

# SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

## ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE SOLOS DO BIOMA CERRADO<sup>(1)</sup>

J. B. V. GOMES<sup>(2)</sup>, N. CURI<sup>(3)</sup>, P. E. F. MOTTA<sup>(4)</sup>, J. C. KER<sup>(5)</sup>,  
J. J. G. S. M. MARQUES<sup>(6)</sup> & D. G. SCHULZE<sup>(7)</sup>

### RESUMO

Com o intuito de avaliar diferenças de comportamento entre solos das superfícies geomórficas Sul-Americana e Velhas da região dos Cerrados, todos sob uso atual de cobertura vegetal nativa, foram realizadas caracterizações físicas, químicas e mineralógicas, bem como feitas análises de componentes principais desses atributos. Com os solos referenciados por sub-região e pela superfície geomórfica que representam, três agrupamentos foram constituídos: Grupo 1: solos de textura argilosa a muito argilosa e hipo a mesoférricos; Grupo 2: solos de textura média a arenosa e hipoférricos; e Grupo 3: solos de textura argilosa a muito argilosa e férricos. A retenção de água dos horizontes superficiais dos solos estudados foi positivamente correlacionada com os teores de argila e carbono orgânico. Os solos do Grupo 3 apresentaram a maior oferta de bases trocáveis dos horizontes superficiais, o que foi relacionado, em grande parte, com a maior reciclagem imposta pela formação florestal local, quando comparada à da formação de cerrado, presente em 31 dos 33 perfis de solos dos Grupos 1 e 2. O Grupo 3, diferenciado pelos elevados teores de Fe herdados do material de origem, é o grupo mais homogêneo em termos mineralógicos, com todos os perfis hematíticos. Os Grupos 1 e 2 apresentam sobreposição de composição mineralógica, sendo o Grupo 1, em termos médios, mais gibbsítico do que o Grupo 2. A maior eficácia do Sistema Brasileiro de Classificação de

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebida para publicação em setembro de 2002 e aprovado em outubro de 2003.

<sup>(2)</sup> Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Av Beira-Mar 3250, CEP 49025-040 Aracaju (SE). E-mail: bosco@cpatc.embrapa.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: niltcuri@ufla.br

<sup>(4)</sup> Pesquisador da Embrapa Solos. Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: motta@cnps.embrapa.br

<sup>(5)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG) E-mail: jcker@solos.ufv.br

<sup>(6)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: jmarques@ufla.br

<sup>(7)</sup> Professor, Agronomy Department, Purdue University, 47907-1150 West Lafayette-IN, USA. E-mail: dschulze@purdue.edu

**Solos, relativamente ao Soil Taxonomy, em discriminar os solos estudados é resultante do uso do caráter férrico concomitantemente a outros atributos comuns aos dois sistemas. A análise de componentes principais auxiliou no entendimento das diferenças e similaridades dos ambientes pedológicos separados no campo.**

**Termos de indexação: Latossolos, Neossolos Quartzarênicos, superfícies geomórficas.**

**SUMMARY: PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS OF PHYSICAL, CHEMICAL, AND MINERALOGICAL ATTRIBUTES OF THE CERRADO BIOME SOILS**

*Behavior differences between soils of the South-American and Velhas geomorphic surfaces of the Cerrado region, all of them under native vegetation cover, were evaluated by physical, chemical, and mineralogical characterizations, and principal component analyses. According to their sub-region and geomorphic surfaces, the soils were separated in three groups: 1. clayey to very clayey texture, low- and mesoferric; 2. medium to sandy texture, lowferric; 3. clayey to very clayey texture, ferric. Water retention in the surface horizons of the studied soils was positively correlated with the clay and organic carbon contents. Soils of Group 3 showed the greatest amount of exchangeable bases in the surface horizons, which is mainly a consequence of the greater recycling efficiency imposed by the local forest formation when compared to the Cerrado formation (verified in 31 of the 33 soil profiles of Groups 1 and 2). Soils of Group 3, formed from mafic rocks, were the most homogeneous in mineralogical terms, since all profiles were hematitic. In averages, Groups 1 and 2 presented an overlapping mineralogical composition, though Group 1 is more gibbsitic than Group 2. In comparison to the US Soil Taxonomy, the efficacy of the Brazilian Soil Classification System at discriminating the studied soils is higher owing to the use of the ferric character in conjunction with the other attributes both systems have in common. The principal component analysis supported the understanding of the pedologic environment differences and similarities identified in the field.*

*Index terms: Latosols, Oxisols, Quartzarenic Neosols, Entisols, geomorphic surfaces.*

## INTRODUÇÃO

As superfícies geomórficas da região dos Cerrados, produtos de múltiplos ciclos de erosão (Bigarella & Andrade, 1965), representam paisagens de grande relevância dentro da atual produção brasileira de grãos. Essas superfícies correspondem àquelas geradas pelos ciclos geomorfológicos Sul-Americano e Velhas (King, 1956; Braun, 1970) e dominam toda a área dos Cerrados, que, por sua vez, abrange, aproximadamente, 25 % do território brasileiro, ou seja, em torno de  $200 \times 10^6$  ha (Adámoli et al., 1985).

A fitofisionomia dessas superfícies corresponde às diferentes formações de cerrado (savânicas e campestres) e áreas bem menos expressivas de florestas subcaducifólias e de galeria. O fator determinante da distribuição do cerrado é a sazonalidade do clima, com período chuvoso na maior parte da região entre outubro e março. Sua ocorrência, em comparação com as outras fisionomias competitivas, as florestas, depende mais dos fatores

ambientais locais: topografia e drenagem (posição do solo na paisagem), status de nutrientes no solo e histórico de fogo da área (Eiten, 1972; Furley, 1999).

Considerando apenas os remanescentes mais extensos e menos dissecados dessas superfícies, os solos restringem-se basicamente aos Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, os quais são descritos genericamente como profundos, pobres em nutrientes, praticamente sem minerais primários facilmente intemperizáveis e com relevo plano a suave ondulado. Apesar da aparente homogeneidade, o detalhamento desse universo é uma necessidade comprovada pela variabilidade química, física e mineralógica desses solos (Ker & Resende, 1996). Evitar a degradação de terras produtivas e avançar em aspectos específicos de qualidade dos solos são demandas que se relacionam com o aumento do comprometimento sobre a diferenciação de atributos dos solos nos seus respectivos ambientes naturais.

A análise de componentes principais (ACP) é um método de ordenação com grande tradição nos

estudos de ecologia florestal. Na atualidade, é mais utilizada para a síntese de dados ambientais, ou seja, na ordenação de sítios a partir de variáveis ambientais (Kent & Coker, 1992). Como exemplo de seu uso com variáveis de solo, podem-se citar os estudos com padrões regionais de diferenciação de solos na Amazônia colombiana (Lips & Duivenvoorden, 1996), regime de nutrientes em diferentes solos florestais de uma costa montanhosa do Canadá (Splechtna & Klinka, 2001), relações entre propriedades abióticas e bióticas do solo durante períodos de pousio no Senegal (Manlay et al., 2000) e a ocorrência da macaúba em Minas Gerais, relacionada com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais (Motta et al., 2002c).

O objetivo do presente estudo foi caracterizar e comparar Latossolos e Neossolos Quartzarênicos das superfícies Sul-Americana e Velhas, que representam as terras associadas à produção de grãos da região dos Cerrados, permitindo a distinção mais detalhada das paisagens sob condições naturais (uso atual de cobertura vegetal nativa), tendo-se em mente que, em várias áreas, principalmente nas chapadas, os remanescentes de vegetação nativa estão desaparecendo rapidamente.

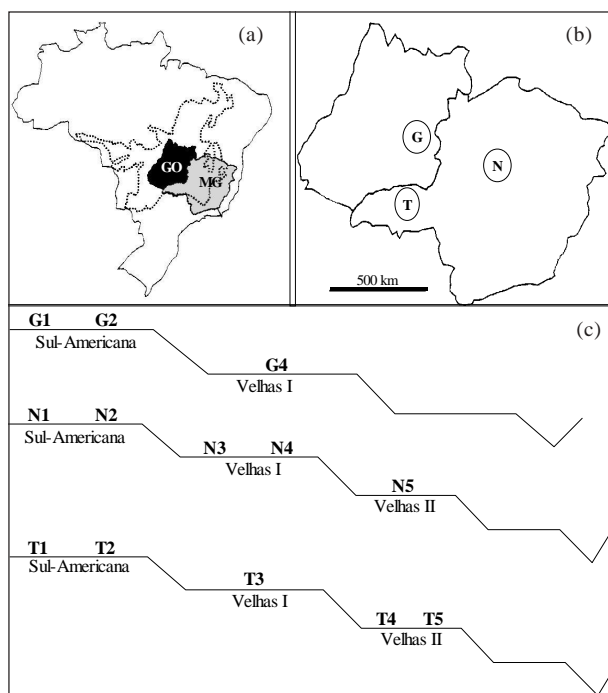
## MATERIAL E MÉTODOS

### Sub-regiões e amostragem

A amostragem foi realizada em três sub-regiões, Leste de Goiás (G), Noroeste de Minas (N) e Triângulo Mineiro (T), considerando a repetibilidade das superfícies geomórficas (Figura 1). Os solos amostrados correspondem às posições de paisagem com maior amplitude em cada superfície, o que coincide com posições de topo a média encosta e áreas de elevado aproveitamento agrícola (Figura 1C). Amostraram-se três repetições, todas sob cobertura vegetal nativa, de 13 posições na paisagem, totalizando 39 perfis de solo.

O clima dominante da região dos Cerrados é Aw na classificação de Köppen, caracterizado pela temperatura do mês mais frio acima de 22 °C e pela precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm (Adámoli et al., 1985; Resende et al., 1996). Dentro das sub-regiões G e T, quando acima de 1.000 m de altitude, o clima é do tipo Cwa, que difere de Aw pela média de temperatura do mês mais frio inferior a 18 °C, ocorrendo áreas de Cwb em T, com temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C. Para as três sub-regiões os meses com deficiência hídrica são os de maio a setembro, ocorrendo uma progressiva severidade do clima estacional a partir da sub-região T, passando por G, para N (EPAMIG, 1982; Freitas & Blancaneaux, 1998; Marques, 2000).

