

# **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO E A SUSTENTABILIDADE DE AGROECOSSISTEMAS<sup>(1)</sup>**

**M. I. N. ALVARENGA<sup>(2)</sup> & A. C. DAVIDE<sup>(3)</sup>**

## **RESUMO**

**O uso agrícola provoca alteração das características físicas, químicas e biológicas do solo. Normalmente, ocorre uma deterioração de sua qualidade, em decorrência da retirada da cobertura vegetal e excessiva mecanização. O objetivo deste estudo foi caracterizar a alteração das características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico sob vegetação de cerrado, quando submetido a diferentes sistemas de uso. Foram coletadas amostras em cinco agroecossistemas: pastagem nativa, pastagem plantada de braquiária, culturas anuais, um reflorestamento de eucalipto com 15 anos e área de reforma de eucalipto com um ano. O solo foi amostrado em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) e em quatro épocas (novembro/1993, junho/1994, novembro/1994 e junho/1995). O agroecossistema com culturas anuais foi o que mais se diferenciou do ecossistema original de cerrado, e as características mais afetadas foram: K, Ca, Mg, S, P, densidade do solo, microporosidade, porosidade total e percentagem de agregados > 2 mm. Em relação às características químicas, os maiores teores foram encontrados no solo com culturas anuais, decorrentes da calagem e fertilização. Entretanto, o cultivo anual promoveu a deterioração das características físicas com aumento da microporosidade e da densidade do solo, o que pode dificultar o desenvolvimento do sistema radicular e diminuir disponibilidade de água para as plantas. De maneira geral, observou-se que, entre os ecossistemas artificiais, os que requerem manejo menos intensivo foram menos impactantes, notadamente o reflorestamento de eucalipto que, além de promover uma reciclagem de nutrientes a grandes profundidades, praticamente não promove exportação de nutrientes do solo, quando os cortes são feitos a grandes intervalos de tempo.**

**Termos de indexação: sistemas de uso do solo, Latossolos, cerrado, propriedades.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado submetida, pela autora, à Universidade Federal de Lavras - UFLA. Recebido para publicação em dezembro de 1998 e aprovado em agosto de 1999.

<sup>(2)</sup> Pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG/CTSM. Caixa Postal 176. CEP 37200-000 Lavras (MG).

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciências Florestais, DCF/UFLA. Caixa Postal 37. CEP 37200-000 Lavras (MG).

**SUMMARY:** *PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF A DARK-RED LATOSOL AND AGROECOSYSTEM SUSTAINABILITY*

*The agricultural use of soil changes its physical, chemical and biological characteristics. In many instances, these alterations can result in degradation of soil quality, due to destruction of the natural soil cover and excessive use of machines. The objective of this study was to characterize the alterations of some physical and chemical properties of a dystrophic Dark Red Latosol under cerrado vegetation, under different land uses. The soil samples were taken from five different agro-ecosystems: native pasture; improved brachiaria pasture; annual crops; 15 year old reforested land and one year old reforestation with eucalyptus. The soil samples were taken at two depths (0-20 and 20-40 cm), in four periods (November 1993, June 1994, November 1994 and June 1995). The annual crop agro-ecosystem presented the highest difference to the natural cerrado. The more affected characteristics were: K, Ca, Mg, S, P, bulk density, soil microporosity, total porosity and aggregate percentage > 2 mm. In relation to chemical characteristics, higher levels of nutrient were found in soil under annual cultivation as a result of liming and soil fertilization. The annual cultivation leads to soil physical degradation, with increasing microporosity and bulk density, resulting in less root development, and decreasing water availability to the plants. It was observed that among the artificial systems, those which require less intensive managements are the ones which caused less impacts, especially eucalyptus reforestation. Eucalyptus promotes efficient nutrient cycling in deeper layers of the soil profile, with little exportation of soil nutrients, if the cutting at larger intervals is kept.*

*Index terms: land use system, cerrado vegetation, Oxisols, properties.*

**INTRODUÇÃO**

A alteração de ecossistemas naturais ocorre na medida em que eles vão sendo substituídos por atividades voltadas para fins industriais ou produção de alimentos, provocando degradação, proveniente do uso e manejo inadequados dos solos. A degradação dessas áreas é um produto da desvinculação entre o desenvolvimento sustentado e o crescimento econômico, uma vez que “do ponto de vista econômico o desenvolvimento raramente contempla a sustentabilidade” (Resende et al., 1996).

Dentre os vários sistemas de usos existentes, as maiores alterações ocorrem sob agricultura tradicional, com capital e nível tecnológico mínimos, e o sistema agroquímico, com alto investimento de capital. De acordo com Weid (1996), do ponto de vista da eficiência agrônômica, o sistema agroquímico superou todos que o antecederam, embora os resultados não tenham sido homogêneos, comparando os distintos ecossistemas em que foi implantado. Como esse sistema depende intrinsecamente do uso de recursos não-renováveis, a questão da sustentabilidade está diretamente vinculada à durabilidade previsível desses recursos. Por outro lado, a agricultura tradicional requer baixo nível de consumo de insumos externos à propriedade e, conseqüentemente, depende pouco do aporte de energia externa, buscando adaptar-se o máximo possível ao meio ambiente, de forma que, quanto mais heterogêneo for o meio, mais diversificado será o sistema no tempo e no espaço.

No contexto de desenvolvimento agrícola brasileiro, a facilidade de mecanização e a situação geográfica das áreas sob cerrado contribuíram para uma adoção maciça do sistema agroquímico, como base para a implantação de monoculturas ou extensas pastagens e reflorestamentos. Para obter produções econômicas nessas condições, é necessário aplicar adubos e corretivos, além de outras práticas de manejo. Essa correção e fertilização, segundo Goedert & Lobato (1988), trazem alterações químicas, principalmente na camada superficial do solo, favorecendo a eutrofização, tanto mais intensivamente quanto mais mecanizados os sistemas.

