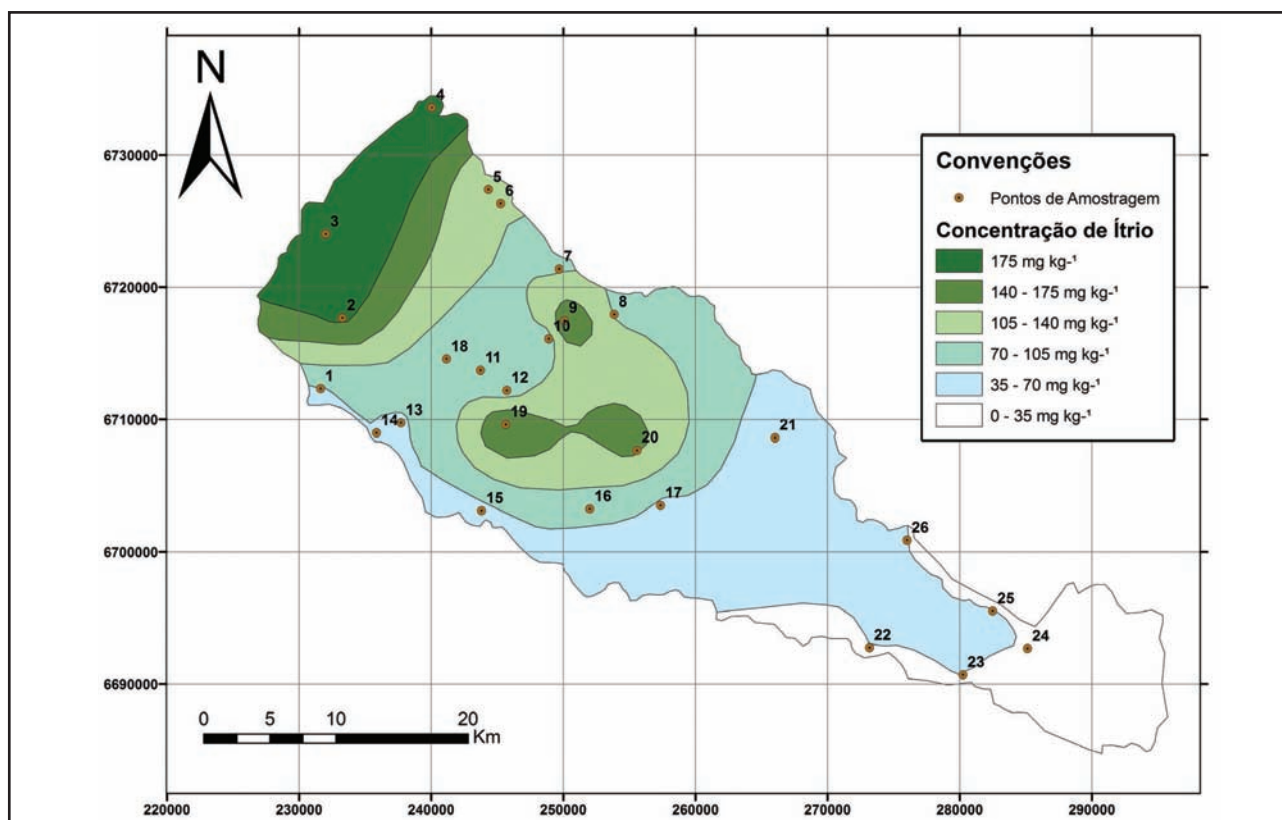


Figura 5 Variação da Concentração de Ítrio no solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, 2010.

Os menores valores estão localizados na região sudeste do cartograma, o ponto 15 ocupado por pastagem, pontos 22 e 23 ocupados por campo nativo, pontos 24 e 25 ocupados por arroz e o ponto 26 ocupado por mata nativa apresentaram concentrações de Ítrio menor que o L.D. da técnica.

Cojocarú *et al.* (2006) encontrou concentração para esse elemento em solo de 35 mg kg⁻¹, já Yu *et al.* (2003) encontrou valores médios de 43,4 ± 1,8 mg kg⁻¹.