O perfil de cada solo representativo foi descrito em trincheira, segundo Lemos & Santos (1996), sendo a amostragem realizada em duas profundidades (0-0,2 e 0,8-1,0 m), totalizando 78 amostras. Cada amostra representa um horizonte diagnótico, superficial ou subsuperficial, de cada pedon, estando representada por um código de quatro caracteres: (a) letras G, N e T, correspondendo às sub-regiões já indicadas; (b) números 1-5, que representam diferentes posições na paisagem (Figura 1c); (c) letras A, B e C, que representam as três repetições de cada posição na paisagem de cada sub-região; e (d) números 1 e 2, respectivamente, horizontes, diagnótico superficial (horizonte A) e subsuperficial (horizontes Bw, no caso de Latossolos, e C, no caso de Neossolos Quartzarênicos). O código, além do formato por amostra (por exemplo, N1C1), pode aparecer de forma parcial, referindo-se a uma posição na paisagem de determinada sub-região (por exemplo, N1) ou a um perfil específico (por exemplo, N1C).



**Figura 1. A. Mapa do Brasil, mostrando a região dos Cerrados e os estados de Goiás (GO) e Minas Gerais (MG). B. Mapa dos estados de Goiás e de Minas Gerais, mostrando a localização aproximada das três áreas de estudo: leste de Goiás (G), noroeste de Minas Gerais (N) e Triângulo Mineiro (T). C. Esquema mostrando as diferentes posições de amostragem (código dos perfis de solo), conforme a superfície geomórfica e a área de estudo. A distância horizontal em C está fora de escala entre as áreas e varia de dezenas a centenas de km (adaptado de Marques, 2000).**

## **Análises de solos**

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Para as extrações com oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) e para as análises de difração de raios-X (DRX) e análise térmica diferencial (ATD), foram separadas amostras de argila a partir da TFSA por sedimentação após dispersão com NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1997).

As análises físicas e químicas seguiram, de forma geral, as recomendações da EMBRAPA (1997). Na TFSA, foram determinados granulometria, curva de retenção de água, Al, Ca e Mg trocáveis, acidez potencial (Al + H), K e Na trocáveis, pH em água, pH em KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e carbono orgânico. Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC) e as saturações por bases (V) e por Al (m). As determinações de Fe, Al, Ti, P e Si foram obtidas após tratamento da TFSA com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 (volume). Para as amostras dos perfis T4A e T5A, influenciadas pelo basalto, as últimas extrações foram também realizadas na fração argila. As relações moleculares SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Ki), SiO<sub>2</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (Kr) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foram calculadas. O Fe também foi determinado na fração argila por espectrometria de absorção atômica, de acordo com os processos de extração do DCB (Mehra & Jackson, 1960) e do oxalato ácido de amônio (Schwertmann, 1964).

Foram confeccionadas lâminas para a DRX da fração argila desferrificada com DCB (Mehra & Jackson, 1960) e da tratada com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup> para concentrar óxidos de Fe (Kämpf & Schwertmann, 1982b). Nas amostras concentradas de ferro para a DRX, a halita foi adicionada como padrão interno, objetivando corrigir a posição das reflexões dos diferentes minerais. Foram realizadas medidas, visando determinar a proporção de hematita (Hm) e goethita (Gt), por meio da razão entre as áreas dos picos 012 da Hm e 110 da Gt (Kämpf & Schwertmann, 1982a) e da substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura da Gt (Schulze, 1984) e da Hm (Schwertmann et al., 1979). Observou-se que a maghemita (Mh), quando presente, foi constatada pela presença de sua reflexão 220 e seu teor foi estimado a partir das relações estabelecidas por Costa et al. (1999) entre a susceptibilidade magnética da terra fina, a susceptibilidade magnética da argila e a Mh na fração argila. O grau de substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura da Mh foi calculado a partir do tamanho de sua célula unitária na dimensão a, calculada a partir da reflexão 220, conforme estabelecido por Schwertmann & Fechter (1984). A quantificação da mineralogia da fração argila foi realizada a partir das razões obtidas dos difratogramas e da alocação dos valores dos óxidos de Si, Al, Fe e Ti do ataque sulfúrico, método adaptado de Resende et al. (1987).

## **Análise de componentes principais**

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada para diferentes grupos de variáveis e baseada na matriz de correlação dessas variáveis, com o uso do programa PC-ORD 4.0 (McCune & Mefford, 1999). Para cada ACP, foi construído o círculo de autovetores das variáveis e o diagrama de ordenação das amostras, horizontes diagnósticos dos perfis de solos, para os dois primeiros componentes, representados pelos eixos x e y (respectivamente, primeiro e segundo eixo). No diagrama de ordenação, desenhou-se uma elipse da área de segurança (coeficiente de 0,95) do conjunto de amostras de cada agrupamento de solos. A probabilidade de que os valores caiam dentro da área marcada pela elipse é função do valor do coeficiente que controla o tamanho da elipse (StatSoft, 1997).

Em uma matriz original de dados, cada sítio tem um valor para cada variável ambiental. Na ACP, cada sítio tem um valor para cada componente. Esses componentes podem ser vistos como “super-variáveis”, contruídas pela combinação da correlação entre as variáveis e são extraídos em ordem decrescente de importância em termos de sua contribuição para a variação total dos dados. Autovetor é o valor que representa o peso de cada variável em cada componente (eixos) e funciona como coeficientes de correlação que variam de -1 até +1. As variáveis com elevado autovetor no primeiro eixo tendem a ter autovetor inferior no segundo eixo. Autovalor é o valor que representa a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados. Existe um autovalor para cada componente. Matematicamente, o processo de extrair mais eixos pode ir até o número de eixos ou componentes igualar-se ao número de variáveis, porém os eixos posteriores vão contribuir cada vez menos para explicar os dados (Kent & Coker, 1992). Na maioria dos estudos, como no caso presente, usam-se apenas os dois primeiros eixos, considerados suficientes para explicar os dados e pela facilidade de interpretação de um gráfico em duas dimensões.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Agrupamento dos solos e informações da posição na paisagem**

O quadro 1 apresenta os solos das diferentes posições da paisagem, agrupados pela textura e teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do ataque sulfúrico (hipoférrico: teores < 8 %, mesoférrico: teores variando de 8 a < 18 %; e férrico: teores de 18 a < 36 %, conforme EMBRAPA, 1999), associando essas informações com a classificação desses solos e outras características ambientais locais.



**Quadro 1. Informações ambientais de cada sub-região agrupadas pela textura e teor de  $Fe_2O_3$  do ataque sulfúrico dos solos**

Sub-região/código do perfil	Posição na paisagem	Classificação <sup>(1)</sup>	Textura	Vegetação nativa	Declive cm m <sup>-1</sup>	Altitude m
Grupo 1: Solos de textura argilosa a muito argilosa e hipo a mesoférricos (21 perfis)						
Leste de Goiás: G1A, G1B e G1C	Topo da chapada (Sul-Americana)	LVw	argilosa	Cerrado	1	990-1.130
Leste de Goiás: G2A, G2B e G2C	Topo a terço médio de encosta da chapada (Sul-Americana)	LAW ou LVAd	argilosa e muito argilosa	Cerrado	1-2	990-1.080
Leste de Goiás: G4A, G4B e G4C	Terço médio de encosta da superfície Velhas I	LVd ou LVwf	argilosa e muito argilosa	Floresta tropical subcaducifólia e Cerrado	4	860-950
Noroeste de Minas: N1A, N1B, N1C	Topo central da chapada (Sul-Americana)	LVd	argilosa	Cerrado	1	900-920
Noroeste de Minas: N2A, N2B e N2C	Topo da chapada (Sul-Americana)	LVAd	argilosa	Cerrado	1	880-930
Triângulo Mineiro: T1A, T1B e T1C	Topo central da chapada (Sul-Americana)	LVd	argilosa	Cerrado	1	920-940
Triângulo Mineiro: T2A, T2B e T2C	Topo da chapada (Sul-Americana)	LVAd	muito argilosa	Cerrado	1	970-980
Grupo 2: Solos de textura média a arenosa e hipoférricos (12 perfis)						
Noroeste de Minas: N3A, N3B, N3C	Terço médio de encosta da superfície Velhas I	LAdp	média	Cerrado	0-3	830-840
Noroeste de Minas: N4A, N4B, N4C	Terço médio a inferior de encosta de segunda superfície	RQo	arenosa	Cerrado	2-4	750-770
Noroeste de Minas: N5A, N5B, N5C	Terço superior a médio de encosta da superfície Velhas II	LVd	média	Cerrado	1-2	530-580
Triângulo Mineiro: T3A, T3B e T3C	Topo a terço superior de encosta da superfície Velhas I	LVdp	média	Cerrado	1	710-820
Grupo 3: Solos de textura argilosa a muito argilosa e férricos (6 perfis)						
Triângulo Mineiro: T4A, T4B e T4C	Topo a terço superior de encosta da superfície Velhas II	LVdf ou LVwf	argilosa e muito argilosa	Floresta tropical subcaducifólia	1-4	510-525
Triângulo Mineiro: T5A, T5B e T5C	Topo a terço superior de encosta da superfície Velhas II	LVdf ou LVwf	muito argilosa	Floresta tropical subcaducifólia	1-3	540-560

<sup>(1)</sup> Classes de solo: 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> níveis categóricos: LA = Latossolo Amarelo, LV = Latossolo Vermelho, LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo e RQ = Neossolo Quartzarênico; 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> níveis categóricos: w = ácrico típico, wf = acriférrico típico, df = distrófico típico, dp = distrófico psamítico, d = distrófico típico e o = órtico típico.

O Grupo 1 engloba todos os perfis de solos localizados na superfície Sul-Americana (primeira superfície). Os solos desenvolvidos na primeira superfície são considerados genericamente originados de sedimentos argilosos (alóctones) de origem desconhecida (Braun, 1970; Motta et al., 2002b). A posição G4, localizada na superfície Velhas I (segunda superfície), também se agrupa a

esses perfis, apresentando duas de suas repetições atração magnética. Essa atração, embora discreta, refletiu, para uma das repetições, um valor mais elevado de  $Fe_2O_3$  do ataque sulfúrico, em comparação com os demais solos deste grupo. Admitiu-se que parte dos solos vermelhos da posição G4 pode ser considerada influenciada por materiais máficos.

