

Artigos
científicos

Avaliação da Qualidade do Solo na Bacia do Córrego Palmital, Viçosa - MG

Profa. Ma. Luana Caetano Rocha Andrade
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Thais de Carvalho Felicori
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Eduardo Antonio Gomes Marques
Universidade Federal de Viçosa

Dr. Cesar da Silva Chagas
EMBRAPA

Resumo

O monitoramento da qualidade do solo é assunto que ganha cada vez mais relevância dentro do contexto do monitoramento ambiental. Apesar da importância do assunto, somente recentemente é que surgiram normas e diretrizes para a realização desse tipo de monitoramento: Resolução CONAMA nº 420/2009, em nível nacional, e Deliberação Normativa COPAM/MG nº 166/2011, em nível estadual. Neste sentido, o presente estudo apresenta a análise de dados geológicos, pedológicos, mineralógicos, de uso ocupação do solo e da concentração de diferentes metais – Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Ni – encontrados em solos de uma bacia hidrográfica localizada na Zona da Mata/MG, utilizando-os para comparação com as normas supracitadas, com o objetivo de avaliar a qualidade do solo da sub-bacia, classificar os solos segundo a Resolução CONAMA nº 420/2009 e contribuir para a formação de um banco de dados de solos do Estado de Minas Gerais, bem como para avaliação dos valores de referência estabelecidos. Como resultados, pode-se perceber alterações nas concentrações de zinco e cádmio em determinados perfis de solos coletados, e concentrações elevadas de ferro e manganês, que excederam as de todos os demais metais analisados, sendo possível classificar os solos da sub-bacia como pertencentes às classes 1 ou 4, de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009.

Abstract:

The soil quality monitoring is a subject that has been gaining ground in the context of environmental monitoring. However, standards and guidelines for this type of monitoring in Brazil have only recently begun to be defined: CONAMA Resolution n. 420/2009, at national level, and Normative Deliberation COPAM/MG n. 166/2011, for Minas Gerais state. Therefore, this study presents analysis of geological and pedological data, land use and metals concentration levels, such as: Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb and Ni, in soils of a watershed located in the region of Zona da Mata (Minas Gerais state), comparing them with the above mentioned standards, with the objective of evaluate soil quality, classify soils in accordance with CONAMA Resolution n. 420/2009, contribute to create a Minas Gerais state soils database and evaluate the established benchmarks. The results indicate alterations in zinc and cadmium concentrations in some collected soil profiles, high concentrations of Fe and Mn, which exceeded the concentrations of all metals analyzed, being possible to classify the watershed soils profiles in class 1 or class 4, according to CONAMA Resolution n. 420/2009.

Recebido 02/2013

Aprovado 06/2013

luana.cra@gmail.com

thaisfelicori@gmail.com;

emarques@ufv.br

chagas.rj@gmail.com

Introdução

O solo é um componente do meio físico que está sujeito a contaminação em função de suas diversas formas de uso, tais como: disposição inadequada de produtos químicos; resíduos e rejeitos industriais e domésticos; uso de fertilizantes e insumos agrícolas; derramamento de óleos, graxas ou produtos químicos durante transporte; vazamento de combustíveis a partir de postos de gasolina, entre outras.

Entretanto, para que se possa definir se há ou não contaminação do solo, é necessário saber quais são os valores naturais dos diversos componentes químicos que podem estar presentes nessa camada superficial e quais os critérios a serem adotados nessa avaliação.

No Brasil, apenas recentemente constituiu-se um arcabouço legal que trata desse assunto. Em nível nacional, a Resolução no 420/2009, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Essa Resolução dispõe ainda que a avaliação da qualidade de solo, quanto à presença de substâncias químicas, deve ser efetuada com base em Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQ), a serem estabelecidos pelos Estados; de Prevenção (VP) e de Investigação (VI) (BRASIL, 2009).

O VRQ é definido como a concentração de uma substância que define a qualidade natural do solo; por VP, entende-se a concentração de valor limite de determinada substância no solo, de tal modo que este seja capaz de sustentar as suas funções principais; e por VI, a concentração de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. De forma correlata, a Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) nº 02/2010 institui no Estado de Minas Gerais o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, estabelecendo as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas (MINAS GERAIS, 2010). Mais recentemente, a Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 alterou a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 2/2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos para o Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2011).

Os valores de concentração para os metais Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Ni estabelecidos pelas normas supracitadas, além de valores de Fe e Mn, foram utilizados com o objetivo de avaliar a qualidade do solo da sub-bacia hidrográfica do córrego Palmital, localizada no município de Viçosa, inserido na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais. Procedeu-se, para tanto, a um estudo detalhado da sub-bacia, tendo sido levantados dados da geologia, pedologia e uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica.

Procedimentos Metodológicos

O presente estudo foi realizado na microbacia do córrego Palmital, sub-bacia do Ribeirão São Bartolomeu, bacia hidrográfica do Rio Doce. O córrego está localizado no município de Viçosa, inserido na mesorregião da Zona da Mata do estado de Minas Gerais. A seleção da área de estudo baseou-se no fato de que as características físicas e de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica são bastante representativas da Zona da Mata de Minas Gerais.

Para a realização do levantamento geológico e pedológico da microbacia, foi utilizada uma imagem IKONOS, com resolução espacial de 1 m, e um mapa planialtimétrico contendo curvas de nível equidistantes de 5 m e hidrografia, na escala de 1:5.000.