3.5 Magnésio (Mg)

Observa-se que os valores de Magnésio total variaram do L.D. a 31944,05 mg kg⁻¹ com média de 7155,33 ± 6724,42 mg kg⁻¹ (Figura 6), sendo que os maiores valores estão presentes na região Oeste, enquanto os menores valores estão na região Sudoeste do cartograma.

As áreas que apresentaram maiores concentrações de magnésio foram as ocupadas por mata nativa nos pontos 1 (31944,05 mg kg⁻¹), 10 (11366,06 mg kg⁻¹), campo nativo nos pontos 5 (13279,05 mg kg⁻¹), 12 (10393,95 mg kg⁻¹), pastagem

nos pontos 11 (15417,85 mg kg⁻¹) e 14 (10969,74 mg kg⁻¹), o ponto 16 que é ocupado por arroz destacou-se com uma concentração de 14169,68 mg kg⁻¹ já os pontos 23 e 24 também ocupados com arroz e o ponto 25 localizado em campo nativo tiveram as concentrações de magnésio no solo inferior ao L.D. da técnica de EDXRF.

3.6 Potássio (K)

Na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, os valores de Potássio total variaram de 1256,236 a 60693,230 mg kg⁻¹ com média de 16255,912 ± 15887,7821 mg kg⁻¹. Como pode ser observado na Figura 7, os maiores valores estão presentes na região central da Bacia Hidrográfica e na porção sudeste, já os menores valores encontram-se distribuídos na região norte e nordeste.

Os usos do solo que apresentaram os maiores valores foram mata nativa, destacando-se o ponto 1 (22502,27 mg kg⁻¹), plantação de soja (ponto 9 60693,23 mg kg⁻¹), plantação de arroz nos pontos 16 (22531,37 mg kg⁻¹), 19 (49597,48 mg kg⁻¹) e 24 (54201,86 mg kg⁻¹) e campo nativo no ponto