Os solos do Grupo 2 da superfície Velhas I (segunda superfície) são influenciados por arenitos do Cretáceo, Formação Areado em N e Grupo Bauru em T. A inclusão da posição N5 neste Grupo se deve ao fato de que mesmo estando na superfície Velhas II (terceira superfície), encontra-se localmente influenciada pelas escarpas de material arenoso da Formação Areado, que bordejam a depressão Sanfranciscana (terceira superfície de aplainamento) (Motta et al., 2002b).

No Grupo 3 (posições T4 e T5), os solos são formados basicamente a partir da alteração de basaltos da Formação Serra Geral.

## Horizontes superficiais

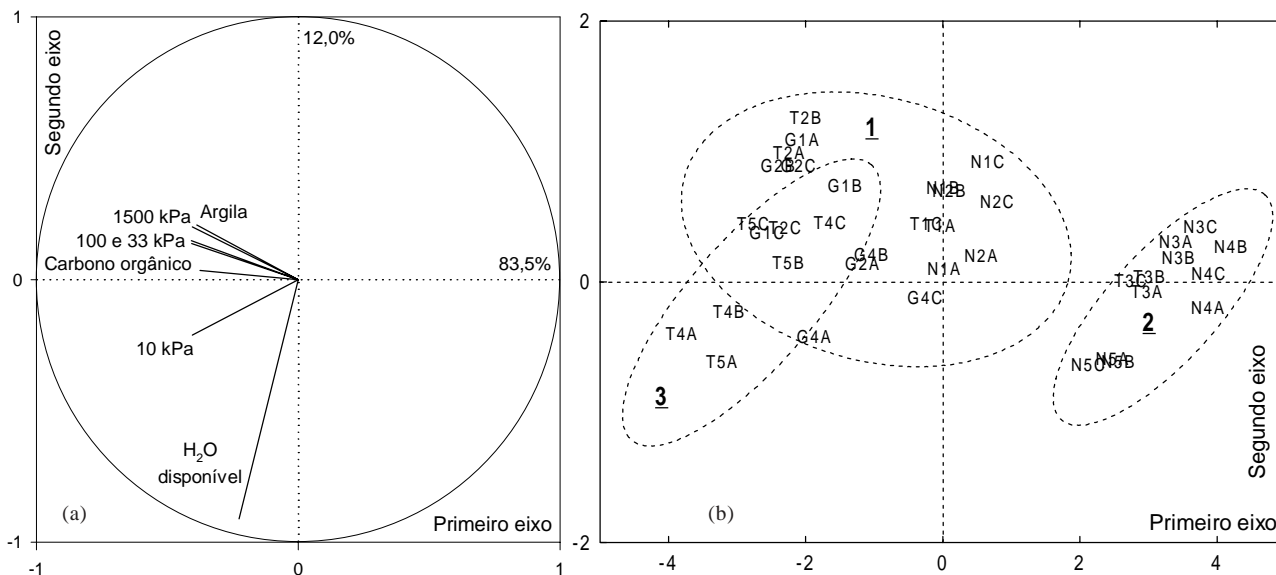
### Retenção de água e variáveis relacionadas

Com o primeiro eixo da ACP, explicando 84 % da variação dos dados, observa-se uma grande sobreposição dos efeitos entre as variáveis argila, carbono orgânico e água retida a diferentes tensões (Figura 2). A água disponível fica responsável pelas variações ao longo do segundo eixo, que são consideradas como de pequeno significado (Figura 2a). As correlações positivas entre o teor de carbono orgânico e o teor de argila e entre o teor de carbono orgânico e a retenção de água de solos de argila de atividade baixa, observadas por Feller & Beare (1997), concordam com a dispersão dos solos na ACP da figura 2b. O Grupo 2 está isolado à direita

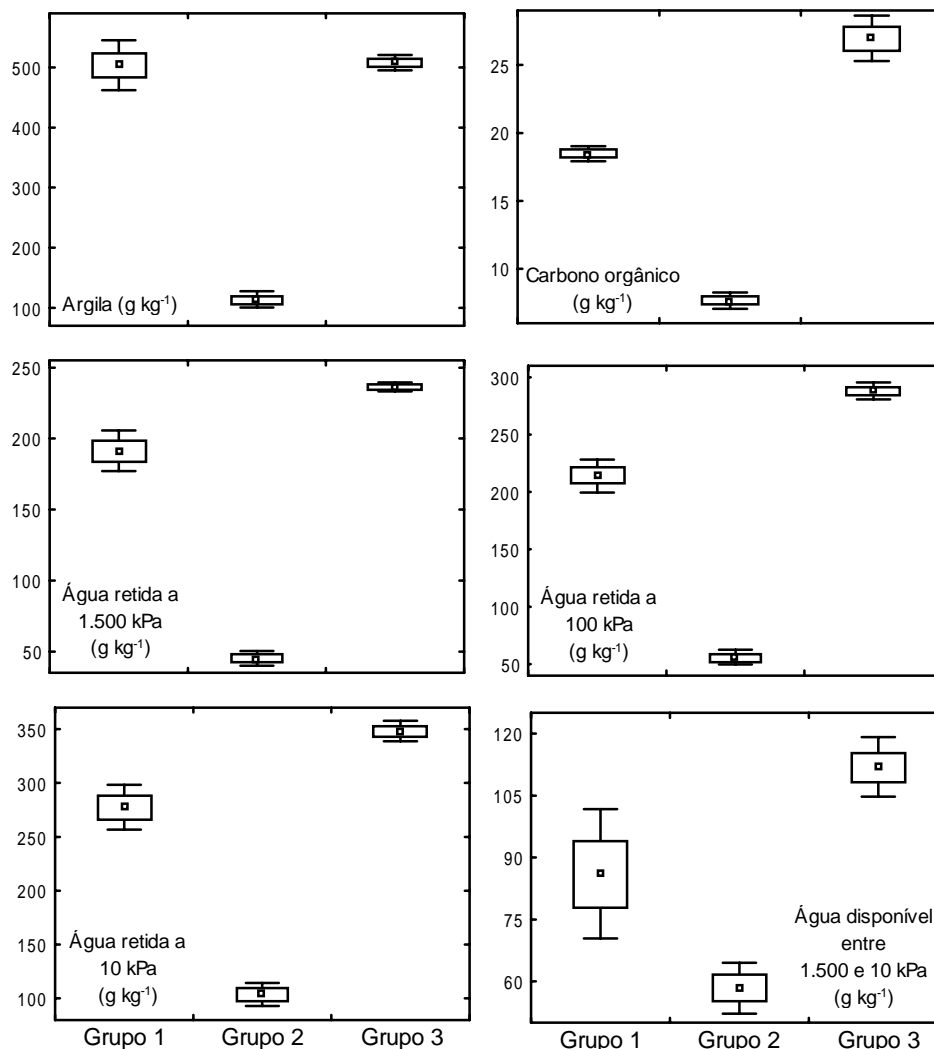
do diagrama de ordenação, consequência lógica da textura mais grosseira dos seus solos.

Os Grupos 1 e 3 apresentam considerável sobreposição de comportamento. A posição mais à esquerda (negativa) da elipse do Grupo 3 relativamente à do 1 (Figura 2b) é relacionada com os maiores valores de carbono orgânico e água retida a diferentes tensões, uma vez que os teores médios de argila dos dois grupos são semelhantes (Figura 3). Comparando as fisionomias cerrado (19 dos 21 solos do Grupo 1) e floresta (total dos solos do Grupo 3), a segunda acumula mais carbono orgânico no solo, seja pela composição de seus tecidos, seja pelo sombreamento que a própria fisionomia provoca no solo (Eiten, 1972).

Outro fator que deve ser considerado é a elevada frequência do fogo na vegetação de cerrado (Furley, 1996), seja de origem antropogênica (contemporânea ou indígena pré-colonização) seja natural (ação de raios). As diferenças dos teores médios de carbono orgânico da camada superficial dos solos e, conseqüentemente, de retenção de água, estão associadas às diferenças de textura de áreas bem drenadas da região dos Cerrados. Entretanto, a relação de causa e efeito é mais complexa e aleatória do que se pode imaginar à primeira vista. As diferenças podem ser magnificadas pela maior proporção de matéria orgânica particulada (fração lábil derivada da vegetação) de solos de textura mais grosseira (Neufeldt et al., 2002), onde os eventos de fogo seriam potencialmente mais drásticos.



**Figura 2. Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com a retenção de água pelo solo para as 39 amostras de horizontes superficiais analisadas. (a) Círculo de autovetores das variáveis (1.500 kPa = água retida a 1.500 kPa; 100 kPa = água retida a 100 kPa; 33 kPa = água retida a 33 kPa; 10 kPa = água retida a 10 kPa; H<sub>2</sub>O disponível = água disponível entre 1.500 kPa e 10 kPa); (b) Plano de elipses e dispersão de pontos dos grupos de perfis de solos. Pontos como códigos de cada perfil. Elipses: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipó a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.**



**Figura 3. Médias, erro-padrão (box) e intervalo de confiança (erro-padrão  $\times$  1,96) de variáveis relacionadas com a retenção de água pelo solo para as amostras de horizontes superficiais dos grupos de perfis de solo: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.**