A geologia da bacia foi mapeada através de levantamento de campo na escala 1:10.000, pela realização de caminhamentos pelas estradas vicinais que cortam a bacia do Palmital. Nos locais em que havia afloramentos de rochas (sãs ou intemperizadas) ou de solos residuais que permitissem a identificação da rocha matriz, eram marcados pontos (utilizando GPS) e descritos o litotipo, o grau de intemperismo, a mineralogia visível a olho nu e a presença e tipo de estruturas.

Para a identificação dos solos existentes na bacia, foram elaborados um mapa de elevação e uma carta de declividade, ambos derivados de um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 10 m. Estes mapas permitiram, posteriormente, avaliar as unidades de paisagem da área estudada. Tanto o MDE quanto o mapa de elevação e a carta de declividade foram elaborados especificamente para o presente estudo. Nessa etapa, foram registradas as características morfológicas de perfis de solos e aspectos referentes à geologia, relevo, declividade, vegetação, pedregosidade, rochiosidade e drenagem dos solos. Para fins de caracterização, foram descritos 5 (cinco) perfis de solos situados em pontos representativos das unidades de paisagens identificadas na área de estudo.

Após a descrição dos solos, foram coletadas amostras dos principais horizontes dos 5 perfis, num total de 27 amostras, que foram enviadas aos laboratórios para análises físicas, químicas e mineralógicas. A coleta foi realizada em sacos plásticos devidamente identificados.

As seguintes análises foram realizadas: pH (H₂O e KCl), P, K, Ca+2, Mg+2, Al+3, H + Al, Soma de Bases Trocáveis (SB), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 (T), Índice de Saturação de Bases (V), Índice de Saturação de Alumínio (m), Matéria Orgânica (MO), Fósforo Remanescente (P-rem), Granulometria e Argila dispersa em Água (ADA). Também foi avaliada a mineralogia da fração argila, através da execução de ensaios de difratometria de raios-X; e análises químicas para determinação dos seguintes metais: Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Ni. Os métodos e equipamentos utilizados nas análises estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 Metodologia utilizada para as análises de solo

Análise	Método
pH	pH em água, KCl e CaCl ₂ – Relação 1:2,5
P, Na e K	Extrator ácido de Melich 1*
Ca ⁺² , Mg ⁺² , Al ⁺³	Extrator KCl – 1 mol.L ⁻¹
Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Ni	Extrator Nitroperclórico, espectrofotometria de emissão de plasma Perkin-Elmer Ótima 3300-DV
MO	Walkley-Black
T	Acetato de cálcio
M	Extrator KCl – 1 mol.L ⁻¹
ADA	Dispersão mecânica em agitador tipo Wagner
Granulometria	Peneiramento e sedimentação
Mineralogia	Argila natural – Raios-X

* Solução de HCl 0,05 mol.L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol.L⁻¹.

No campo, determinaram-se quais classes de solo ocorrem para cada tipo de relevo, em função da inclinação da encosta. Posteriormente, utilizando SIG, estas classes foram delimitadas para os mesmos tipos de relevo. A classificação do solo foi efetuada de acordo com EMBRAPA (2006), analisando-se os resultados dos trabalhos de campo e das análises laboratoriais e procedendo-se à extrapolação dos dados para toda a área, com o auxílio do software ArcGis 9.2.

A caracterização do uso e ocupação do solo foi obtida por meio de trabalhos de campo e da interpretação da imagem de satélite. Os trabalhos de campo tiveram como objetivo levantar os diferentes usos e ocupação do solo na sub-bacia, demarcando-se os seus limites com o auxílio de um GPS de navegação marca Garmin, modelo MAP 62S. Posteriormente, os dados coletados foram sobrepostos à imagem IKONOS da área e, por meio da junção das informações obtidas em campo e da interpretação visual da imagem de satélite no software Arcgis 9.2, foi possível determinar o uso e ocupação do solo de toda a sub-bacia.

Os resultados obtidos para os elementos Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Cr, Pb e Ni foram avaliados e comparados, quando existentes, aos Valores de Referência de Qualidade (VRQ), aos Valores de Prevenção (VP) e aos Valores de Investigação (VI) para o uso agrícola do solo estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 420/09 e pela DN COPAM n°166/2011, conforme se apresenta na Tabela 2.

Tabela 2

Valores orientadores para solos (Resolução CONAMA n° 420/2009 e DN COPAM n° 166/2011).

Substância	Resolução CONAMA 420/2010					DN COPAM 166/2011				
	Ref. de Qual.	Preven-ção	Investigação			Ref. de Qual. (*)	Preven-ção (1)	Investigação (1)		
			Agríc. APMax	Resid.	Indust.			Agríc. APMax	Resid.	IndusCt.
Cádmio	E	1,3	3	8	20	< 0,4	1,3	3	8	20
Chumbo	E	72	180	300	900	19,5	72	180	300	900
Cobre	E	60	200	400	600	49	60	200	400	600
Ferro	E	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Manganês	E	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Níquel	E	30	70	100	130	21,5	30	70	100	130
Zinco	E	300	450	1000	2000	46,5	300	450	1000	2000

Obs.: valores em mg.kg-1 de peso seco (2).

Ref. de Qual. – Referência de qualidade;

E – a ser definido pelo Estado;

Agríc. – Agrícola;

Resid. – Residencial;

Indust. – Industrial.

(1) Os Valores de Prevenção e Investigação são os estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02, de 08 de setembro de 2010. (2) Procedimentos analíticos para digestão ácida de amostras de solos para determinação de espécies metálicas por técnicas espectrométricas devem seguir as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da U.S EPA - SW-846 ou outro procedimento equivalente.