Por outro lado, a intensa mecanização, adotada nas áreas sob cerrado, promovendo a alteração da estrutura do solo, interfere nos mecanismos responsáveis pelo transporte de nutrientes e, conseqüentemente, na sua disponibilidade. Há um consenso de que a mecanização agrícola seja a causa mais importante do aumento da densidade do solo; todavia, outras variáveis também influem nesse aspecto. Rosa Jr. et al. (1988) observaram que um LRd, submetido ao cultivo por nove anos, apresentou aumento de densidade do solo, redução da macroporosidade e degradação da estrutura. Os autores verificaram também uma redução no grau de floculação do solo, associada a modificações promovidas pela calagem. Jucksch et al. (1986) avaliaram o efeito de doses e fontes de cálcio na dispersão de argila em um LE. Segundo os autores, foi evidente a associação do fenômeno de dispersão

com a presença de Ca e Mg provenientes do carbonato. A adição de carbonatos de Ca e Mg promoveu a elevação do pH, em virtude da diminuição do Al trocável, e o conseqüente aumento de cargas negativas, alterando, assim, a dinâmica de dispersão e floculação de solo. Com o uso de sulfato ou cloreto, não ocorreu a dispersão dos colóides. De acordo com Costa & Abrahão (1996), o aumento da argila dispersa em água, na camada que recebeu calagem, pode condicionar sua migração em profundidade, onde a presença do Al favorece a floculação, aumentando a densidade do solo subsuperficial.

Vários trabalhos evidenciaram a importância das características do solo na expressão da cobertura vegetal (Bertoni et al., 1982; Batista & Couto, 1992a,b; Johnston, 1992; Sussman & Rakotozafy, 1994; Spera, 1995; van den Berg, 1995). Entretanto, muitos estudos já foram realizados com o objetivo de comparar as alterações dos solos sob diferentes sistemas de uso e manejo, no que diz respeito à alteração de suas características físicas e químicas, sendo essas comparações, na maioria das vezes, feitas para parâmetros físicos ou químicos individualmente, o que dificulta a visualização do conjunto, já que, em termos de ecossistema, pela própria definição, as alterações provocam reações em cadeia, alterando uma série de componentes do ambiente.

Assim, observa-se que, quando as características físicas e químicas do solo são analisadas em conjunto e correlacionadas com os diferentes ecossistemas, a visualização, bem como a ordem de influência dessas variáveis, é bem mais clara (Ter Braak, 1986, 1987; Kent & Coker, 1992; van den Berg, 1995; Souza, 1996). A utilização de técnicas estatísticas que permitam a ordenação de amostras em função de uma série de características simultaneamente permite uma análise conjunta dos fatores ambientais para verificação de suas correlações com diferentes tipos de usos e manejo do solo. A análise de componentes principais (ACP), ordenando características físicas e químicas do solo, sintetiza a variação multidimensional dos dados analisados em um diagrama, ordenando-os nos eixos de acordo com suas similaridades, em termos de variáveis utilizadas.

Este estudo teve por objetivo relacionar as mudanças nas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de cerrado, com a alteração de sua cobertura natural em cinco agroecossistemas, a fim de definir sistemas com características de sustentabilidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

A vegetação original da área de estudo era cerrado sobre Latossolo Vermelho-Escuro originado da decomposição de rochas do Grupo Bambuí, principalmente ardósias. Com o avanço da fronteira

agrícola, a vegetação de cerrado foi sendo substituída, para fins específicos, compondo os diferentes agroecossistemas estudados, segundo a descrição.

### Ecossistemas estudados

As áreas de estudo estão situadas no município de Curvelo (MG), exceto a área com culturas anuais (CA), que está localizada no município de Morro da Garça (MG). Em todos os agroecossistemas estudados, foram sempre observadas a posição topográfica e as condições de insolação. A seguir, é apresentada uma descrição das áreas estudadas.

- (a) Cerrado - CE: Correspondente à área preservada de cerrado nativo, utilizado como referencial para a avaliação das alterações das propriedades físicas e químicas do solo, resultantes de diferentes modalidades de usos agrícolas, considerados agroecossistemas.
- (b) Pastagem Nativa - PN: A área de pastagem natural foi caracterizada por ter sido destituída de suas árvores de maior porte, dando condições para aumento na densidade de gramíneas nativas, e por passar por um processo de queima no final do período seco com o objetivo de estimular a emissão de brotações no início do período chuvoso.
- (c) Pastagem Plantada - PP: A pastagem foi formada há cerca de 10 anos, a retirada do cerrado natural foi efetuada com correntão, recebendo calcário e fósforo, incorporados com aração e gradagem. A espécie plantada era a *Brachiaria decumbens*.
- (d) Culturas Anuais - CA: O sistema de cultivo foi o mecanizado, com aração e gradagem antes do plantio. A primeira (novembro/93) e a terceira (novembro/94) coletas de amostras ocorreram após a colheita do sorgo forrageiro, e a segunda (junho/94) e a quarta (junho/95) após a colheita de milho. Após a segunda amostragem, o solo foi subsolado e recebeu calagem para elevar a saturação por bases a 70%. A adubação aplicada no plantio do milho foi de 600 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-14-8 (+ Zn), mais uma aplicação de cobertura de 250 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio. A cultura do sorgo recebeu 400 kg ha<sup>-1</sup> de 4-14-8 (+ Zn), no plantio, e uma cobertura com 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio.
- (e) Floresta Adulta de Eucalipto - FA: O povoamento adulto de *Eucalyptus grandis*, com 15 anos no início das coletas, encontrava-se com densidade desigual, em função da rebrota heterogênea após o primeiro corte, observando-se, nas clareiras, grande reincidência das espécies nativas no sub-bosque (cagaiteira, araticum, pau terra, barbatimão, faveira), bem como uma disseminação generalizada de gramíneas (*Eragrostis sp.*, *Andropogum sp.*, *Paspalum sp.* etc.).
- (f) Área de Reforma de Eucalipto - RE: Povoamento de *Eucalyptus camaldulensis*, que, no início das

coletas, encontrava-se com um ano de idade. A área, após corte raso do povoamento de *E. grandis* anterior, foi preparada com grade bedding; sendo o plantio feito sobre o camalhão, com adubação fosfatada de cerca de 300 g de superfosfato simples por metro linear.