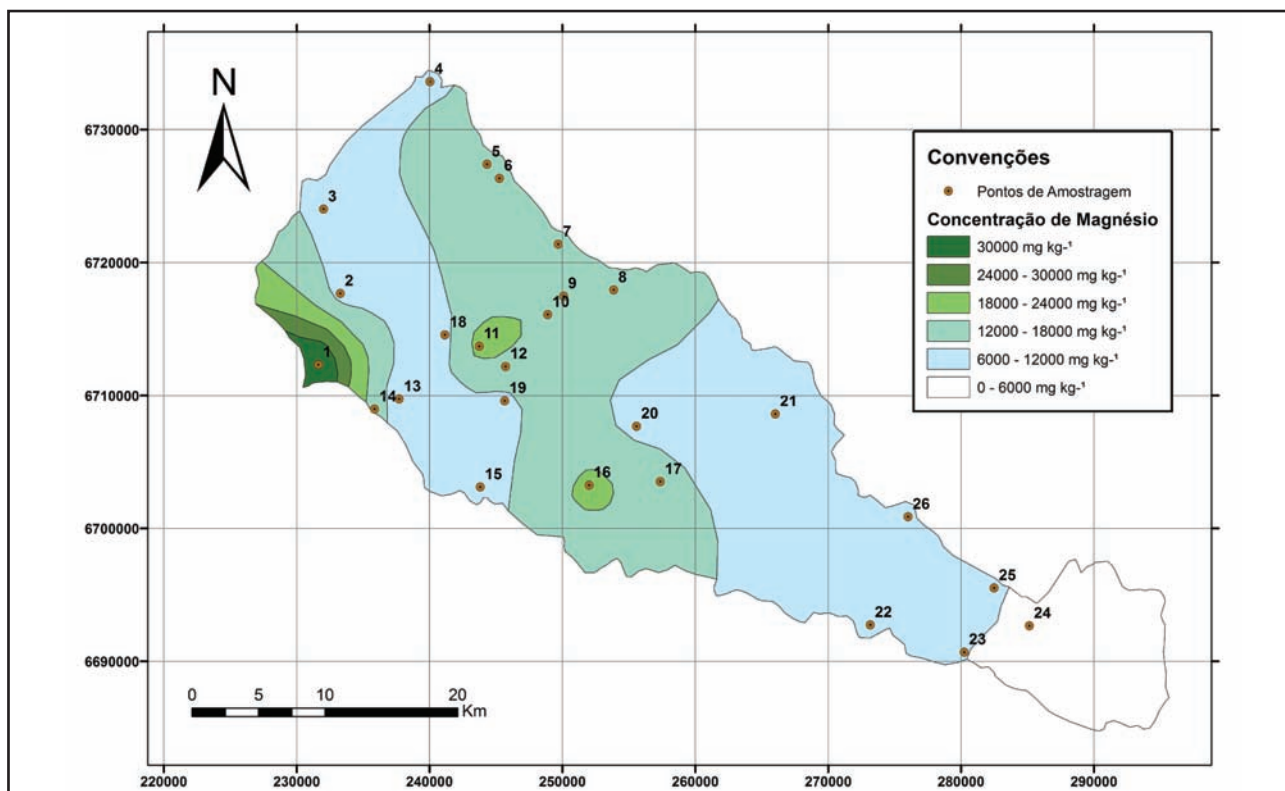


Figura 6 Variação da Concentração de Magnésio no solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, 2010.