Apesar de o método utilizado para identificação desses metais não corresponder ao descrito na metodologia apresentada pela USEPA 3050b (1996), exigida pela Resolução CONAMA n° 420/2009, os autores consideram possível comparar os valores obtidos, uma vez que o método utilizado também faz uso de ácido forte para a extração das substâncias inorgânicas, que dissolve a maioria dos elementos que poderiam se tornar ambientalmente disponíveis. O método não quantifica os elementos ligados à estrutura de silicatos, como o proposto pela USEPA 3050b (1996), pois não são dissolvidos por esses procedimentos e normalmente não são móveis no ambiente.

Além disso, a partir da análise relativa aos valores VRQ, VP e VI, foi determinada a classe de qualidade para os cinco perfis analisados, de acordo com o estabelecido no Art. 12 da Resolução CONAMA n° 420/2009, em que os solos podem ser classificados em quatro classes, segundo a concentração de substâncias químicas.

Caracterização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do córrego Palmital está localizada entre os meridianos de 42°50'W e 42°52'W e entre os paralelos de 20°49'S e 20°51'S. A área de estudo compreende uma sub-bacia do córrego Palmital, com área total de 131 ha, onde estão inseridas algumas das principais nascentes do ribeirão São Bartolomeu, um dos principais mananciais que abastecem o município de Viçosa. Outra característica de interesse da bacia do Palmital e do presente estudo é o fato de que tanto as suas características físicas (relevo, geologia, pedologia e recursos hídricos) quanto os usos do solo nela existentes são representativos de diversas outras bacias existentes na Zona da Mata do estado de Minas Gerais. Assim, a metodologia aplicada ao presente estudo pode ser utilizada em diversas outras áreas da região.

Clima

Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático predominante na bacia é o tropical de altitude, com invernos secos e frios e verões quentes e úmidos. O regime pluviométrico na bacia é caracterizado por dois períodos bem distintos. O período chuvoso se estende de outubro a março, com maiores índices no mês de dezembro; e o período seco se estende de abril a setembro, com estiagem mais crítica de junho a agosto. Na Figura 1, apresentam-se dados de precipitação para o município de Viçosa durante o período de realização do presente estudo.

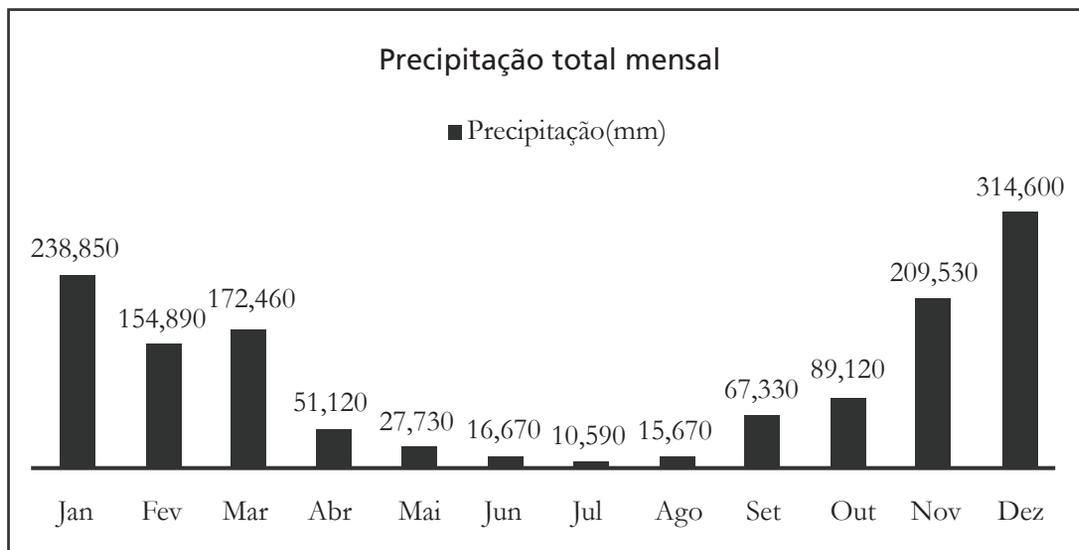


Figura 1 - Dados mensais de precipitação do período de maio a dezembro de 2009 para o município de Viçosa/MG (Fonte: ANDRADE, 2010).

Recursos Hídricos

A sub-bacia apresenta uma rede de drenagem exorreica, drenagem aberta que se destina a rios perenes e periódicos, pouco ramificada e do tipo dendrítica, que ocorre tipicamente sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas com estruturas horizontais. Os cursos d'água existentes na sub-bacia são, de maneira geral, rasos e estreitos.

Geologia

A sub-bacia do córrego Palmital está inserida em região de ocorrência de rochas do Complexo Mantiqueira, de acordo com CPRM (1991), nos quais se reúnem gnaisses bandados (biotita-gnaisses) de composição tonalítica a granito-granodiorítica, com intercalações frequentes de corpos tabulares de metabasitos (anfíbolitos). Subordinadamente ocorrem metaultrabasitos, rocha cacissilicática, metagabro e quartzito.

Estes gnaisses foram identificados, anteriormente, de acordo com BRASIL (1983), como pertencentes ao gnaiss Piedade, cuja composição foi analisada em diversas amostras relacionadas na **Tabela 3** a seguir, na qual é possível observar a predominância dos óxidos de silício e alumínio na composição de todas as amostras analisadas, seguidos pelos óxidos de ferro, cálcio, sódio e potássio. Localmente, são raros os afloramentos de rocha sã, sendo mais comuns os afloramentos de materiais em estágio mais avançado de alteração intempérica, como se observa na **Figura 2**.