### Métodos de amostragem e de análises laboratoriais

Foram retiradas amostras em quatro épocas, sendo duas antes do período chuvoso (novembro/93 e novembro/94) e duas após o período chuvoso (junho/94 e junho/95), denominadas cronologicamente Época 1, Época 2, Época 3 e Época 4. Em cada uma das épocas, foram coletadas cinco amostras de solo ao acaso nas profundidades 0-20 e 20-40 cm para cada um dos ecossistemas estudados, as quais foram tomadas como repetições.

Para determinar os teores de macro e micronutrientes, pH, Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>, % C orgânico e argila dispersa em água, foram coletadas cinco subamostras com trado holandês, sendo misturados para compor duas amostras, as quais, depois de secar à sombra, foram homogeneizadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha.

Os teores de pH, Al, Ca + Mg e K disponíveis foram determinados segundo métodos descritos em EMBRAPA (1979). O enxofre foi determinado por turbidimetria (Blanchar et al., 1965), e os teores de carbono orgânico e boro disponível, segundo técnicas descritas por Defelipo & Ribeiro (1981) e Reisenauer et al. (1973), respectivamente. Os micronutrientes Fe, Zn e Mn foram analisados segundo Raji et al. (1987).

A estabilidade de agregados foi determinada segundo Kemper & Chepil (1965) em amostras formadas de torrões, coletadas, separadamente, nos cinco pontos e nas duas profundidades. A determinação da umidade do solo foi realizada em amostras coletadas no ponto médio, nas duas profundidades de amostragem, e acondicionadas em latas de alumínio, vedadas com fita gomada até processamento em laboratório. A secagem foi realizada em estufa a 105-110°C, até peso constante (EMBRAPA, 1979).

A densidade de partícula (Dp), a densidade do solo (Ds), a porosidade total (PoT), a macroporosidade (MaP) e a microporosidade (MiP) foram analisadas a partir de monólitos de solo retirados com o amostrador de Uhland, no ponto médio de cada profundidade. A Dp foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool etílico; a Ds foi obtida pela razão entre o peso da amostra seca a 105-110°C e o volume do cilindro (EMBRAPA, 1979). A porosidade total (PoT) foi estimada pela expressão:  $PoT = (1 - Ds/Dp) \times 100$  (Vomocel, 1965). A macro e a microporosidade do solo foram determinadas em mesa de tensão, segundo métodos descritos por Grohmann (1960) e Oliveira (1968).

### Análises estatísticas

Os efeitos dos sistemas de uso do solo sobre suas características físicas e químicas, em cada época e profundidade, foram verificados a partir da análise de variância, segundo um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. A diferença entre as médias foi avaliada pelo teste de Tukey a 5%.

A análise, agrupando as características físicas e químicas de solo, objetivou sintetizar a variação multidimensional dos dados analisados em um diagrama, ordenando-os nos eixos, de acordo com suas similaridades em termos das variáveis utilizadas (Kent & Coker, 1992). As características físicas selecionadas foram: porosidade total (PoT); macroporosidade (MaP); microporosidade (MiP); densidade do solo (DS), e percentagem de agregados maior que 2 mm ( $Agr > 2$ ). Dentre as características químicas do solo, selecionaram-se: carbono (C); hidrogênio + alumínio (H + Al); cálcio (Ca); magnésio (Mg); fósforo (P); potássio (K); enxofre (S); alumínio (Al); ferro (Fe), e zinco (Zn).

As amostras (ecossistemas) e as variáveis (características físicas e químicas do solo) foram transformadas em coordenadas (escores), que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação, ou autovetores ("eigenvectors"), representando o peso de cada parcela ou variável sobre o eixo, as quais podem ser vistas como equivalentes ao grau de correlação destas com o eixo em questão (Souza, 1996). O autovalor (eigenvalue), que é a soma ao quadrado dos escores de cada eixo, representa o maior grau de correlação possível de todas as parcelas ou variáveis com o eixo e dá uma indicação direta da contribuição relativa de cada eixo para a explicação da variância total dos dados (Ter Braak, 1986, 1987).

Para a execução da ACP, foram produzidas matrizes das características físicas e químicas do solo nas duas profundidades de amostragem. A partir de cada matriz (0-20 e 20-40 cm), foram produzidos diagramas de ordenação dos parâmetros do solo e ecossistemas (natural e agroecossistema). Nos diagramas, a distribuição dos ecossistemas é representada por pontos, que indicam sua correlação com os eixos, enquanto as características do solo são representadas por setas, indicando a direção do gradiente máximo das mesmas, sendo o comprimento da seta proporcional à correlação da característica com os eixos e à sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo.

Um ponto qualquer plotado no diagrama (representando uma parcela de amostragem de certo ecossistema) pode ser relacionado com cada seta (representando a característica do solo), por meio de uma perpendicular partindo da linha da seta até o referido ponto. A ordem na qual os pontos se projetam na seta, da sua extremidade até sua origem, dá uma indicação dessa relação. Ecossistemas com