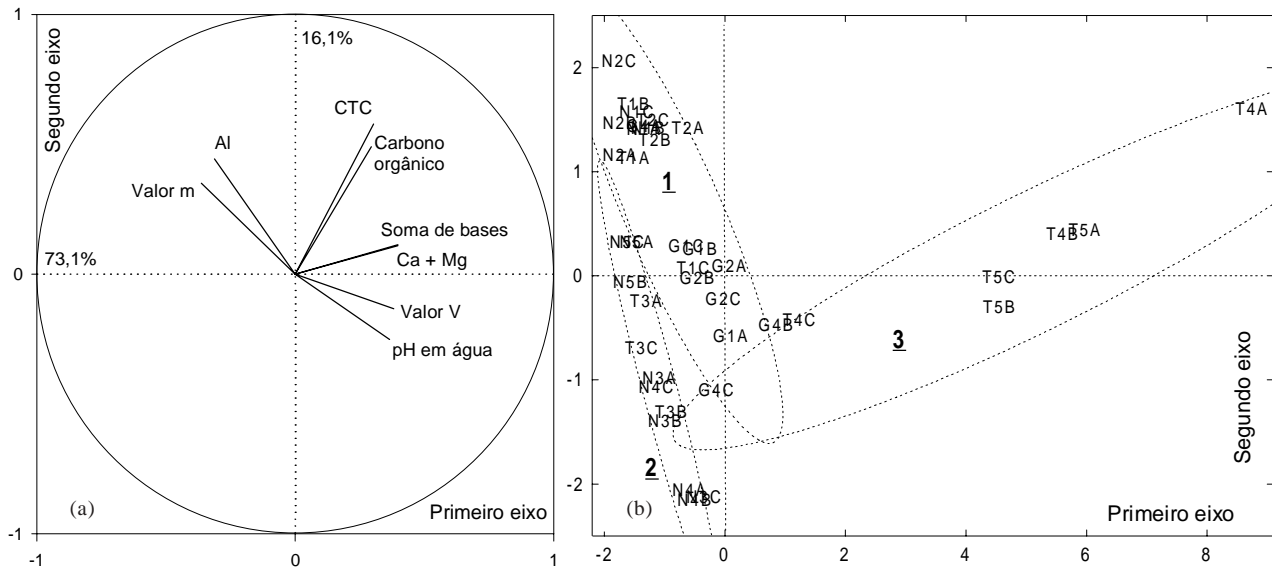
### Oferta de nutrientes

O primeiro eixo da ACP apresenta forte influência de SB,  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , valor V e pH em água, nessa ordem, com autovetores positivos, e valor m e  $\text{Al}^{3+}$ , com autovetores negativos (Figura 4a). O segundo eixo serve para realçar diferenças de CTC e carbono orgânico e, até certo ponto, de  $\text{Al}^{3+}$  e de valor m, dentre os diferentes grupos. No diagrama de ordenação (Figura 4b), o Grupo 3, mesmo variando muito ao longo do primeiro eixo, posiciona-se sempre mais à direita que os dois outros grupos, o que está relacionado com a maior oferta de bases trocáveis e menores valores de  $\text{Al}^{3+}$  (Figura 5).

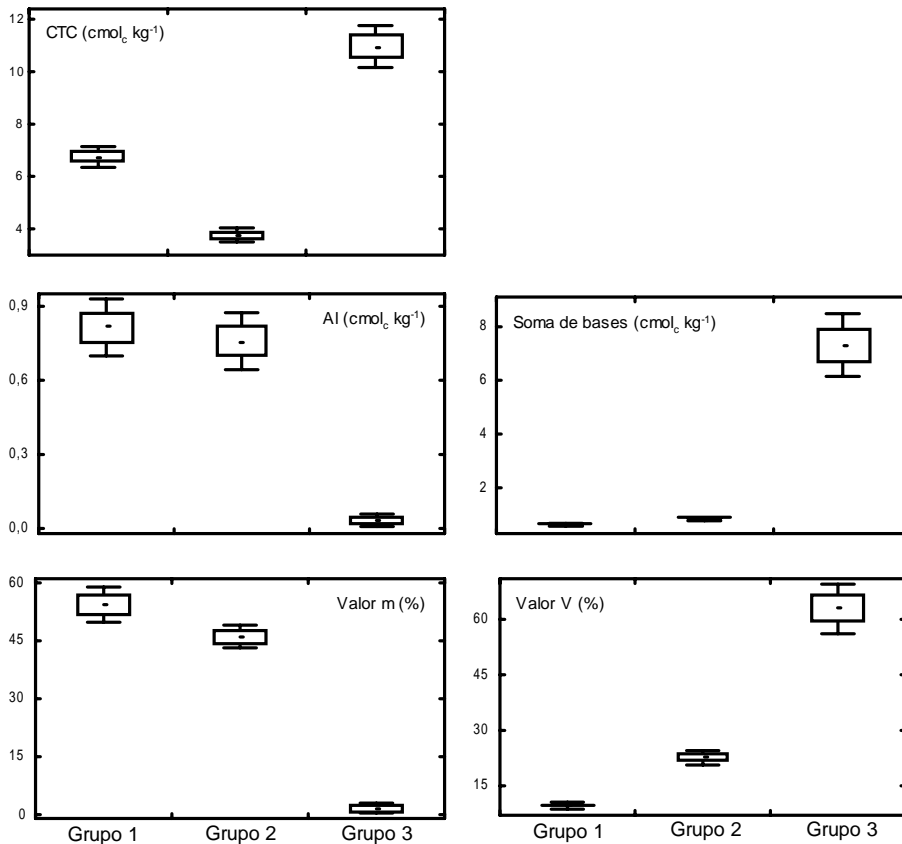
Latossolos Vermelhos (LV) com caráter férrico, que formam o Grupo 3, apresentam um diferencial de fertilidade relativamente a outros solos (Latossolos ou Neossolos Quartzarênicos) de áreas

planas, elevadas e bem drenadas da região dos Cerrados. Eles apresentam, mesmo sendo solos bem desenvolvidos, uma maior riqueza, principalmente de P total e micronutrientes, herdada do material de origem basáltico (Resende et al., 1986; Curi & Franzmeier, 1987; Ker, 1998), o que é confirmado para os perfis estudados das posições T4 e T5 por Marques (2000). Os LV férricos do Grupo 3 magnificam esse diferencial de fertilidade por meio de uma oferta de bases trocáveis dos horizontes superficiais bem maior do que nos horizontes subsuperficiais (Quadro 2), uma consequência da maior eficiência da reciclagem de nutrientes da formação florestal relativamente às formações de cerrado (Resende et al., 1988a).

Na ACP, os Grupos 1 e 2 apresentam-se próximos, mas suas elipses estão separadas por uma combinação do efeito dos dois eixos. Os perfis do



**Figura 4. Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com a oferta de nutrientes pelo solo para as 39 amostras de horizontes superficiais. (a) Círculo de autovetores das variáveis; (b) Plano de elipses e dispersão de pontos dos grupos de perfis de solos. Pontos como códigos de cada perfil. Elipses: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.**



**Figura 5. Médias, erro-padrão (box) e intervalo de confiança (barra de erro-padrão  $\times 1,96$ ) de variáveis relacionadas com a oferta de nutrientes para as amostras de horizontes superficiais dos grupos de perfis de solo: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.**



Grupo 1 formam uma nuvem de pontos acima e à direita dos perfis do Grupo 2, atraídos principalmente por maiores valores médios de CTC e carbono orgânico (respectivamente,  $6,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e  $18,5 \text{ g kg}^{-1}$ , no Grupo 1, e  $3,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e  $7,7 \text{ g kg}^{-1}$ , no Grupo 2). A CTC, como a retenção de água, está muito influenciada pelo carbono orgânico, tendência encontrada por Klamt & Sombrøek (1988) para o horizonte superficial de Oxissolos de 14 países e esperada para solos com baixa capacidade de reter cátions e carga dependente de pH. Deve-se ressaltar que ocorreu uma esperada correlação positiva entre teor de argila e carbono orgânico ( $p < 0,001$ ).

Os valores médios de  $\text{Al}^{3+}$  e valor m são nulos ou quase nulos no Grupo 3 e um pouco maiores no Grupo 1 do que no 2. Mesmo para o Grupo 1 ( $0,81 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$  e 54 % de valor m), estes

valores não são considerados muito elevados (CFSEMG, 1999) e ajustam-se à menor importância relativa dada a toxidez por Al nas plantas do bioma cerrado por Resende et al. (1988a), sem negligenciar a necessidade de correção tão difundida para o aproveitamento agrícola da região.

### Variáveis químicas dos horizontes subsuperficiais

Sobressai, no primeiro eixo da ACP, a influência das variáveis ligadas às diferentes extrações de Fe (ataque sulfúrico, DCB e oxalato) e Ti e P do ataque sulfúrico (Figura 6). Os maiores autovetores do segundo eixo são, pela ordem, Ki e soma de bases + Al da argila como valores positivos e  $\Delta\text{pH}$ , relação  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico e pH em KCl como valores negativos (Figura 6A).

Quadro 2. Valores médios de soma de bases dos três grupos de solos

Grupo de solo <sup>(1)</sup>	Horizonte		$\Delta$ soma de bases [A - (B ou C)]
	Superficial (A)	Subsuperficial (B ou C)	
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		
Grupo 1	0,6	0,6	0,0
Grupo 2	0,8	0,6	0,2
Grupo 3	7,3	1,0	6,3

<sup>(1)</sup> Grupos: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.

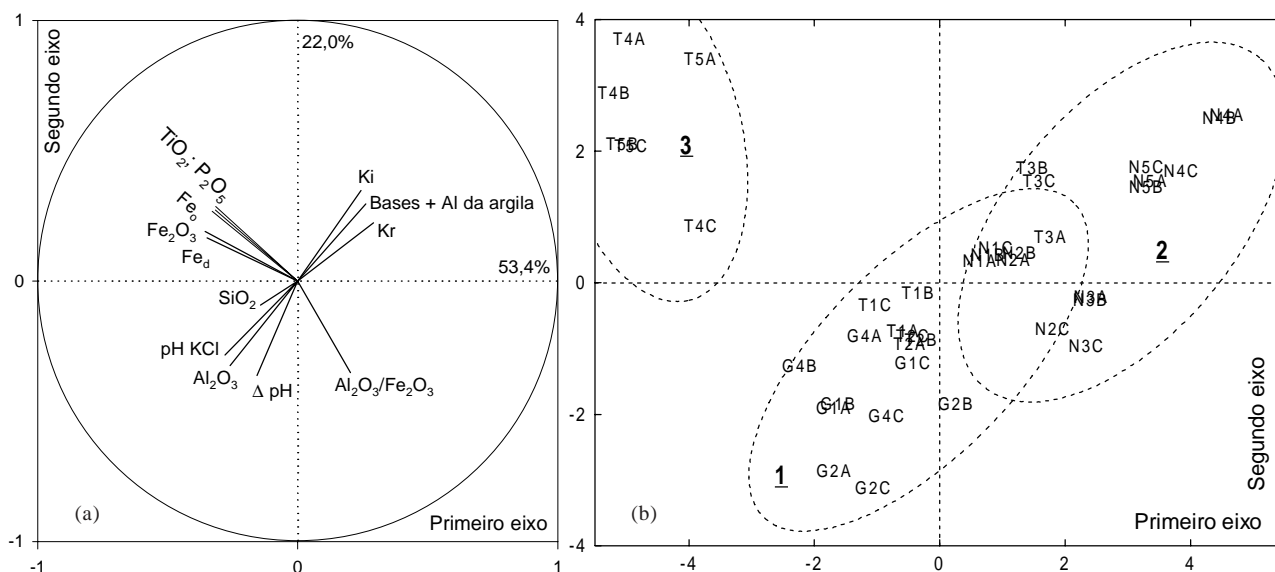


Figura 6. Análise de componentes principais de variáveis químicas para as 39 amostras de horizontes subsuperficiais avaliadas. (a) Círculo de autovetores das variáveis (Fed = Fe extraído pelo ditionito-citrate-bicarbonato; Feo = Fe extraído pelo oxalato ácido de amônio;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  = teor dos respectivos óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico); (b) Plano de elipses e dispersão de pontos dos grupos de perfis de solos. Pontos como códigos de cada perfil. Elipses: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.