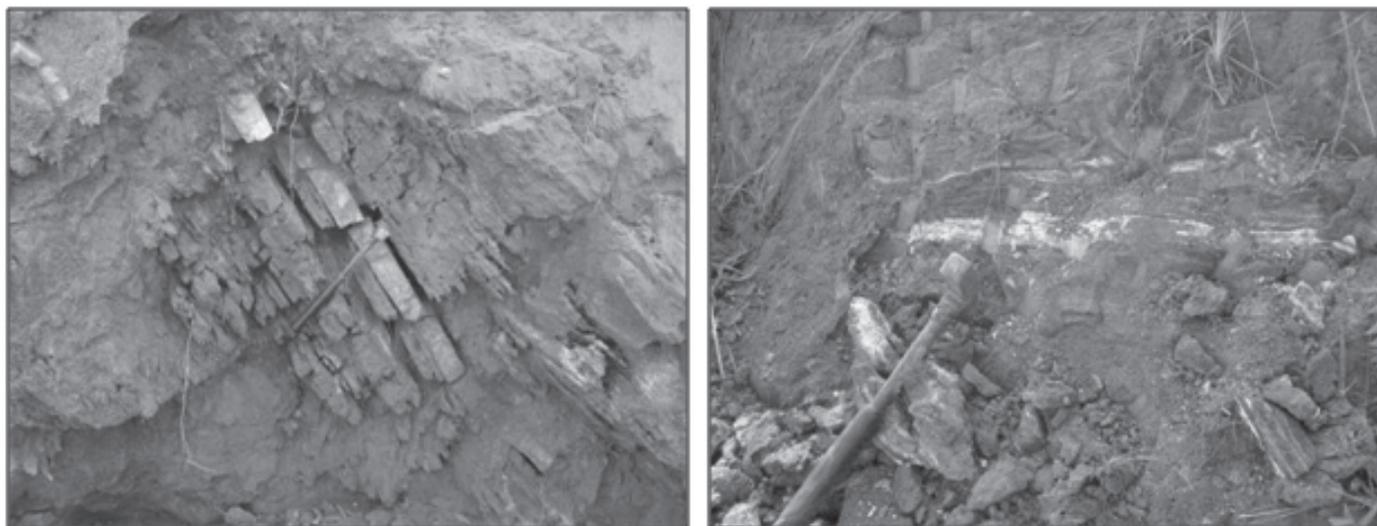


Figura 2– Exemplos de afloramentos de gnaiss encontrados na área de estudo. À esquerda, afloramento de gnaiss extremamente alterado, com nível de quartzito leitoso bem preservado, micáceo, de cor rósea, com níveis caulinizados de cor branca. À direita, corte mostrando solo residual jovem de gnaiss (SRJ).

Tabela 3 Análises químicas de rochas da unidade do Gnaiss Piedade.

Nº da amostra	105	97	36	89	90	103	34	32	98	88	
Análises químicas Elementos maiores (%)	SiO ₂	74,05	71,16	71,00	67,59	63,48	60,37	59,20	51,40	50,56	47,71
	Al ₂ O ₃	11,35	12,81	14,37	13,31	14,35	15,47	16,23	15,94	15,83	16,76
	Fe ₂ O ₃	1,85	1,85	0,25	2,25	0,77	0,44	1,56	0,44	5,48	3,34
	FeO	1,99	1,90	1,74	2,69	5,69	7,31	6,06	9,55	5,60	7,50
	MnO	0,07	0,04	0,02	0,10	0,12	0,18	0,15	0,18	0,23	0,15
	MgO	0,50	0,41	0,30	0,87	2,54	3,31	1,78	4,20	6,78	5,06
	CaO	1,25	0,63	1,16	2,33	4,15	4,41	3,80	6,29	8,55	8,44
	Na ₂ O	3,60	2,55	4,72	3,14	3,87	4,45	4,58	4,85	3,21	3,48
	K ₂ O	3,40	5,49	5,18	4,72	3,20	2,12	4,42	3,13	1,20	2,90
	TiO ₂	0,24	0,54	0,16	0,83	0,75	1,06	1,27	2,16	1,67	2,36
	P ₂ O ₅	0,03	0,06	0,16	0,25	0,20	0,14	0,35	0,60	0,22	0,96
	H ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PF	1,04	0,57	0,41	1,01	1,11	1,22	0,72	1,18	0,71	1,44
	Total	99,37	99,01	99,47	99,09	100,23	100,46	100,12	99,92	100,04	100,10
Elem. menores e Traços (ppm)	Ba	308	1334	679	1508	860	159	1415	1352	1551	2200
	Rb	66,6	168	254	136	50,8	16,1	53,9	92,7	110	124
	Sr	126	182	123	269	495	239	283	434	479	1094
	Y	9,4	43,0	10,6	28,2	22,1	80,1	79,3	59,1	19,9	18,3
	Zr	352	705	93	389	200	181	686	347	180	310

Fonte: RADAMBRASIL (1983).

Resultados e Discussão

A seguir, apresentam-se os principais resultados relevantes à avaliação da qualidade do solo obtidos no estudo realizado na sub-bacia do córrego Palmital.