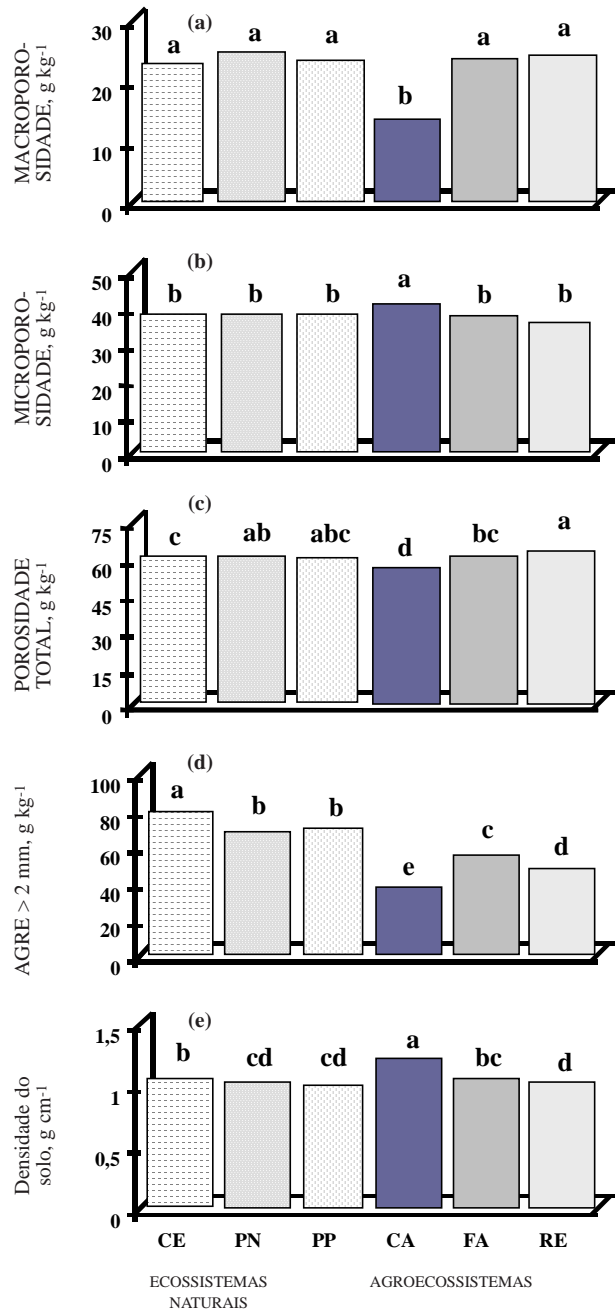
sua projeção perpendicular próxima ou além da ponta da seta são positivamente correlacionados e influenciados pela característica em questão. Aqueles na extremidade oposta são influenciados em menor grau. O ângulo de inclinação de cada seta com relação a cada eixo indica quão estreitamente correlacionada está a característica com esse eixo.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As características físicas do solo demonstraram, de maneira geral, degradação de sua qualidade, a qual foi relacionada com o uso. O agroecossistema culturas anuais (CA) foi o mais alterado em relação ao cerrado nativo (CE) (Figura 1), de onde se infere que o revolvimento deste solo para plantio das culturas do milho e do sorgo forrageiro resultou numa maior degradação nas suas propriedades físicas. A alteração da estrutura, com sensível diminuição na macroporosidade (Figura 1a), porosidade total (Figura 1c), agregados > 2 mm (Figura 1d) e aumento na microporosidade (Figura 1b) e na densidade do solo (Figura 1e), além de provocar alteração no fluxo de água do solo, no fluxo de nutrientes, na atividade microbiana, atua, conseqüentemente, no desenvolvimento das culturas e no processo erosivo, que se intensifica à medida que a capacidade de infiltração diminui e o solo fica mais suscetível ao efeito do impacto das gotas de chuva. Observa-se, na figura 1, que a degradação física foi menor quando a intensidade de mecanização foi intermediária.

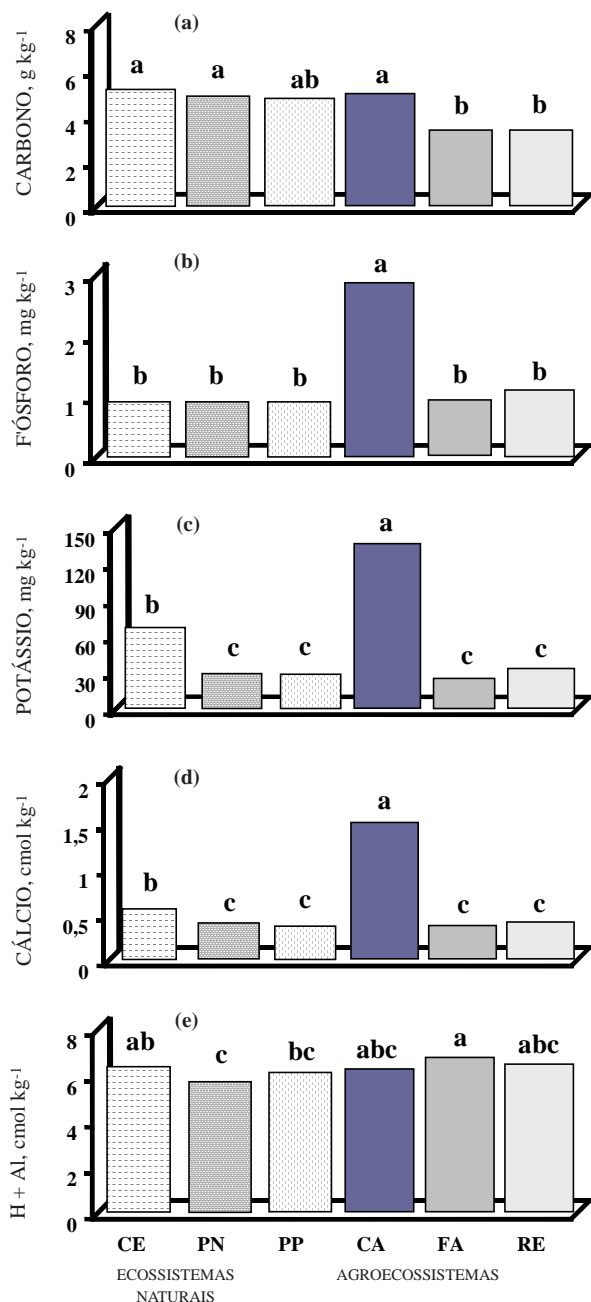
No que diz respeito às características químicas, nas condições naturais, os solos sob cerrado não são capazes de promover produções economicamente compensadoras, pois, quimicamente, não favorecem o desenvolvimento da maioria das culturas comerciais, exigentes em nutrientes. Contrário ao que ocorre com as propriedades físicas, observam-se (Figuras 2 e 3) substanciais aumentos nos teores de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, bem como diminuição da acidez e do teor de Al trocável no sistema culturas anuais (CA), quando comparado com os demais.

Apesar da menor disponibilidade de nutrientes, o cerrado nativo apresentou maior concentração de carbono no solo (Figura 2a). Possivelmente, isso pode ser atribuído às menores alterações ambientais com conseqüente maior equilíbrio dinâmico entre os processos de decomposição e produção. De acordo com Breemen (1995) e Bargali et al. (1993), os padrões de decomposição da necromassa dependem de vários fatores. Plantas crescendo em condições pobres em nutrientes, além de investirem muito no desenvolvimento do sistema radicular, também tendem a maximizar a eficiência de seu uso. Essas condições contribuem para o maior aporte de carbono no solo.