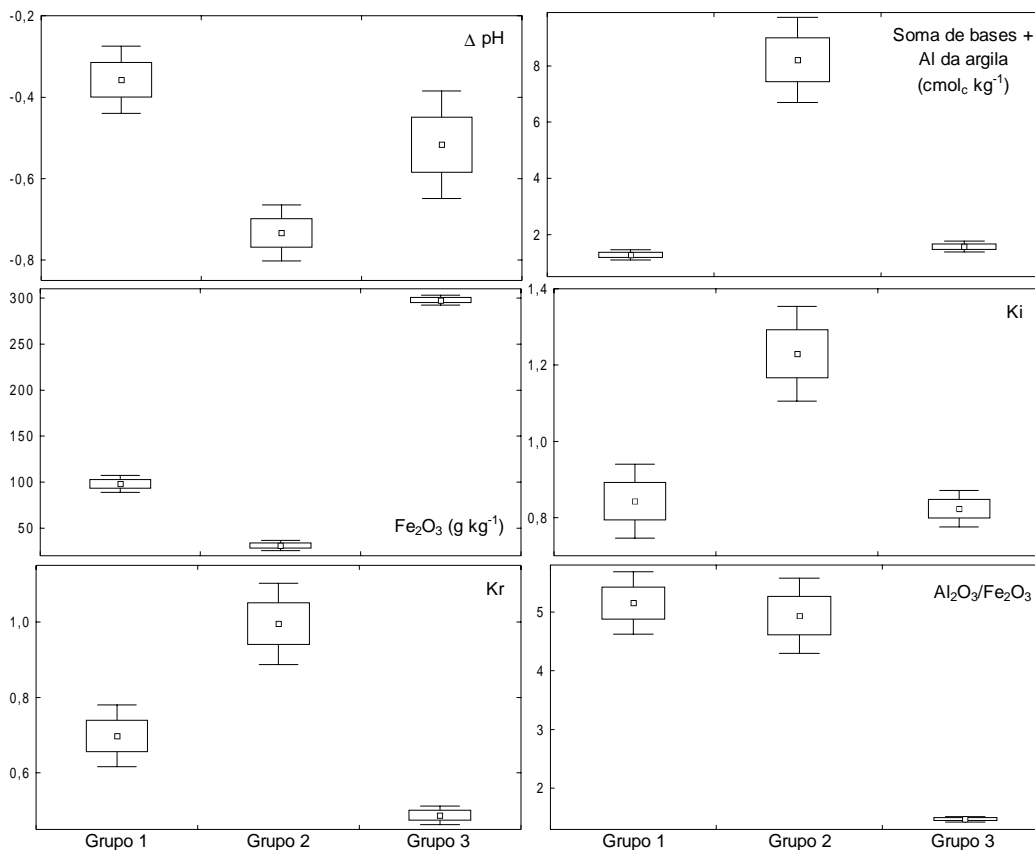
O primeiro eixo da ACP isola completamente o Grupo 3 (Figura 6b), em decorrência dos elevados valores médios de  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_d$ ,  $Fe_o$ ,  $TiO_2$  e  $P_2O_5$  e do baixo valor médio da relação  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  (Figura 7). Esses são atributos inerentes às próprias classes dos LV com caráter férrico originados de basalto que, adicionalmente, ainda apresentam elevada quantidade de elementos magnéticos (Resende et al., 1988b; Ker, 1998; EMBRAPA, 1999).

Para as variáveis que ajudam a inferir sobre o grau de intemperismo ( $\Delta pH$ , soma de bases + Al da argila, Ki e Kr), com maior influência sobre o segundo eixo da ACP, o Grupo 3 tem comportamento médio mais próximo do Grupo 1 (Figura 7), não estando esses Grupos mais próximos no segundo eixo da ACP (Figura 6b) pelo fato de as relações  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  serem muito baixas dos perfis com caráter férrico do Grupo 3. Se, por um lado, o Grupo 1 apresenta 18 dos seus 21 perfis de solo localizados na superfície Sul-Americana, onde estão os mantos latossólicos mais profundos e intemperizados (Lepsh & Buol, 1988; Ker, 1998), os solos derivados de rochas máficas da superfície Velhas II, embora apresentem maior velocidade de intemperismo (Uehara, 1988), são menos profundos, sendo assim considerados

menos desenvolvidos do que os do Grupo 1, em termos morfológicos, como indica o trabalho de Cunha (2000).

Comparando os Grupos 1 e 2, todos os solos do Grupo 2 estão nas superfícies Velhas I e II, consideradas menos estáveis e apresentando solos menos intemperizados do que os presentes na superfície Sul-Americana (Ker, 1998). Em adição a isto, explicam-se as diferenças de grau de desenvolvimento dos solos dos Grupos 1 e 2 pelo efeito inibidor que a grande quantidade de quartzo dos solos do Grupo 2 têm sobre a dessilicificação da caulinita (Ct) e, conseqüentemente, sobre a formação de gibbsita (Gb). A elevada estabilidade do quartzo na fração areia não impede que solos mais arenosos tenham relações Si/Al mantidas em um patamar que favoreçam a estabilidade da Ct na fração argila (Resende et al., 1988a; Buol & Eswaran, 2000).

Apesar das diferenças, as elipses dos Grupos 1 e 2 apresentam alguma sobreposição na ACP. Observando separadamente cada posição de paisagem, os solos de N1 e de N2 do Grupo 1 apresentam Ki médio maior do que os das posições N3 e T3 do Grupo 2 (respectivamente 1,15, 1,22, 0,82



**Figura 7. Médias, erro-padrão (box) e intervalo de confiança (barra de erro-padrão  $\times 1,96$ ) de variáveis químicas de amostras de horizontes subsuperficiais dos grupos de perfis de solo: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.**

e 0,93). Esses valores de Ki mostram que o comportamento médio e esperado não se repete linearmente para todas as situações, ocorrendo diferenças de grau de desenvolvimento substancial entre solos de uma mesma superfície e maior grau de desenvolvimento de solos de textura mais grosseira e de superfícies mais jovens relativamente a solos mais argilosos e de superfícies mais velhas.

### Mineralogia da fração argila

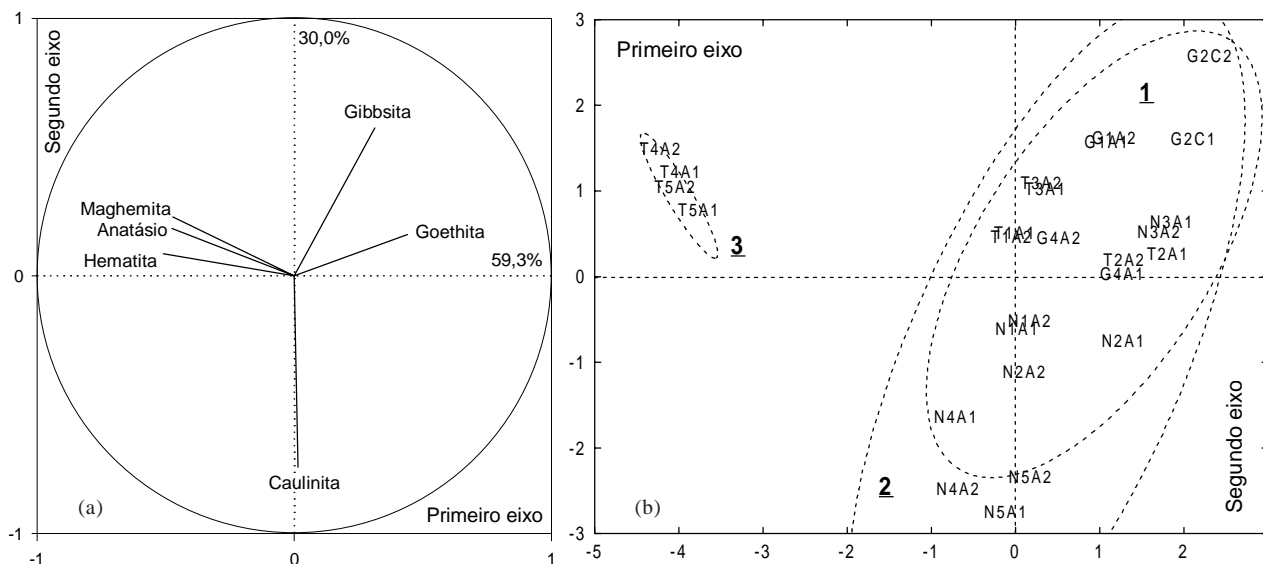
A ACP revela grande distinção entre as variáveis que contribuem para o primeiro e para o segundo eixo (Figura 8). Hematita (Hm), anatásio (An) e maghemita (Mh) com autovetores negativos e goethita (Gt) com autovetor positivo comandam o primeiro eixo. Caulinita (Ct) com autovetor negativo e gibbsita (Gb) com autovetor positivo comandam o segundo eixo (Figura 8a). O diagrama de ordenação (Figura 8b) mostra o isolamento do Grupo 3 pelo primeiro eixo da ACP à sua esquerda (valores negativos) e a quase total sobreposição da elipse do Grupo 1 pela do Grupo 2.