Pedologia

Os trabalhos de mapeamento de campo e análises físicas e químicas dos solos permitiram a identificação das seguintes classes de solo na sub-bacia: Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo. O mapa semidetalhado dos solos da sub-bacia estudada é apresentado na Figura 3. Apesar da predominância do gnaiss, a relação existente entre a pedologia e o relevo, já observada por Edson Teramoto et al. (2001) e Nilson Bardales et al. (2007), explica as diferentes classes e características de solo existentes na sub-bacia.

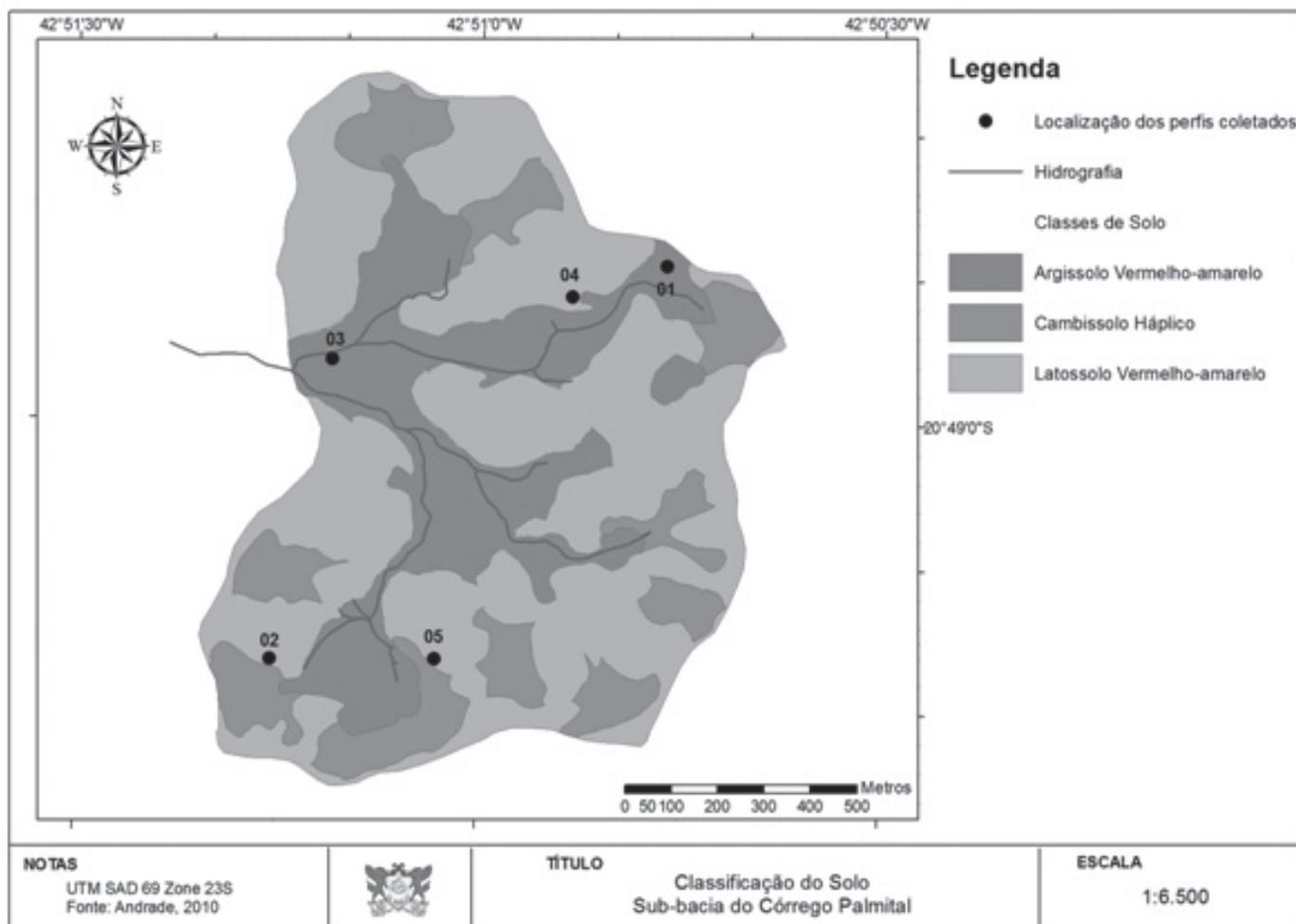


Figura 3 - Mapa semidetalhado dos solos da sub-bacia.

Uso do Solo

Os principais usos do solo detectados na sub-bacia são pastagem, mata, eucalipto, café, milho, feijão, pomar, cana-de-açúcar e taboa. A Figura 4 apresenta os usos e ocupação dos solos aliados às suas respectivas classes de solos.