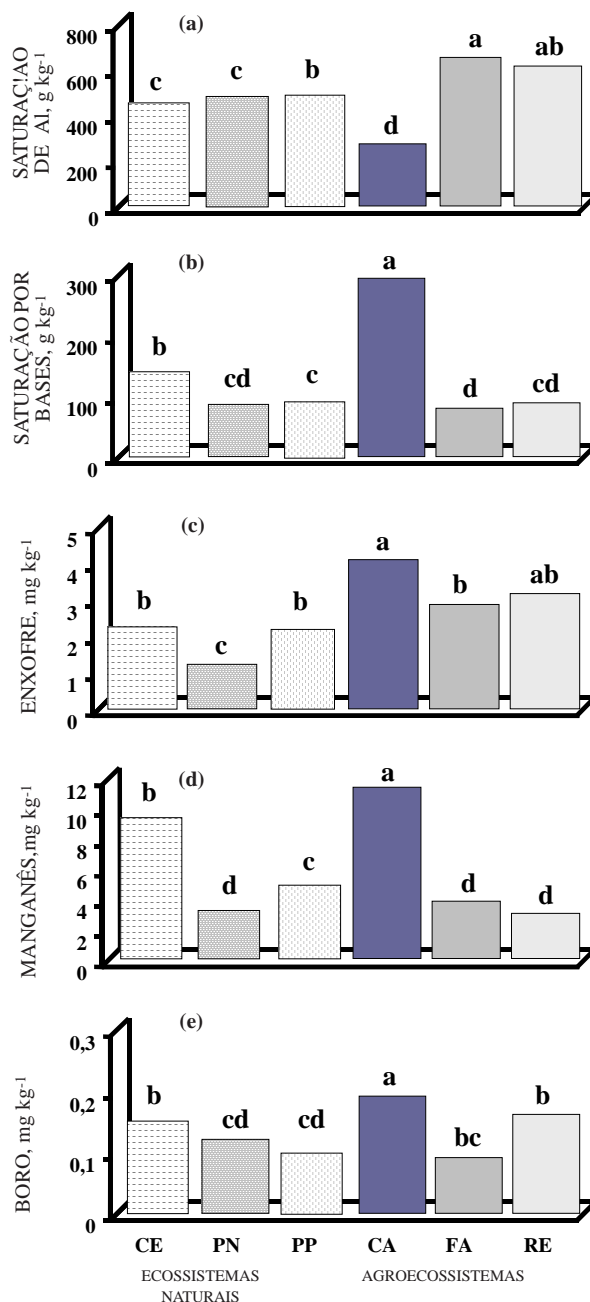
**Figura 1. Alteração nas características físicas de um LED, sob diferentes usos (CE, cerrado; PN, pastagem nativa; PP, pastagem plantada; CA, culturas anuais; FA, reflorestamento de eucalipto com 15 anos, e RE, reflorestamento com 1 ano). Barras com letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste Tukey a 5%.**

Quanto aos teores de nutrientes, exceto para o fósforo, enxofre e boro (Figuras 2b, 3c e 3e), todos os demais agroecossistemas apresentaram menores concentrações que o CE, o que evidencia que a ocupação dessas áreas com sistemas agrícolas que



**Figura 2.** Alteração nas características físicas de um Led, sob diferentes usos (CE, cerrado; PN, pastagem nativa; PP, pastagem plantada; CA, culturas anuais; FA, reflorestamento de eucalipto com 15 anos, e RE, reflorestamento com 1 ano). Barras com letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste Tukey a 5%.

não receberam nutrientes de fontes externas resulta numa deterioração das características químicas desses solos. O efeito foi mais evidente para o Ca, K, Mn e saturação por bases e Al (Figuras 2 e 3). Tomando o cerrado como referência, pode-se dizer que o sistema de culturas anuais é o que apresenta



**Figura 3.** Alteração nas características químicas de um LED, sob diferentes usos (CE, cerrado; PN, pastagem nativa; PP, pastagem plantada; CA, culturas anuais; FA, reflorestamento de eucalipto com 15 anos, e RE, reflorestamento com 1 ano). Barras com letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste Tukey a 5%.

características de sustentabilidade nutricional maior. Os demais têm efeito degradativo na concentração dos nutrientes essenciais.

Estudos têm demonstrado grandes quedas no conteúdo de matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com culturas anuais na região dos

cerrados, sendo estimado que, em torno de três a quatro anos, os conteúdos de matéria orgânica são reduzidos pela metade (Silva et al., 1995). Entretanto, tal comportamento no conteúdo de matéria orgânica não foi verificado neste trabalho.

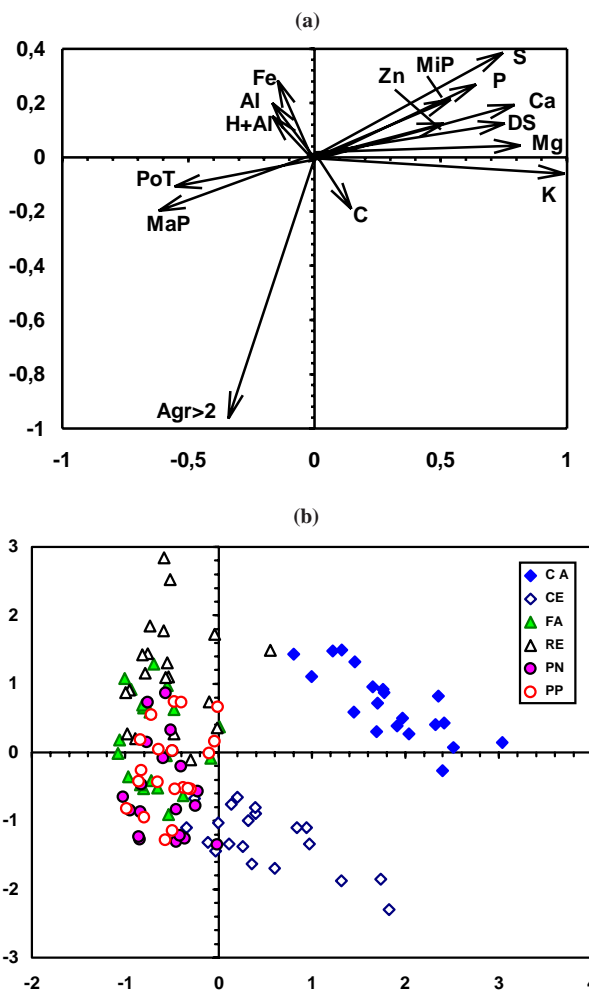
As figuras 4a e 5a mostram a ordenação das características físicas e químicas do solo e as figuras 4b e 5b mostram a ordenação dos ecossistemas, produzidos pela análise de componentes principais (ACP). Os gradientes ambientais, a importância relativa e intercorrelação entre as características físicas e químicas são mostrados pelos diagramas das figuras 4a e 5a. O comprimento das setas é proporcional à sua importância e os ângulos entre elas refletem as intercorrelações entre as variáveis. O ângulo entre determinada seta e cada eixo de ordenação representa um grau de correlação com o eixo (Souza, 1996).