O Grupo 3 destaca-se no primeiro eixo pelos teores médios elevados de Hm, Mh e An e ausência de Gt (Figura 9 e Quadro 3). A baixa relação Gt/(Gt + Hm) e a presença de Mh são aspectos comuns de LVs com elevados teores de Fe, situados em locais bem drenados e desenvolvidos de rocha máfica (Curi & Franzmeier, 1984; Kämpf et al., 1988a,b; Fontes & Weed, 1991; Ker, 1995; Kämpf & Curi, 2000; Melo et al., 2001). A ausência de Gt, ou sua presença em quantidades não-detectáveis pela DRX, também é possível para esses solos (Fontes & Weed, 1991), bem

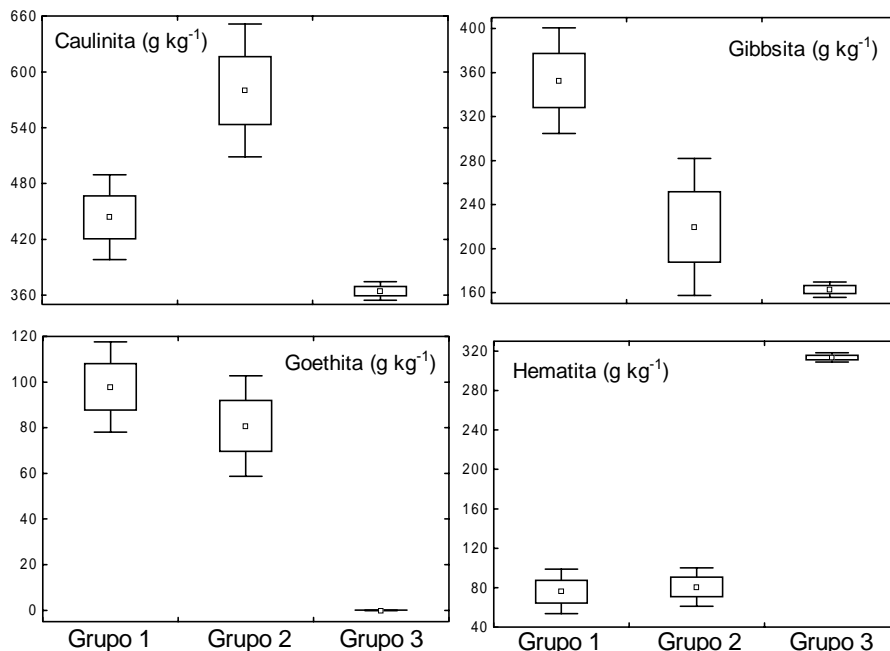
como sua presença em pequenas proporções (Curi & Franzmeier, 1984; Ker, 1995). A maghemita só foi detectada na DRX desse grupo, confirmando a sua formação a partir do material de origem de rochas básicas (Ker, 1995) e descartando a possível influência do fogo (Schwertmann, 1985). Os valores estimados de An devem ser analisados com ressalvas, pela presença comum de óxidos de Ti fora da fração argila, que podem ser atingidos pelo ataque sulfúrico. Para os perfis do Grupo 3, além do An, os valores de Hm devem estar superestimados, pela ocorrência comum de magnetita e concreções ferruginosas nas frações mais grosseiras dos solos originados de basalto (Ker, 1998). Um procedimento de alocação (Resende et al., 1987), realizado após o tratamento da fração argila com  $H_2SO_4$  (resultados não mostrados), detectou reduções médias de 26 e 77 % nos teores de Hm e An, respectivamente, nos solos do Grupo 3.

A elevada sobreposição dos Grupos 1 e 2 é provocada por teores médios semelhantes para aquelas variáveis que explicam o primeiro eixo, óxidos de Fe e An. Em termos médios, o Grupo 1 é mais gibbsítico e o Grupo 2 é mais caulinitico. Novamente, como nos resultados encontrados para as variáveis químicas dos horizontes subsuperficiais, o comportamento médio e esperado não se repete linearmente para todas as situações, com parte dos solos do Grupo 1 se apresentando com maiores relações Ct/(Ct + Gb) do que parte dos solos do Grupo 2 (Quadro 3).

A relação Ct/(Ct + Gb) variou de 1 (ausência de Gb na amostra N5A1) a 0,27 (amostra G2C2), o que



**Figura 8.** Análise de componentes principais de variáveis mineralógicas do solo de 26 amostras de horizontes superficiais e subsuperficiais. (a) Círculo de autovetores das variáveis; (b) Plano de elipses e dispersão de pontos dos grupos de perfis de solos. Pontos como códigos de cada perfil. Elipses: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.



**Figura 9. Médias, erro-padrão (box) e intervalo de confiança (barra de erro-padrão  $\times 1,96$ ) de variáveis mineralógicas da fração argila de amostras de horizontes superficiais e subsuperficiais dos grupos de perfis de solo: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.**

impõe cautela na generalização acerca da riqueza em Gb dos Latossolos sob cerrado (Ker & Resende, 1996). Esta observação vale mesmo para Latossolos argilosos da superfície Sul-Americana, onde a relação  $Ct/(Ct + Gb)$  alcançou valores tão altos quanto 0,77 (amostra N2A2). Essas diferenças de mineralogia não foram suficientes para alterar a estrutura dos horizontes subsuperficiais do Grupo 1, todos de estrutura forte muito pequena granular, típica dos Latossolos da região. No Grupo 2, o possível efeito da mineralogia sobre a estrutura fica minimizado em virtude da textura grosseira dos solos, com a estrutura dos horizontes subsuperficiais variando de grãos simples a granular.

A Ct é o mineral da fração argila com maior presença no total dos solos estudados (média geral de  $474 \text{ g kg}^{-1}$  argila), e mesmo o Grupo menos caulinitico (Grupo 3) ainda apresenta teor médio de  $365 \text{ g kg}^{-1}$  argila. Esses valores são modestos perto dos encontrados por Melo et al. (2001) para horizontes subsuperficiais de solos associados a sedimentos do Grupo Barreiras ( $853$  a  $944 \text{ g kg}^{-1}$  argila) e da média de  $940 \text{ g kg}^{-1}$  argila encontrada por Singh & Gilkes (1992b) para 264 solos do oeste australiano, os quais foram adjetivados como sendo extremamente intemperizados e de grande idade, mas que, se comparados aos Latossolos oxidicos do Planalto Central do Brasil, teriam essa adjetivação abrandada.

Para aquelas amostras onde foi possível quantificar a substituição de Fe por Al na estrutura

da Gt e da Hm (Quadro 3), o destaque fica para a maior média de Al na Hm do Grupo 3 ( $15 \text{ cmol mol}^{-1}$ ) em comparação com os outros dois Grupos ( $9$  e  $10 \text{ cmol mol}^{-1}$ , respectivamente, para os Grupos 1 e 2, embora com grande variação). Para a Gt, o Grupo 1 apresentou  $24$  contra  $21 \text{ cmol mol}^{-1}$  de Al do Grupo 2, mas nenhuma correlação ficou estabelecida entre o grau de substituição com o teor de Gb ou com a relação  $Ct/(Ct + Gb)$ . A relação positiva entre o teor de Gb e de óxidos de Fe mais aluminizados no solo, que caracterizaria um ambiente pedogênico com elevada atividade de Al quando da formação dos óxidos de Fe (Schwertmann, 1985; Kämpf et al., 1988b; Fontes & Weed, 1991; Singh & Gilkes, 1992a), não ocorreu nos ambientes latossólicos bem drenados estudados e os resultados encontrados sugerem cuidado com as generalizações sobre o comportamento dessas substituições (Curi & Franzmeier, 1984; Ker, 1995, 1998).

As elevadas correlações positivas entre Hm, cor do solo (matiz transformada, conforme Santana, 1984) e teor de  $Fe_d$  (todas significativas,  $p < 0,001$ ) parecem refletir a baixa incidência de solos desenvolvidos sob condições pretéritas de restrição de drenagem (Oliveira et al., 1991), permitindo que a uma maior riqueza de Fe do ambiente corresponda um maior teor de Hm (Schwertmann, 1985).

Essas correlações são ainda mais expressivas quando se desconsideram os solos do Grupo 2, cujo comportamento por vezes foge do esperado. Para essas amostras, a Hm pode estar sendo herdada do

**Quadro 3. Cor (matiz) do solo; teor de argila, índices Ki e Kr (ataque sulfúrico) da fração terra fina seca ao ar; Fe extraído pelo ditonito-citrato-bicarbonato (Fe<sub>d</sub>) e características mineralógicas da fração argila de amostras de solo selecionadas**