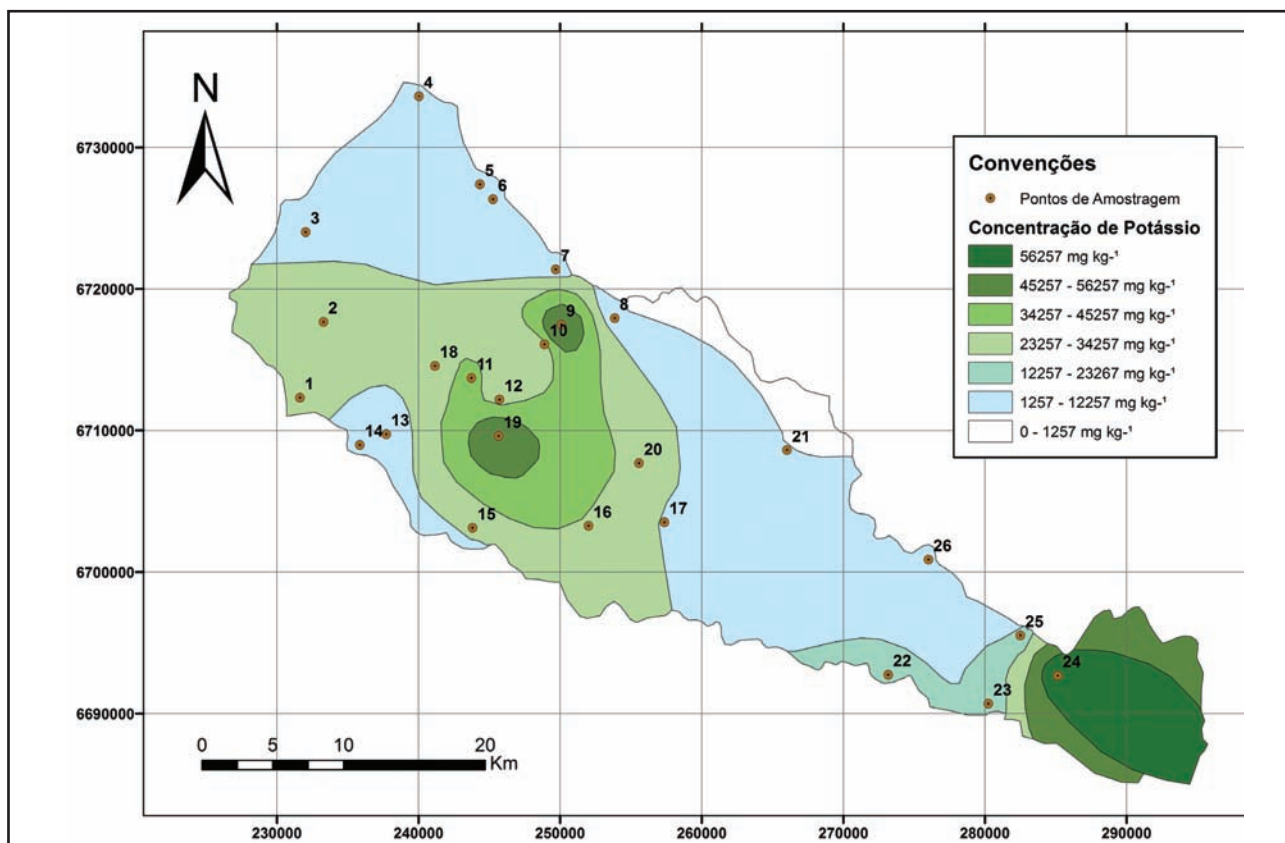


Figura 7 Variação da Concentração de Potássio no solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, 2010.

22 (16787,27 mg kg⁻¹). Essa relação das maiores concentrações em áreas de plantio direto (soja) pode ser explicada pelo fato do solo possuir uma grande concentração de argila, e pelo potássio apresentar uma tendência em acumular-se na superfície (Fragonezi & Espindola, 2008).

Valores semelhantes foram encontrados por Yu *et al.* (2003) onde as médias foram de 12700 ± 700 mg kg⁻¹. Já Wastowski *et al.* (2010) encontraram valores médios de Potássio total de 1840 mg kg⁻¹ na cidade de Frederico Westphalen – RS. Alleoni *et al.* (2005) afirma que a concentração de K nas rochas basálticas é de 8,3 mg kg⁻¹. Melo *et al.* (2004) dizem que o K é encontrado em feldspatos e micas que, ao serem intemperizados, liberam-no para a solução do solo, onde será absorvido pelas plantas (Fanning *et al.*, 1989; Huang, 1989), sendo assim, as principais fontes naturais desse elemento para o solo são o material de origem.

3.7 Correlação e Análise Estatística da Concentração dos Elementos Químicos

A correlação entre as variáveis estudadas pode ser analisada na Tabela 4, sendo a Correlação significativa p < 0,05, na tabela a correlação positiva é ilustrada na cor vermelha. Apresentaram correlação os elementos químicos Ca e Al (-0,32), Ca e Fe (0,03), K e Fe (-0,02), Mg e Fe (-0,27), Mg e K (-0,03) e Mg e Y (-0,02). Com base nisso pode-se afirmar que o elemento Mg está correlacionado com a maioria dos demais elementos.

A Tabela 5 ilustra a análise estatística da concentração (mg kg⁻¹) dos elementos químicos (Al, Ca, Fe, K, Mg e Y) em relação aos usos do solo (área urbana, arroz, campo nativo, mata nativa, soja e pastagem) para o teste Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Para o elemento Alumínio, os solos ocupados por campo nativo, soja e pastagem, apresentaram uma maior influência no aumento da concentração desse elemento, diferenciando-se estatisticamente do solo sob uso de área urbana, arroz e mata nativa, onde as concentrações foram menores. As áreas ocupadas pelo cultivo de arroz, campo nativo, mata nativa e pastagem, apresentaram uma maior influência na concentração de Potássio, diferenciando-se estatisticamente da área urbana e cultivo da soja onde as médias das concentrações foram menores. O elemento Magnésio teve maior influência dos usos de campo nativo, soja e pastagem, na sua concentração, apresentando diferenciação estatística das áreas de arroz, área urbana e mata

nativa. Os demais elementos (Ca, Fe e Y) não sofreram alterações em função do uso do solo, onde não apresentaram diferença estatística para o teste utilizado.