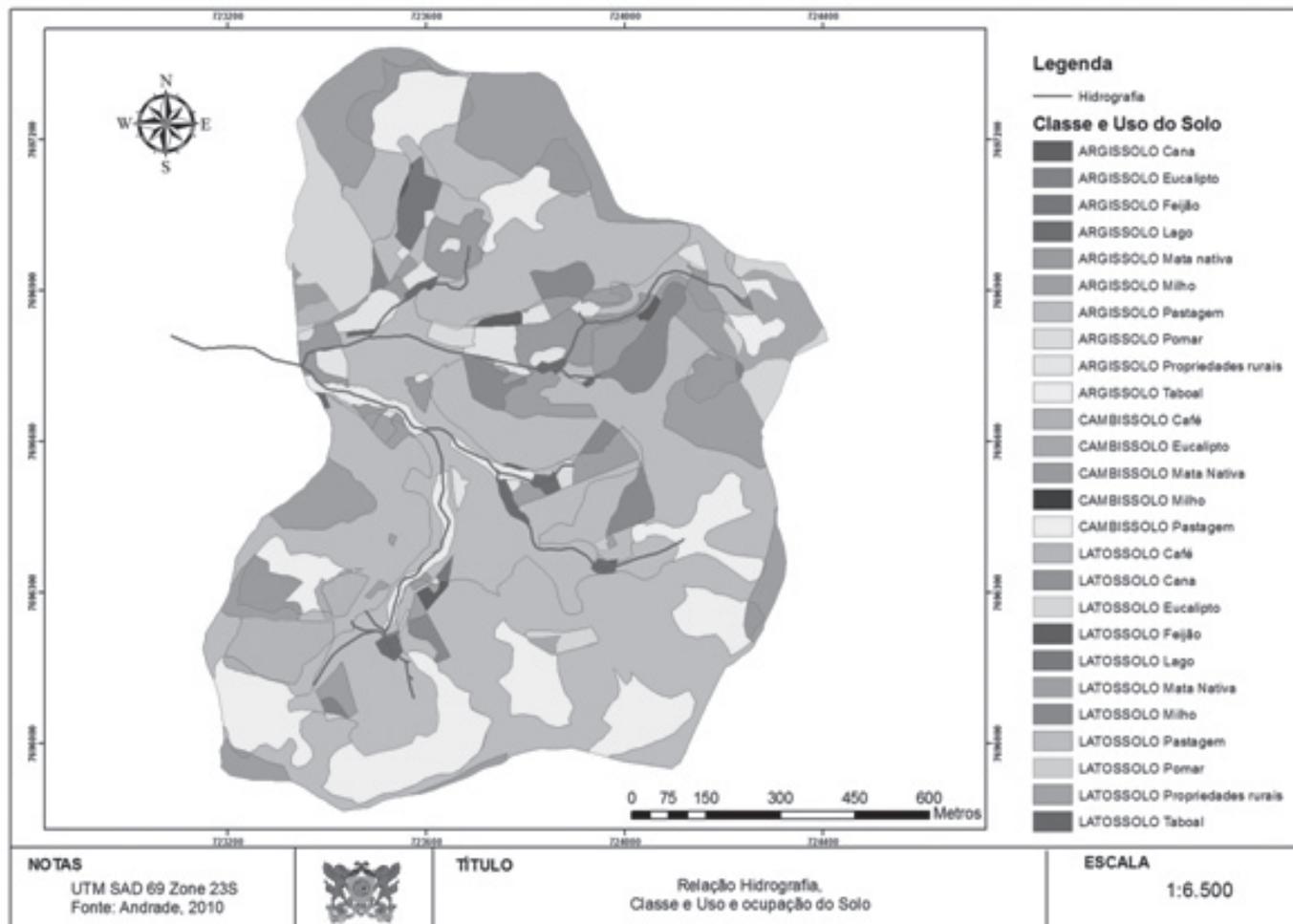


Figura 4 - Usos e ocupação do solo aliados às classes de solo

Mineralogia

Por meio da análise dos dados de mineralogia obtidos pela difratometria de raios-X, pode-se observar que os solos existentes na bacia hidrográfica apresentam apenas uma pequena quantidade de minerais primários facilmente intemperizáveis (biotita), quase ausentes nos horizontes B, sendo constituídos predominantemente por óxidos de ferro (hematita e goethita), óxidos de alumínio (gibbsita) e argilominerais do grupo 1:1 (caulinita), apresentando também uma pequena quantidade de argilominerais do grupo 2:1 (esmectita). A ocorrência desses minerais é típica de ambientes que sofreram intenso intemperismo químico. Em alguns casos, visualiza-se a hematita, mineral que tem um

alto poder pigmentante e mesmo em baixas concentrações consegue imprimir sua cor característica vermelha nos solos, de acordo com Maurício Fontes (2006). Assim, apesar de o pico característico da hematita não ter sido identificado em todas as amostras, sua presença pode ser inferida pela cor.

Vale salientar que os Latossolos se desenvolvem, especialmente, por ação das águas de infiltração, que promovem a alteração dos minerais presentes no substrato pedológico e a remoção, por lixiviação, de substâncias solúveis (principalmente bases e sílicas), deixando *in situ* substâncias menos solúveis (sobretudo ferro e alumínio) na forma oxidada, condições favoráveis para a formação de argilominerais do grupo caulínico. Os Argissolos apresentam mineralogia semelhante às observadas nos Latossolos, sendo também ricos em caulinita (SALOMÃO; ANTUNES, 1998).

Devido às características da rocha de origem (gnaisse) (Tabela 3), a mineralogia dos Cambissolos também não apresenta muita variação, caracterizando altos picos de caulinita, que é um dos resultados do intemperismo do feldspato (FONTES, 2006).

Análises dos elementos Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Ni e avaliação dos resultados obtidos

Na **Tabela 4**, são apresentados os resultados obtidos para os elementos Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Ni nos diferentes horizontes dos 5 perfis de solo coletados.