Amostra	Horiz.	Cor Matiz	Argila	Ki	Kr	Fe <sub>d</sub>	Ct <sup>(1)</sup>	Gb <sup>(1)</sup>	Gt <sup>(1)</sup>	Hm <sup>(1)</sup>	Mh <sup>(1)</sup>	An <sup>(1)</sup>	Gt <sup>(1)</sup> / (Gt+Hm)	Ct <sup>(1)</sup> / (Ct+Gb)	Substituição isomórfica		
															Gt <sup>(1)</sup>	Hm <sup>(1)</sup>	Mh <sup>(1)</sup>
			g kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>						— cmol mol <sup>-1</sup> —					
Grupo 1: Solos de textura argilosa a muito argilosa e hipo a mesoférricos																	
G1A1	A	2,5YR	640	0,53	0,43	60,0	306	462	100	108	0	25	0,48	0,40	32	14	-
G1A2	B	2,5YR	729	0,53	0,44	58,3	307	491	88	93	0	22	0,49	0,38	23	0	-
G2C1	A	7,5YR	608	0,54	0,48	33,7	331	481	161	0	0	27	1,00	0,41	30	-	-
G2C2	B	9YR	685	0,35	0,31	33,9	224	601	150	0	0	25	1,00	0,27	24	-	-
G4A1	A	2,5YR	527	0,91	0,73	81,2	482	292	132	80	0	15	0,62	0,62	30	11	-
G4A2	B	10R	615	0,77	0,62	87,7	424	368	52	143	0	13	0,27	0,54	30	12	-
N1A1	A	2,5YR	417	1,16	0,91	68,4	555	220	66	117	0	42	0,36	0,72	21	7	-
N1A2	B	2,5YR	522	1,09	0,88	74,5	546	240	66	112	0	36	0,37	0,69	23	12	-
N2A1	A	5YR	382	1,25	1,02	59,8	598	180	175	0	0	47	1,00	0,77	19	-	-
N2A2	B	4YR	467	1,26	1,05	63,1	622	186	64	87	0	41	0,42	0,77	23	17	-
T1A1	A	2,5YR	469	0,86	0,70	92,7	425	376	21	145	0	33	0,13	0,53	15	5	-
T1A2	B	2,5YR	521	0,80	0,64	99,8	427	363	24	153	0	32	0,14	0,54	20	12	-
T2A1	A	7,5YR	660	0,87	0,75	61,8	481	331	161	0	0	26	1,00	0,59	23	-	-
T2A2	B	5YR	763	0,88	0,75	60,6	484	346	110	33	0	26	0,77	0,58	19	2	-
Média do grupo			572	0,84	0,69	66,8	444	353	98	76	0	29	0,57	0,56	24	9	-
Grupo 2: Solos de textura média a arenosa e hipoférricos																	
N3A1	A	10YR	108	0,76	0,67	33,7	442	392	143	0	0	23	1,00	0,53	26	-	-
N3A2	B	10YR	148	0,81	0,70	35,3	457	366	146	0	0	31	1,00	0,55	24	-	-
N4A1	A	5YR	77	1,45	1,21	26,0	681	156	0	114	0	49	0,00	0,81	-	0	-
N4A2	C	5YR	67	1,68	1,42	32,8	774	76	0	112	0	38	0,00	0,91	-	12	-
N5A1	A	2,5YR	150	1,63	1,29	47,4	789	0	70	119	0	22	0,37	1,00	16	14	-
N5A2	B	2,5YR	219	1,66	1,34	49,4	752	63	72	90	0	23	0,45	0,92	24	11	-
T3A1	A	5YR	79	0,73	0,57	104,1	372	342	113	112	0	60	0,50	0,52	22	15	-
T3A2	B	2,5YR	128	0,74	0,58	94,1	372	362	102	99	0	65	0,51	0,51	15	6	-
Média do grupo			122	1,18	0,97	52,9	580	220	81	81	0	39	0,48	0,72	21	10	-
Grupo 3: Solos de textura argilosa a muito argilosa e férricos																	
T4A1	A	10R	524	0,98	0,55	145,4	344	169	0	330	41	117	0,00	0,67	-	13	4
T4A2	B	10R	697	0,92	0,53	153,8	341	185	0	306	61	108	0,00	0,65	-	15	16
T5A1	A	10R	504	1,09	0,64	130,6	392	143	0	316	36	113	0,00	0,73	-	15	10
T5A2	B	10R	624	1,05	0,62	142,1	382	154	0	302	52	110	0,00	0,71	-	15	10
Média do grupo			587	1,01	0,58	143,0	365	163	0	314	47	112	0,00	0,69	-	15	10

<sup>(1)</sup> Ct: caulinita; Gt: goethita; Mh: maghemita; Hm: hematita; Gb: gibbsita; An: anatásio.

material de origem (Resende et al., 1988a), tendo permanecido estável ao longo da pedogênese, já que cores avermelhadas são comuns nos arenitos da sub-região N (Sgarbi, 1991). Para os perfis associados à superfície Sul-Americana de G, a ocorrência de LVA e LA na posição G2 em contorno aos LV da posição G1 pode estar relacionada com um pedoambiente mais úmido (Motta et al., 2002a), por ser a posição G1 relativamente mais elevada e mais ao centro da chapada do que a G2, que, conseqüentemente, apresenta uma drenagem lateral reduzida pela proximidade da faixa de material petroplíntico que, normalmente, contorna a chapada, aspectos estes favoráveis à formação de Gt sobre Hm ou à persistência da primeira no sistema (Macedo & Bryant, 1987).

A relação Ct/(Ct + Gb) também foi calculada a partir da área dos picos da ATD da fração argila desferrificada e apresentou poucas diferenças com a calculada por alocação (correlação linear positiva e significativa,  $p < 0,001$ ).

#### Atributos diagnósticos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e da Soil Taxonomy

Procurou-se comparar as classes de solos obtidas até o quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) e da Soil Taxonomy (Soil, 1999). Em oito dos 39 perfis, a ocorrência do caráter ácrico (usado no terceiro nível categórico ou grande grupo) da Classificação Brasileira e do grande Grupo Acrustox foi



coincidente. Dos 24 LV's do Sistema Brasileiro, seis não alcançaram o subGrupo Rhodic da Soil Taxonomy: o perfil G4B, pela ascendência que o subGrupo Anionic tem sobre o subGrupo Rhodic e, nos outros cinco perfis, por não atenderem à exigência de valor  $\leq 3$  para a cor úmida (Quadro 4).

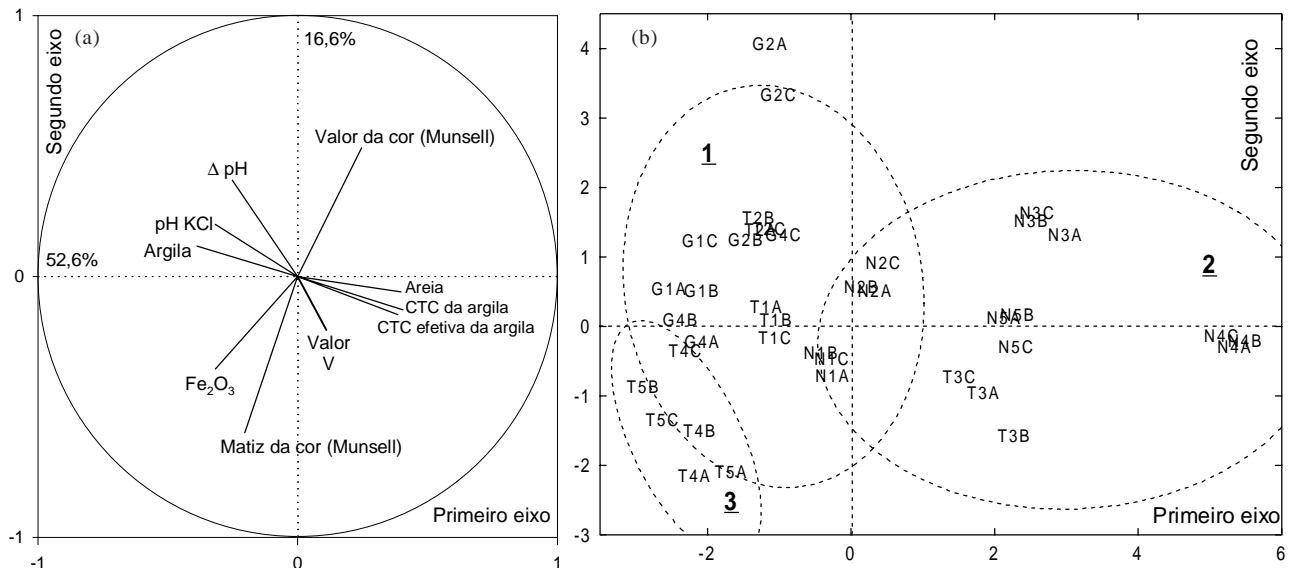
Uma ACP foi realizada a partir da seleção de 10 atributos quantificáveis e decisivos na classificação pelos dois sistemas (EMBRAPA, 1999; Soil, 1999) dos solos estudados (Figura 10), mostrando o primeiro eixo fortemente influenciado

pelas variáveis de textura e de atividade da fração argila, o que proporciona o isolamento dos Neossolos Quartzarênicos da posição N4 à direita do diagrama de ordenação (Figura 10b). Os Latossolos de textura média também formam um Grupo discreto ao centro do primeiro eixo do diagrama de ordenação, independentemente de serem psamíticos no 4º nível do Sistema Brasileiro. Para o conjunto de solos estudados, mais que ser psamítico, é importante diferenciar os Latossolos de textura média daqueles de textura argilosa e muito argilosa.

**Quadro 4. Classificação dos perfis de solos estudados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) e na Soil Taxonomy (Soil, 1999)**

SiBCS <sup>(1)</sup>	Soil Taxonomy <sup>(2)</sup>						
	THO	RHO	TAO	RAO	AAO	REO	QPE
LAd	N3B						
LAdq	N3A, N3C						
LAW			G2C		G2A		
LVAAd	G2B, N2A, N2B, N2C, T2A, T2B, T2C						
LVd	G4C, N5A, N5B, N5C	G4A, N1A, N1B, N1C, T1A, T1B, T1C, T3B, T3C					
LVdq		T3A					
LVdf		T4A, T4B, T5A				T5C	
LVw			G1C	G1A, G1B			
LVwf				T4C, T5B	G4B		
RQo							N4A, N4B, N4C

<sup>(1)</sup> SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 1º e 2º níveis categóricos: LA = Latossolo Amarelo, LV = Latossolo Vermelho, LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo e RQ = Neossolo Quartzarênico; 3º e 4º níveis categóricos: w = ácrico típico, wf = acriférrico típico, df = distróférico típico, dq = distróférico psamítico, d = distróférico típico e o = órtico típico. <sup>(2)</sup> Soil Taxonomy. AAO = Anionic Acrustox, RAO = Rhodic Acrustox, TAO = Typic Acrustox, REO = Rhodic Eustrustox, RHO = Rhodic Haplustox, THO = Typic Haplustox e QPE = Ustic Quartzipsamments.



**Figura 10. Análise de componentes principais de atributos decisivos na classificação dos solos estudados, considerando as 39 amostras de horizontes subsuperficiais. (a) Círculo de autovetores das variáveis; (b) Plano de elipses e dispersão de pontos dos grupos de perfis de solos. Pontos como códigos de cada perfil. Elipses: 1 = solos de textura argilosa a muito argilosa, hipo a mesoférricos; 2 = solos de textura média a arenosa, hipoférricos; 3 = solos de textura argilosa a muito argilosa, férricos.**

O perfil T5C entrou no grande Grupo Eustrtox da Soil Taxonomy, embora esteja em posição central na elipse do Grupo 3. O valor V foi o atributo de menor influência nos dois primeiros eixos da ACP, mostrando-se com baixo poder distintivo nos solos estudados.