Variáveis	Al	Fe	K	Ca	Y	Mg
Al	1,00					
Fe	0,17	1,00				
K	-0,32	-0,02	1,00			
Ca	0,03	0,06	0,43	1,00		
Y	0,28	0,71	0,23	0,32	1,00	
Mg	0,62	-0,27	-0,03	0,52	-0,02	1,00

Tabela 4 Matriz de correlação estatística dos parâmetros analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

*Marcadas em vermelho as correlações significativas com p < 0,05000 N = 26

Área Urbana	94494b	0a	14119a	2881b	1848b	29,99a
Arroz	64492b	1580a	38635a	15075a	4244b	34,16a
Campo Nativo	129381ba	307a	48106a	13247a	11536a	18,75a
Mata Nativa	109011b	1080a	39006a	15694a	2233b	47,66a
Soja	207961a	1330a	45112a	3924b	9241a	65,59a
Pastagem	129084ba	2661a	34228a	13387a	9241a	21,59a

Tabela 5 Variação da concentração dos elementos químicos (mg kg⁻¹) em relação ao uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

5 Conclusões

Ao término do presente estudo, é possível identificar que os tipos e usos do solo influenciam nas concentrações dos metais através da ação antrópica a qual o solo está sujeito. Na análise dos elementos estudados, os principais metais estão presentes nas áreas de cultivo de arroz e soja onde o uso de fertilizantes e agrotóxicos são maiores. Alguns elementos estão naturalmente disponíveis em concentrações elevadas e não são prejudiciais as plantas como o caso do potássio, e ainda foi possível perceber que alguns elementos estão estreitamente correlacionados com os demais analisados, como o caso do elemento Mg. No presente estudo foi possível identificar que os usos de solo campo nativo, soja, pastagem, arroz e mata nativa tiveram uma maior influencia nas concentrações dos elementos alumínio, potássio e magnésio.

7 Referências

Abreu, C. A.; Abreu, M. F. & Berton, R. S. 2002. Análise química de solo para metais pesados. *Tópicos em Ciência do Solo*, 2: 645-692.