Tabela 4 **Concentração dos elementos Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Cr, Pb e Ni nos diferentes perfis de solos.**

Perfil	Horizonte	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
1	Ap (0-20 cm)	----	67,20	4,61	785,57	0,27	7,42	10,24	4,50
	BA (20-33 cm)	93240,53	75,07	3,90	278,02	0,28	6,85	6,45	3,52
	Bt1 (33-71 cm)	12964,85	36,21	5,00	127,31	0,32	7,50	7,28	4,03
	Bt2 (71-120 cm)	14278,66	6,40	4,46	19,71	0,34	8,25	7,57	4,02
	Bt3 (120-166 cm)	15947,05	10,50	3,80	---	0,38	8,33	5,44	3,09
	BC (166-200 cm)	14676,65	5,83	4,11	16,11	0,36	8,86	5,46	3,06
	BC (166-200cm)	18258,23	45,37	6,35	5,69	0,35	7,37	10,80	3,99
2	AB (22-38cm)	1779,49	36,25	6,20	5,33	0,36	6,69	10,57	3,73
	BA (38-53 cm)	19758,03	13,22	6,76	5,51	0,39	7,33	10,76	4,13
	Bw1 (53-112cm)	21688,77	10,55	6,59	5,27	0,41	7,55	10,91	4,01
	Bw2 (112-180 cm)	25288,65	3,05	7,15	5,56	0,56	8,69	12,05	4,03

Perfil	Horizonte	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
3	Ap (0-17 cm)	12170,68	149,37	6,13	6,98	0,29	11,13	4,68	3,10
	AB (17-30 cm)	13185,47	160,54	6,14	6,20	0,34	11,00	5,74	3,99
	Bt1 (30-64 cm)	20412,02	247,68	10,17	9,02	0,51	17,43	7,98	5,41
	Bt2 (64-99 cm)	22754,88	169,88	13,45	8,83	0,58	18,30	9,16	6,53
	BC (99-113 cm)	17677,24	117,62	9,81	7,28	0,48	16,05	8,38	5,42
	C (113-150 cm)	17912,92	240,83	7,63	7,21	0,47	14,68	7,18	4,89
4	Ap (0-20 cm)	18740,04	184,88	6,26	5,97	0,58	13,19	9,61	5,33
	AB (20-37 cm)	20171,04	83,61	6,18	4,98	0,54	13,39	9,02	4,33
	BA (37-52 cm)	22737,19	44,33	6,83	5,44	0,64	13,41	8,87	4,56
	Bw1 (52-96 cm)	25297,97	53,52	7,11	6,22	0,66	15,09	9,14	6,03
	Bw2 (96-135 cm)	29831,77	30,42	8,21	6,45	0,74	16,29	10,14	6,66
	BC (135-175 cm)	12125,64	11,05	5,04	4,22	0,46	10,56	6,85	5,05
5	Ap (0-32 cm)	9317,07	3,99	2,70	3,24	3,72	9,99	3,62	3,54
	BA (32-50 cm)	17318,24	0,00	5,03	3,43	1,65	10,88	3,95	3,39
	Bi (50-82 cm)	13178,42	2,57	2,71	2,46	2,28	9,71	3,21	2,63
	C (82-120+ cm)	28392,57	13,84	4,87	4,32	3,86	16,98	6,02	5,17

Obs.: Todas as unidades em (mg.Kg-1).

A Tabela 5 apresenta a relação de classe e uso de solo para cada um dos perfis analisados.

Tabela 5 **Relação entre classes e usos do solo observados nos perfis.**

Perfil	Classe de Solo	Uso do Solo
01	Argissolo Vermelho-amarelo	Pastagem
02	Latossolo Vermelho-amarelo	Café
03	Argissolo Vermelho-amarelo	Pastagem
04	Latossolo Vermelho-amarelo	Pastagem
05	Cambissolo	Pastagem

Os resultados obtidos revelam que o parâmetro zinco extrapolou o VRQ, estabelecido pela DN COPAM nº 166/2011, para os horizontes A, BA e Bt1 do perfil 1. Tal fato, por si só, não diz respeito à contaminação do solo. Para tanto, é necessário se avaliar o VP e o VI para o uso requerido, que podem ser verificados na Resolução CONAMA nº 420/2009.

Por meio dessa análise, observa-se um alerta nas concentrações de zinco para horizontes Ap e BA desse mesmo perfil. Os resultados encontrados extrapolam tanto o VP quanto o VI. Além do zinco, o parâmetro cádmio também apresentou valores que extrapolaram o VRQ, estabelecido pela DN COPAM nº 166/2011, nos horizontes Bw1 e Bw2 do perfil 2, nos horizontes Bt1, Bt2, BC e C do perfil 3 e em todos os horizontes dos perfis 4 e 5. Entretanto, só apresentou alteração na qualidade o perfil 5, podendo-se notar, para todos os horizontes, valores superiores ao VP e ao VI, estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009. Essas concentrações de zinco e cádmio podem apresentar riscos à saúde humana, caso o solo seja utilizado para fins agrícolas.

Naturalmente, os solos tropicais tendem a apresentar baixos teores de zinco e cádmio (CAIRES, 2009). Altas concentrações podem ser explicadas pela utilização de fertilizantes e corretivos. Fertilizantes fosfatados apresentam concentrações de zinco na faixa de 50 a 1.450 mg.kg⁻¹ e de cádmio de 0,1 a 170 mg.kg⁻¹ (AMARAL SOBRINHO et al., 1992).

A disposição de dejetos líquidos de suinocultura no solo como fonte de nutrientes, de acordo com os estudos de Eduardo Giroto (2007) e Nathalie Kessler et al. (2011), também pode apresentar potencial contaminante devido à elevada concentração de zinco nas rações dos animais. Os perfis 1 e 5 estão localizados em área de pastagem e o segundo está, também, próximo ao cultivo de milho (Tabela 5).