Para a profundidade de solo de 0-20 cm, a ACP (Figura 4a) apresentou autovalores (eigenvalues) de 0,792, para o primeiro eixo, e de 0,137, para o segundo eixo, o que representa 79,2 e 92,9% (0,792 + 0,137) da variância total acumulada nos dois primeiros eixos, com a maior percentagem de variação explicada pelo primeiro eixo. Dessa forma, podem-se desprezar os demais eixos de ordenação, já que o gráfico bidimensional proporciona uma ordenação clara das características físicas e químicas do solo (Ter Braak, 1986). As características físicas e químicas, mais fortemente correlacionadas com o primeiro eixo de ordenação foram: K, Ca, Mg, S, Ds, e P com índices de correlação de 1,0; 0,78; 0,76; 0,73; 0,72, e 0,60, respectivamente (Figura 4a). No segundo eixo, com variância desprezível em relação ao primeiro (13,7%), as características mais relevantes foram: S (0,38); P (0,27); Fe (0,26); MP (0,21); Ca (0,22) e Al (0,20). Observa-se que, tanto no primeiro quanto no segundo eixo, as características químicas do solo apresentaram as maiores correlações e que, dentre as características físicas, a densidade do solo apresentou maior correlação com o primeiro eixo, enquanto a microporosidade apresentou maior correlação com o segundo.

Em relação aos ecossistemas apresentados no diagrama de ordenação (b) da figura 4, observa-se nítida tendência de agrupamento das parcelas da CA no quadrante superior direito e do CE no quadrante inferior direito. Para os demais ecossistemas, não se observa uma separação nítida, de onde se infere maior homogeneidade entre eles. Observa-se, ainda, que os ecossistemas FA, PN e PP encontram-se relativamente próximos da região central do diagrama, revelando menor correlação com as características físicas e químicas de maior relevância.

O agroecossistema CA foi o que se posicionou mais à direita do diagrama, seguido pelo CE, porém na parte inferior. Isto indica que, em ambos os casos, as

características identificadas como as mais fortemente correlacionadas com o primeiro eixo foram também os fatores que mais influenciaram o comportamento desses ecossistemas. Os teores de Ca, Mg, S, Ds e P revelaram maior peso e correlação com a cultura anual, enquanto o K apresentou maior correlação com o cerrado. Como o agroecossistema CA recebeu calagem e adubações de plantio periodicamente, intensiva mecanização para preparo e cultivo, esperam-se maiores correlações para esses parâmetros.



**Figura 4. Diagrama de ordenação dos parâmetros físicos e químicos do solo (a) e dos ecossistemas analisados (b): CE, cerrado; PN, pastagem nativa; PP, pastagem plantada; CA, culturas anuais; FA, reflorestamento de eucalipto com 15 anos, e RE, reflorestamento com 1 ano; produzidos por análise de componentes principais, na profundidade de 0-20 cm. Significado das abreviaturas das características do solo apresentadas no diagrama a, vide texto.**

Considerando a maior  $D_s$  e o maior volume de microporos, pode-se afirmar que o cultivo anual provocou maior compactação do solo. Os ecossistemas FA, PN e PP, provavelmente por apresentarem sistema radicular mais denso e por não receberem insumos, foram mais influenciados pelos parâmetros físicos do solo, apresentando maior correlação com PoT, MaP e  $Agr > 2$  mm. Essa maior

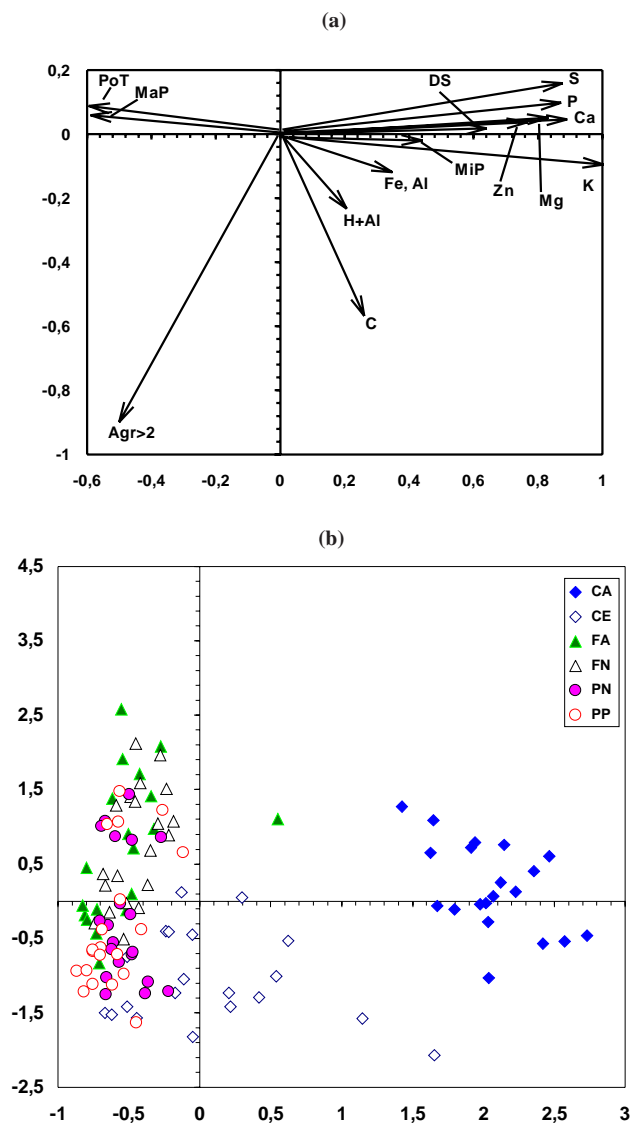
correlação com esses parâmetros físicos do solo indica que esses ecossistemas estão menos suscetíveis aos mecanismos de erosão do solo, tanto por apresentarem maior infiltração da água, quanto por apresentarem cobertura vegetal mais densa, evitando assim o impacto da gota de chuva sobre o solo, o selamento e o escoamento superficial.