- Alleoni, L. R. F.; Borba, R. P. & Camargo, O. A. 2005. Metais Pesados: Da Cosmogênese Aos Solos Brasileiros. *Tópicos Ciência do Solo*, 4:1- 42.
- Andrade, M. G. de.; Melo, V. De. F.; Gabardo, J.; Souza, L. C. De. P. & Reissmann, C. B. 2009. Metais Pesados Em Solos De Área De Mineração E Metalurgia De Chumbo. I – Fitoextração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1879-1888.
- Bacellar, A. A. A.; Marques, J. F.; Skorupa, L. A.; Ferraz, J. M. G.; Da Silva, C. A. B.; Fernandes, E. N.; Fernandes Filho, E. I.; Rodrigues, E. O.; Lombardi Neto, F.; Miranda, J. A.; Lima, M. A. De.; Neves, M. C.; Pessoa, M. C. P. Y.; Saito, M. L.; Brandão, M. S. B.; Gattaz, N. C.; Ghini, R.; Castro, V. L. S. D. De. & Bettio, W. 2003. *Indicadores de Sustentabilidade em Agrossistemas*. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente. 282 p.
- Bataglia, O. C. 1991. *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba, POTAFOS/CNPq. 734 p.
- Biondi, C. M. 2010. *Teores Naturais De Metais Pesados Nos Solos De Referência Do Estado De Pernambuco*. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 58 p.
- Bona, I. A. T.; Sarkis, J. E. S. & Salvador, V. L. R. 2007. Análise arqueométrica de cerâmica Tupiguarani da região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, usando fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF). *Revista Química Nova*, 30: 785-790.
- Casagrande, L. 2004. *Avaliação do Parâmetro de Propagação de Sedimentos do Modelo de Williams (1975) Na Bacia do Rio Vacacaí-Mirim Com o Auxílio de Técnicas de Geoprocessamento*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 226 p.
- Casalinho, H. B. 2003. *Qualidade do Solo Como Indicador de Sustentabilidade de Agroecossistemas*. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Tese de Doutorado, 196 p.
- Cojocar, V.; Pantelic, A.; Pincovschi, E. & Georgescu, I. I. 2006. EDXRF versus INAA in a pollution control of soil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1: 71-78.
- Costa, A. C. S.; Almeida, V. De. C. & Nozaki, J. 2002. Determinação de Cobre, Alumínio e Ferro em solos derivados do basalto através de extrações sequenciais. *Revista Química Nova*, 4: 548-552.
- Dos Santos, L. C. 2006. *Efeito de Cobre na População de Bactérias e Fungos Do Solo, Associação Ectomicorrízica e no Desenvolvimento de Mudanças de Eucalipto e Canafístula*. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 88 p.
- EMBRAPA. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, EMBRAPA. 367 p.
- Echeverria, R. M. 2007. *Avaliação dos Impactos Ambientais nos Tributários do Lago Paranóá, Brasília – DF*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, Dissertação de Mestrado, 132 p.
- Fanning, D. S.; Keramidas, V. Z. & El-Desoki, M. 1989. *Micas Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America. 280 p.
- Fregonezi, G. A. F. & Espindola, C. R. 2008. Perfil de manejo na identificação de modificações químicas do solo decorrentes do uso agrícola. *Semina: Ciências Agrárias*, 3: 485-498.
- Huang, P. M. 1989. *Feldspars, olivines, pyroxenes, and amphiboles*. Madison, Soil Science Society of America. 300 p.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 2001. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton: CRC Press. 432 p.
- Kemerich, P. D. C.; Borba, W. F. De.; Silva, R. F.; Barros, G.; Gerhardt, A. E. & Flores, C. E. B. 2012. Valores Anômalos de Metais Pesados em Solo de Cemitério. *Revista Ambi-Água*, 7: 140 – 156.
- Koz, B.; Cevik, U. & Akbulut, S. 2012. Heavy metal analysis around Murgul (Artvin) copper mining area of Turkey using moss and soil. *Ecological Indicators*, 20: 17-23.
- Landim, P. M. B. & Sturaro, J. R. *Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos*. Rio Claro: DGA,IGCE,UNESP: 2002. 253 p.
- Miranda, J.; Costa, L. M.; Ruiz, H. A. & Einloft, R. 2006. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 30: 633-647.
- Melo, G. W.; Meurer, E. J. & Pinto, L. F. S. 2004. Fontes de potássio em solos distroféricos cauliniticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 28.
- Oliveira, S. M. B.; Pessenda, L. C. R.; Gouveia, S. E. M.; Fávoro, D. I. T. & Babinski, M. 2009. Evidência Geoquímica de Solos Formados pela Interação de Guanicos com Rochas Vulcânicas, Ilha Rata, Fernando de Noronha (PE). *Revista do Instituto de Geociências*, 9: 3-12
- Organização Mundial da Saúde – OMS. 1998. *Elementos traço na nutrição e saúde humana*. São Paulo, Roca. 218 p.
- Pataca, L. C.; Bortoleto, G. G. & Bueno, M. I. M. S. 2005. Determinação de arsênio em águas contaminadas usando fluorescência de raios-X por energia dispersiva. *Revista Química Nova*, 28: 579-582.
- Rufyikiri, G.; Didier, N.; Dufey, J. E. & Delvaux, B. 2004. Mobilization of aluminium and magnesium by roots of banana (*Musa spp.*) from kaolinite and smectite clay minerals. *Applied Geochemistry*, 19: 20 -30.
- Shuqair, S. M. S. 2002. *Estudo Da Contaminação Do Solo E Água Subterrânea Por Elementos Tóxicos Originados Dos Rejeitos Das Minas De Carvão De Figueira No Estado Do Paraná*. Programa de Pós-Graduação em em Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Elétricas e Nucleares, Tese de Doutorado, 117 p.
- Tiller, K. G. 1989. *Heavy metals in soils and their environmental significance*. New York, Springer. 613 p.
- Urach, F. V. 2007. *Estimativa de Retenção de Água em Solos Para Fins de Irrigação*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 78 p.
- Wastowski, A. D.; Rosa, G. M.; Cherubin, M. R. & Rigon, J. P. G. 2010. Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva (EDXRF). *Revista Química Nova*, 3: 1449-1452.
- Yu, K. N.; Yeung, Z. L. L.; Lee, L. Y. L.; Stokes, M. J. & Kwok, R. C. W. 2003. Determination of multi-element profiles of soil using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). *Applied Radiation and Isotopes*. 57: 279-284.