Para os parâmetros ferro e manganês, não existem padrões legais estabelecidos, pois apresentam grande variação de concentração natural nos diferentes tipos de solos. Entretanto, pode-se observar que os valores obtidos para concentração de ferro são muito superiores aos valores obtidos para os demais elementos. O mesmo ocorre com os valores de concentração de manganês, que, na maioria das vezes, são superiores aos de Cu, Zn, Cd, Cr, Pb e Ni.

Além de fatores geológicos, o pH tem influência direta na disponibilidade e mobilidade dos metais presentes no solo, principalmente no que diz respeito aos elementos Fe e Mn. De forma geral, a disponibilidade e mobilidade dos metais é maior em solos com pH mais baixo (<5,5), como é o caso da maioria dos perfis analisados.

Os valores de pH em água, medidos para todos os horizontes dos cinco perfis avaliados, variaram entre 5,03 e 6,24 para os argissolos (perfis 1 e 3); entre 4,21 e 5,57 para os latossolos (perfis 2 e 4); e entre 3,88 e 4,53 para os cambissolos (perfil 5). Dessa forma, pode-se afirmar que o pH pode ter influenciado nos altos valores encontrados para os elementos Fe e Mn.

Os baixos valores de pH encontrados, além de interferir na disponibilidade dos metais, podem, ainda, ter contribuído para aumentar a mobilidade e lixiviação desses elementos para horizontes mais profundos (acumulação supergênica), fato que pode ser verificado ao se analisar a variação da concentração dos metais ao longo dos horizontes nos perfis de solo avaliados. Nota-se, principalmente no perfil 5, onde os valores de pH foram os mais baixos (pH<4,53), o aumento da concentração dos diferentes metais à medida que se aumenta a profundidade.

Com relação à classe de qualidade, de acordo com o disposto na Resolução CONAMA nº 420/2009, os Argissolos e os Cambissolos dos perfis 1 e 5, respectivamente, podem ser classificados, em relação ao seu conteúdo de metais, como Classe 4, ou seja, solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI. Todos os demais horizontes desses solos e o Cambissolo são caracterizados como sendo pertencentes à Classe 1.

Conclusões

Os resultados obtidos pelo estudo permitem concluir que:

- a maioria dos parâmetros analisados – Cu, Pb, Cr e Ni – apresentou concentrações dentro das faixas de VRQ, estabelecidas pela DN COPAM nº 166/2011;
- apesar de não existirem valores de referência de qualidade para os parâmetros Fe e Mn, as concentrações desses elementos demonstram-se bastante superiores aos demais elementos, que podem ter influência da geologia local e dos baixos valores de pH encontrados;
- os parâmetros Zn e Cd, apresentaram valores superiores ao VRQ e ao VP para uso agrícola, devido à provável influência das atividades agropecuárias desenvolvidas na microbacia; e
- por fim, os perfis 1 e 5 podem ser classificados como Classe 4 e os perfis 2, 3 e 4 como Classe 1, segundo a Resolução CONAMA nº 420/2009.

Acredita-se que, com os dados geológicos, pedológicos, mineralógicos, de uso e ocupação do solo apresentados e de concentração de diferentes metais – Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Ni – de uma bacia hidrográfica localizada na Zona da Mata de Minas Gerais, possa-se contribuir significativamente para a formação de um banco de dados que irá auxiliar em estudos de avaliação da qualidade do solo nessa região.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, ao CNPq e à CAPES pelo auxílio financeiro ao projeto.

Referências bibliográficas

- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 16: 271-276, 1992.
- ANDRADE, L. C. R. Estudo da influência do meio físico e das atividades antrópicas na qualidade da água na sub-bacia do córrego Palmital – Viçosa/MG. 2010. 151 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia Ambiental) – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, 2010.
- BARDALES, N. G.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; MELO, A. W. F. de; ARAÚJO, E. A.; ROSADO, J. F. Uso de Imagens STRM na elaboração de mapa de solos na região do vale do baixo Rio Iaco, Acre, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2007. Gramado. Anais... Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1 CD-ROM.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>>. Acesso em: nov. 2012.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral - Projeto
- RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. 1983. Rio de Janeiro/Vitória, v. 32.
- CAIRES, S. M. Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade, 2009, 304 p (Tese de Doutorado). UFV, Viçosa.
- CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Programa Levantamentos

- Geológicos do Brasil – Folha Rio Espera - SF.23-X-B-IV, CPRM, 1991.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- EPA. United States Environment Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion Of Sediments, Sludges, And Soils. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/waste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em: dez. 2009.
- FONTES, M. P. F. Mineralogia dos solos. Notas de aula, Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- GIROTTTO, E. Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquido de suínos. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2007.
- KESSLER, N. C. H.; PASSARIN, O. M.; LUCAS, S. D. M.; SAMPAIO, S. C. Análise preliminar do comportamento do zinco no solo e no milho (*Zeamayz* L.) sob aplicação de água residuária da suinocultura. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 2, 2011. Foz do Iguaçu, PR. Anais... Foz do Iguaçu: II SIGERA, 2011.
- MINAS GERAIS. COPAM/CERH N° 02, de 08 de setembro de 2010. Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?>>. Acesso em: 15 nov. 2012.
- MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa N° 166, de 29 jun. 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH N° 2, de 6 set. 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414>>. Acesso em: 10 abr. 2012.
- SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F. S. Solos em pedologia. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (edit.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998. p. 87-101.
- TERAMOTO, E. R.; LEPSCH, I. F.; VIDAL-TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do ribeirão Marins (Piracicaba - SP). Sci. agric. [online], v. 58, n. 2, p. 361-371, 2001.