A reforma de eucalipto mostrou tendência diferenciada, provavelmente por ainda se apresentar com uma cobertura vegetal de baixa densidade, sem sub-bosque, bem como pelo fato de, após a retirada da madeira, ter ocorrido incorporação da serrapilheira do plantio anterior. O processo de decomposição de restos orgânicos diferenciados favoreceu o aumento da acidez potencial do solo ( $H + Al$ ) e, conseqüentemente, aumentou o alumínio na solução do solo e o ferro nesse ecossistema (Alvarenga, 1996).

Para a profundidade de 20-40 cm, a ACP, mostrada na Figura 5, apresentou autovalores (eigenvalues) de 0,791, para o primeiro eixo, e de 0,135, para o segundo eixo, o que representa 79,1 e 92,6% da variância total acumulada nos dois primeiros eixos, com maior percentagem de variação explicada no primeiro eixo. Como os demais eixos juntos só explicariam 7,4% da variância total, a visualização dos efeitos em gráfico bidimensional é mais clara, não sendo necessário utilizá-los na avaliação dos resultados da ACP (Ter Braak, 1987). De maneira geral, as características físicas e químicas do solo (Figura 5a) mais correlacionadas com o primeiro eixo de ordenação, na profundidade de 20-40 cm, são as mesmas da profundidade 0-20 cm, quais sejam: K com índice de correlação igual a 1,0; Ca com 0,87; P com 0,86; S com 0,85; Mg com 0,79;  $D_s$  com 0,75 e Zn com 0,62.

O segundo eixo apresentou 13,5% de variância, considerada desprezível em relação ao primeiro (79,1%), e mostrou, como características mais relevantes, o S (0,153), o P (0,10), a PoT (0,08), a MaP (0,06), o Ca (0,05), o Mg (0,05) e a  $D_s$  (0,04).

Quanto aos ecossistemas apresentados no diagrama de ordenação da figura 5b, observa-se nítido agrupamento das parcelas da CA do lado direito. Os demais ecossistemas não apresentaram essa separação, concentrando-se a maioria do lado esquerdo do diagrama, apesar de oito amostras do CE permanecerem do lado direito. Ecossistemas mais agrupados são mais homogêneos entre si. Infere-se daí que, em relação ao CE, o ecossistema CA é o mais heterogêneo nessa profundidade de amostragem. Para os demais ecossistemas, observa-se uma tendência de o FA e o RE concentrarem-se no quadrante superior esquerdo e o PN e PP, no quadrante inferior esquerdo, mais próximo do CE. Observa-se, ainda, que os ecossistemas que se posicionam relativamente próximos da região central do diagrama apresentam menor correlação com as características físicas e químicas de maior relevância.



**Figura 5. Diagrama de ordenação dos parâmetros físicos e químicos do solo (a) e dos ecossistemas analisados (b): CE, cerrado; PN, pastagem nativa; PP, pastagem plantada; CA, culturas anuais; FA, reflorestamento de eucalipto com 15 anos e RE, reflorestamento com 1 ano; produzidos por análise de componentes principais, na profundidade de 20-40 cm. Significado das abreviaturas das características do solo apresentadas no diagrama a, vide texto.**



A cultura anual foi o agroecossistema que se posicionou mais à direita do diagrama (Figura 5b), indicando que as características (Figura 5a) mais correlacionadas com o primeiro eixo (K, Ca, P, S, Mg, Ds e Zn) foram também as que mais influenciaram o comportamento do agroecossistema CA. Observa-se, ainda, serem as mesmas características que se correlacionaram com o ecossistema CA na profundidade de 0-20 cm (Figura 4a). Infere-se que o sistema de manejo adotado no CA tem seu efeito verificado até essa profundidade. O CE apresentou certa dispersão de amostras para o lado direito do diagrama (Figura 5b), indicando que, na profundidade de 20-40 cm, os teores de C, H + Al, Fe e Al (Figura 5a) apresentaram maior peso na correlação, ao contrário do que ocorreu na profundidade de 0-20 cm, onde se observa (Figura 4a) terem esses parâmetros, com exceção do C, apresentado tendência de maior correlação com o RE. Nessa profundidade de amostragem, não houve interferência da qualidade do material incorporado nem da vegetação de sub-bosque, de forma que, no ecossistema CE, esperava-se um maior teor de C porque, como não houve influência antrópica, o processo de decomposição do material orgânico depositado sobre o solo e, ou, do sistema radicular ocorreu proporcionalmente ao seu aporte, enquanto, no RE, o processo de preparo do solo alterou a dinâmica natural de decomposição.

A maior concentração de amostras dos ecossistemas FA, RE, PN, PP e CE, no centro do diagrama, indica serem estes mais homogêneos entre si e, conseqüentemente, menos alterados em suas características em relação ao CE. Outro aspecto demonstrado pela observação conjunta dos diagramas (Figuras 5a e 5b) é que esses ecossistemas foram mais influenciados pelas características físicas do solo (PoT, MaP e Agr > 2 mm).

Considerando que, em condições naturais, esses solos são quimicamente pobres, os usos que favorecem a degradação das características físicas são mais desfavoráveis em termos de qualidade ambiental, já que, a partir da degradação de sua estrutura, a possibilidade de se instalar o processo erosivo e as conseqüências daí advindas (perda de solo, assoreamento, perda de nutrientes) são mais prejudiciais do que os usos que não o expõem a processos de erosão intensos, embora sem alterar suas características químicas. O fato de se observar esse efeito também na profundidade de 20-40 cm indica que o aproveitamento das áreas de cerrado para reflorestamento com espécies de rápido crescimento, bem como para formação de pastagem, com vistas em colocá-las no processo produtivo e aumentar o abastecimento de alimentos para a população crescente, é menos degradante que o cultivo de culturas anuais que, além de requerer uma aplicação maciça de insumos para atingir produtividade satisfatória, requer uma mecanização intensiva.