Para o segundo eixo da ACP, as variáveis relacionadas com a cor (matiz e valor do sistema Munsell) e teor de Fe se fazem preponderantes. Daí, percebe-se a importância do uso do caráter férrico pelo Sistema Brasileiro, que, junto à cor do solo, permitiu uma discriminação dos Latossolos com diferenças nas quantidades de Gt, Hm e Gb da fração argila. A Soil Taxonomy, até o nível de subgrupo, iguala perfis de mineralogias muito díspares: o G2A e o G4B (respectivamente, LAw e LVwf), com teores de Hm divergentes; e alguns perfis originados de basalto (posições T4 e T5) com vários Latossolos Vermelhos distróficos (posições N1 e T1), até mesmo de textura média (posição T3).

### CONCLUSÕES

1. A retenção de água dos horizontes superficiais dos solos estudados foi positivamente correlacionada com os teores de argila e carbono orgânico.

2. A maior oferta de bases trocáveis dos horizontes superficiais dos perfis de solo das posições de paisagem T4 e T5 (Grupo 3) relativamente à de outros perfis (Grupos 1 e 2) está relacionada, em grande parte, à maior eficiência da reciclagem imposta pela formação florestal local, quando comparada à da formação de cerrado, presente em 31 dos 33 perfis de solo dos Grupos 1 e 2.

3. O Grupo 3, diferenciado pelos elevados teores de Fe herdados do material de origem, é o Grupo mais homogêneo em termos mineralógicos, com todos os perfis hematíticos e com pouca ou nenhuma goethita.

4. Os Grupos 1 e 2 apresentam grande sobreposição de composição mineralógica, sendo, em termos médios, o Grupo 1 mais gibbsítico do que o Grupo 2.

5. A presença de maghemita se deu apenas nos solos do Grupo 3, influência do material de origem máfico.

6. A maior eficácia do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, relativamente a Soil Taxonomy, em discriminar os solos estudados é uma consequência do uso do caráter férrico concomitante a outros atributos comuns aos dois sistemas.

7. A análise de componentes principais auxiliou o entendimento das diferenças e similaridades dos ambientes pedológicos separados no campo.

### LITERATURA CITADA

ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G. & MADEIRA N., J.S. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOETERD, W.J., ed. Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo, EMBRAPA/Nobel, 1985. p.33-74.

BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. Geol. Soc. Am. Special Paper, 84:351-433, 1965.

BRAUN, O.P.G. Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. R. Bras. Geog., 32:3-39, 1970.

BUOL, S.W. & ESWARAN, H. Oxisols. Adv. Agron., 68: 151-195, 2000.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Viçosa, 1999. 359p.

COSTA, A.C.S.; BIGHAM, J.M.; RHOTON, F.E. & TRAINA, S.J. Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in Southern Brazil. Clays Clay Miner., 47:466-473, 1999.

CUNHA, P. Superfícies geomórficas e variabilidade de Latossolos em uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal (SP). Jaboticabal, Universidade de São Paulo, 2000. 149p. (Tese de Doutorado)

CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Effects of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:153-158, 1987.

CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:341-346, 1984.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. Bot. Rev., 38:201-341, 1972.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS/INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA/ UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Atlas climatológico do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1982. Não paginado.

FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Geoderma, 79:69-116, 1997.

FONTES, M.P.F. & WEED, S.B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1143-1149, 1991.

FREITAS, P.L. & BLANCANEUX, P. Avaliação sobre os aspectos climatológicos e hidrológicos da microbacia piloto de Goiás, Morrinhos. In: BLANCANEUX, P., ed. Interações ambientais no cerrado. Microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.33-52.

FURLEY, P.A. The influence of slope on the nature and distribution of soils and plant communities in the Central Brazilian cerrado. In: ANDERSON, M.G. & BROOKS, S.M. Advances in Hillslope Processes. New York, John Wiley & Sons, 1996. v.1. p.327-346.

- FURLEY, P.A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. *Global Ecol. Biogeog.*, 8:223-241, 1999.
- KÄMPF, N. CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. *Tópicos Ci. solo*, 1:107-138, 2000.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Quantitative determination of goethite and hematite in kaolinitic soils by X-ray diffraction. *Clay Miner.*, 17:359-363, 1982a.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Miner.*, 30:401-408, 1982b.
- KÄMPF, N.; KLAMT, E. & SCHNEIDER, P. Óxidos de ferro em Latossolos do Brasil sul e sudeste. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988a. p.153-184.
- KÄMPF, N.; RESENDE, M. & CURI, N. Iron oxides in Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: classification, characterization and utilization of Oxisols, 8., Rio de Janeiro, 1986. Proceedings. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988b. p.71-77.
- KENT, M. & COKER, P. Vegetation description and analysis. Baffins Lane, John Wiley & Sons, 1992. 363p.
- KER, J.C. & RESENDE, M. Recursos edáficos dos Cerrados: ocorrência e potencial. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras no cerrado, 8., Planaltina, 1996. Anais. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-CPAC, 1996. p.15-19.
- KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, 5:17-40, 1998.
- KER, J.C. Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 181p. (Tese de Doutorado)
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *R. Bras. Geog.*, 18:147-265, 1956.
- KLAMT, E. & SOMBRÖEK, W.G. Contribution of organic matter to exchange properties of Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: classification, characterization and utilization of Oxisols, 8., Rio de Janeiro, 1986. Proceedings. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-SMSS/ATD/UPR, 1988. p.64-70.
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/SNLCS, 1996. 84p.
- LEPSH, I.F. & BUOL, S.W. Oxisol-landscape relationships in Brazil. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: classification, characterization and utilization of Oxisols, 8., Rio de Janeiro, 1986. Proceedings. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. p.174-189.
- LIPS, J.M. & DUIVENVOORDEN, J.F. Regional patterns of well drained upland soil differentiation in the middle Caquetá basin of Colombian Amazonia. *Geoderma*, 72:219-257, 1996.
- MACEDO, J. & BRYANT, R.B. Morphology, mineralogy, and genesis of a hydrosequence of Oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:690-698, 1987.
- MANLAY, R.J.; CADET, P.; THIOULOUSE, J. & CHOTTE, J. Relationships between abiotic and biotic soil properties during fallow periods in the sudanian zone of Senegal. *Appl. Soil Ecol.*, 14:89-101, 2000.
- MARQUES, J.J.G.S.M. Trace element distributions in Brazilian cerrado soils at the landscape and micrometer scales. West Lafayette, Purdue University, 2000. 172p. (Tese de Doutorado)
- McCUNE, B. & MEFFORD, M.J. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 4. Oregon, MjM Software Design, 1999. 237p.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7., Washington, 1958. Proceedings. New York, 1960. p.317-327.
- MELO, V.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B. & SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:19-32, 2001.
- MOTTA, P.E.F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J.C.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO J., W. & BLANCANEAUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:869-878, 2002a.
- MOTTA, P.E.F.; CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Relation of soils and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: OLIVEIRA, P.S. & MARQUIS, R.J., eds. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. Chicago, Columbia University Press, 2002b. p.13-32.
- MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. & GOMES, J.B.V. Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:1023-1031, 2002c.
- NEUFELDT, H.; RESCK, D.V.S.; AYARZA, M.A. & ZECH, W. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma*, 107:151-164, 2002.
- OLIVEIRA, J.B.; RESENDE, M. & CURI, N. Caracterização e classificação de Latossolos Variação Una e de solos afins da região de Guaira, SP. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:207-218, 1991.
- RESENDE, M.; ALLAN, J. & COEY, J.M.D. The magnetic soils of Brazil. *Earth Planet. Sci. Letters*, 78:322-326, 1986.
- RESENDE, M.; BAHIA F., A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:17-23, 1987.
- RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Piracicaba, Ministério da Educação/ESAL/POTAFOS, 1988a. 83p.

- RESENDE, M.; KER, J.C. & BAHIA FILHO, A.F.C. Desenvolvimento sustentado do cerrado. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F., eds. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV-DPS, 1996. p.169-199.
- RESENDE, M.; SANTANA, D.P. & REZENDE, S.B. Susceptibilidade magnética em Latossolos do Sudeste e do Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988, Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-SNLCS/SBCS, 1988b. p.233-258.
- SANTANA, D.P. Soil formation in a topossequence of Oxisols from Patos de Minas region, Minas Gerais State, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1984. 128p. (Tese de Doutorado)
- SCHULZE, D.G. The influence of aluminum on iron oxides. VII: unit cell dimensions of Al substituted goethites and estimation of Al from them. *Clays Clay Miner.*, 32:36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 105:194-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U. The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Advances in Soil Sci.*, 1:171-200, 1985.
- SCHWERTMANN, U. & FECHTER, H. The influence of aluminum on iron oxides: XI. Aluminum-substituted maghemite in soils and its formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:1462-1463, 1984.
- SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R.W.; TAYLOR, R.M. & LEWIS, D.G. The influence of aluminum on iron oxides. Part II: Preparation and properties of Al-substituted hematites. *Clays Clay Miner.*, 27:105-112, 1979.
- SGARBI, P.B.A. Geologia, petrografia e geoquímica da Formação Mata da Corda, MG. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991. 214p. (Tese de Mestrado)
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soils of South-Western Australia. *J. Soil Sci.*, 43:77-98, 1992a.
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Properties of soil kaolinites from South-Western Australia. *J. Soil Sci.*, 43:645-667, 1992b.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2.ed. Washington, USDA, 1999. 869p. (Agriculture Handbook, 436)
- SPLECHTNA, B.E. & KLINKA, K. Quantitative characterization of nutrient regimes of high-elevation forest soils in the southern coastal region of British Columbia, Canada. *Geoderma*, 102:153-174, 2001.
- STATSOFT. Statistica for windows. Release 5.1 (Computer program manual). Yulsa, OK, StatSoft, Inc., 1997. Não paginado.
- UEHARA, G. Acric properties and their significance to soil classification. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: classification, characterization and utilization of Oxisols, 8., Rio de Janeiro, 1986. Proceedings. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. p.19-22.