## CONCLUSÕES

1. Com base na análise de componentes principais, verificou-se que as características do solo mais correlacionadas com as alterações nos agroecossistemas estudados foram o potássio, o magnésio, o cálcio, o enxofre, a densidade do solo, a porosidade total e a percentagem de agregados maiores que 2 mm.
2. A análise de componentes principais permite uma visualização conjunta das características que mais influíram no comportamento do solo dos diferentes agroecossistemas estudados.
3. Solos sob diferentes usos diferiram quanto às características físicas e químicas em relação ao cerrado nativo, sendo essas alterações mais evidentes na camada superficial do solo.
4. Agrossistemas que não receberam constante aporte externo de nutrientes apresentaram características químicas desfavoráveis em relação ao ecossistema original, sendo esses efeitos mais evidentes para carbono, cálcio, potássio, manganês, boro, saturação por bases, alumínio trocável e saturação por alumínio.
5. Na floresta de eucalipto adulto, houve alterações nas características químicas do solo com aumento nos teores de cálcio, magnésio e boro.
6. O agroecossistema de culturas anuais apresentou maior alteração em relação ao cerrado, e, sob os aspectos químicos, houve aumento nos teores de nutrientes e diminuição do alumínio. Em relação aos aspectos físicos, foi o que apresentou maior degradação da estrutura, com aumento na densidade do solo e microporosidade e diminuição na percentagem de agregados maiores que 2 mm.

## LITERATURA CITADA

- ALVARENGA, M.I.N. Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 211p. (Tese de Doutorado)
- BARGALI, S.S.; SINGH, S.P. & SINGH, R.P. Patterns of weight loss and nutrient release from decomposing leaf litter in an age series of eucalypt plantation. *Soil Biol. Biochem.*, 25:1732-1738, 1993.
- BATISTA, E.A. & COUTO, H.T.Z. Influência dos fatores físicos do solo sobre o desenvolvimento de espécies florestais mais importantes do cerrado da Reserva Biológica de Mogi-Guaçu. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1992. Anais. São Paulo, Instituto Florestal, 1992a. p.318-323.
- BATISTA, E.A. & COUTO, H.T.Z. Influência dos fatores químicos do solo sobre o desenvolvimento de espécies florestais mais importantes do cerrado da Reserva Biológica de Mogi-Guaçu. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1992. Anais. São Paulo, Instituto Florestal, 1992b. p.324-329.

- BERTONI, J.E.; STUBBLEBINE, W.H.; MARTINS, F.R. & LEITÃO FILHO, H.F. Nota prévia: comparação fitossociológica das principais espécies de florestas de terra firme e de várzeas na Reserva Estadual de Porto Ferreira (SP). In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, Campos do Jordão. Silv. São Paulo, 16A:563-571, 1982.
- BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acid. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:71-72, 1965.
- BREEMEN, N. von. Nutrient cycling strategies. *Plant Soil*, 168/169:321-326, 1995.
- COSTA, L.M. & ABRAHÃO, W.A.P. Compactação e adensamento de solos relacionados às propriedades químicas, físicas e sedimentológicas. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS, UFV, DPS, 1996. p.429-443.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- GOEDERT, W. & LOBATO, E. Agronomic considerations of modern agriculture on oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP. CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8., Rio de Janeiro. Proceedings. Rio de Janeiro, 1988. p.203-210.
- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. *Bragantia*, 19:319-328, 1960.
- JOHNSTON, M.H. Soil-vegetation relationships in a Tanobuco forest community in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *J. Trop. Ecol.*, 8:253-263, 1992.
- JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; RIBEIRO, A.C. & SOPRANO, E. Efeito da calagem na dispersão de argila em Latossolo Vermelho-Escuro. *R. Ceres*, 33:456-460, 1986.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part.1, p.499-510.
- KENT, M. & COKER, P. *Vegetation description and analysis, a practical approach*. London, Belhaven Press, 1992. 363p.
- OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela "em mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 3:197-200, 1968.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGILIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M. & HOEFT, R.G. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., eds. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Science Society of American, 1973. p.418-425.
- RESENDE, M.; KER, J.; & BAHIA FILHO, A.F.C. Desenvolvimento sustentado no cerrado. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.169-199
- ROSA Jr., E.J.; SILVA, T.C.A. & COSTA, L.M. Efeito de sistemas e tempo de manejo sobre algumas características de um Latossolo Roxo Distrófico na município de Ponta Porã, MS. *R. Cient. Cult.*, 3:26-32, 1988.
- SILVA, A.J.; LIMA Jr., M.A.; FERREIRA, N.C.M. & FRAGA, V.S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:141-144, 1995.
- SOUZA, E.R. Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 91p. (Tese de Mestrado)
- SPERA, S.T. Inter-relações entre propriedades físico-hídricas do solo e a ocorrência de vegetação de mata e campos adjacentes no Alto Rio Grande (MG). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1995. 78p. (Tese de Mestrado)
- SUSSMAN, R.W. & RAKOTOZAFY, A. Plant diversity and structural analysis of a tropical dry forest in Southwestern Madagascar. *Biotrópica*, 26:241-254, 1994.
- TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67:1167-1179, 1986.
- TER BRAAK, C.J.F. Ordination. In: JONGMAN, R.H.G.; TER BRAAK, C.J.F. & van TONGEREN, O.F.R., eds. *Data analysis in community and landscape ecology*. Oxford, University Press, 1987. p.91-173.
- van DEN BERG, E. Estudo florístico e fitossociológico de uma floresta ripária em Itutinga, MG, e análise das correlações entre variáveis ambientais e a distribuição das espécies de porte arbóreo-arbustivo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1995. 73p. (Tese de Mestrado)
- VOMOCEL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 1. p.299-314.
- WEID, J.M. von der. Conceitos de sustentabilidade e sua aplicação nos modelos de desenvolvimento agrícola. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.353-366.