



Universidade de São Paulo

Biblioteca Digital da Produção Intelectual - BDPI

Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/LCF

Artigos e Materiais de Revistas Científicas - ESALQ/LCF

2012

Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica

SCIENTIA FORESTALIS, v. 40, n. 94, pp. 187-201, JUN, 2012

<http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/34515>

Downloaded from: Biblioteca Digital da Produção Intelectual - BDPI, Universidade de São Paulo

Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica

Soil and productivity mapping of *Eucalyptus grandis* plantations, using a geographic information system

José Leonardo de Moraes Gonçalves¹, Clayton Alcarde Alvares², Thais Dias Gonçalves³, Rildo Moreira e Moreira⁴, João Carlos Teixeira Mendes⁵ e José Luiz Gava⁶

Resumo

A caracterização ambiental detalhada de uma propriedade rural é imprescindível para seu planejamento técnico e financeiro, tanto do ponto de vista científico, como de aplicação tecnológica. Este trabalho teve como objetivos fazer a caracterização fisiográfica e pedológica e o mapeamento da produtividade de plantações de eucalipto em Itatinga, SP, com uso de sistema de informação geográfica, bem como identificar relações de causa e efeito entre a produtividade florestal e os atributos edáficos. As fontes primárias de dados usadas foram fotografias aéreas e levantamento de campo e, como fontes secundárias, carta topográfica, mapa geológico e mapa de uso e ocupação do solo. Para o mapeamento da produtividade aos seis anos de idade, foram usados dados de inventário de parcelas permanentes (mesma espécie, procedência e idade) obtidos em plantações de *Eucalyptus grandis*. A produtividade das plantações foi relacionada com alguns atributos físicos e químicos dos solos por meio de análise de correlação simples e de análises de regressão múltipla. Foram identificados dois padrões de curvas de nível, um com curvas próximas, estreitas e circundantes à rede de drenagem, nas áreas mais íngremes e de menor altitude; outro, com curvas espaçadas, presentes nas áreas de maior altitude e com relevo plano e suave ondulado. Foram caracterizados seis tipos de solo estreitamente relacionadas com os padrões fisiográficos: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média, LVAd (47,5% da área de estudo), Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura argilosa, LVd1 (33,4%), Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média, LVd2 (6%), Latossolo Vermelho Distroférrico típico A moderado textura argilosa, LVdf (9,1%), Gleissolo, G (3,4%) e Neossolo Flúvico, RY (0,6%). Houve ampla variação de produtividade de madeira nas plantações de *Eucalyptus grandis*, caracterizadas em seis classes, com amplitude total variando de 26 a 52 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Essas variações de produtividade estavam estreitamente relacionadas com as unidades de solo. Por meio de análises de regressão múltipla, constatou-se que os teores de argila e de matéria orgânica foram os atributos que mais explicaram as diferenças de produtividade.

Palavras-chave: eucalipto, levantamento pedológico, qualidade de sítio florestal e geoprocessamento

Abstract

Detailed environmental land characterization is essential for technical and financial planning, for both the scientific point of view and technological application. This work aimed at the physiographic and pedological characterization and eucalyptus productivity mapping at Itatinga Forest Sciences Experimental Station (southeastern Brazil), using geographic information systems in order to identify possible cause-effect relationships between forest productivity and soil attributes. The digital cartographic dataset was structured as follows: as primary source of data, aerial photograph and field survey were used and, as a secondary source, topographical, geological and land use occupation maps were used. For mapping wood productivity at age six (MAI6, Mean Annual Increment), inventory data of permanent plots (same species, provenance and age) were used, which were obtained from *Eucalyptus grandis* plantations. Using simple linear

¹USP – Universidade de São Paulo - ESALQ - Depto. de Ciências Florestais, Av. Pádua Dias, 11, C.P. 09 - 13418-900 - Piracicaba, SP - Brasil. E-mail: jlmgonca@usp.br

²IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e FPC - Forest Productivity Cooperative, Av. Comendador Pedro Morganti, 3500 - 13415-000 - Piracicaba, SP - Brasil. E-mail: clayton@ipef.br

³FUNAI - Fundação Nacional do Índio - SEPS Quadra 702/902 Projeção A, Ed. Lex - 70390-025 - Brasília, DF - Brasil. E-mail: thais.goncalves@funai.gov.br

⁴USP – Universidade de São Paulo - ESALQ - Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, Estrada do Distrito do Lobo s/n, C.P. 30 - 18690-000 - Itatinga, SP - Brasil. E-mail: moreira@esalq.usp.br

⁵USP – Universidade de São Paulo - ESALQ USP/ESALQ - Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, Bairro Lagoa - Bacia de Acumulação de Barra Bonita s/n - Anhembi, SP - Brasil. E-mail: jctmende@esalq.usp.br

⁶Suzano Papel e Celulose, Rod. Raposo Tavares, km 169 - 18200-000 - Itapetininga, SP - Brasil. E-mail: jgava@suzano.com.br

correlation and backward stepwise multiple regression analysis, the dependent variable (MAI) was related with physical and chemical characteristics of the soils. Two standards of contour curves were identified, one with close curves, narrow and surrounding the drainage network, in the steeper and lower altitude areas; the other, with spaced contour lines, in the areas of higher altitude and with plane relief. Six types of soils were characterized as being highly related to the physiographic patterns of the area: loamy sandy to sandy clayey Typic Hapludox (LVAd, 47.5%), clayey Rhodic Hapludox (LVd1, 33.4%), sandy clay Rhodic Hapludox (LVd2, 6%), clayey Rhodic Hapludox (LVdf, 9.1%), Entisols (G, 3.4%) and Fluvents soil (RY, 0.6%). There were large variations in wood productivity in the *Eucalyptus grandis* plantations, characterized in six classes, ranging from 26 to 52 m³ ha⁻¹ yr⁻¹. These productivity changes were strictly related to soil mapping units. Through multiple regression analysis, we found that clay and organic matter contents were the attributes which most strongly explained the productivity differences.

Keywords: eucalyptus, soil survey, forest site quality and geoprocessing

INTRODUÇÃO

A caracterização ambiental detalhada de uma propriedade rural é imprescindível para seu planejamento técnico e financeiro. O planejamento da pesquisa ou da produção florestal conta com subsídios fundamentais para a definição de práticas mais precisas e adequadas de manejo florestal. Da perspectiva legal, segundo a legislação brasileira (BRASIL, 1991), o uso de uma propriedade rural deve considerar o aproveitamento racional dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente. Essas determinações são obtidas geralmente com base num plano de manejo técnico, fundamentado nas características climáticas, fisiográficas, hídricas, edáficas e florísticas das bacias hidrográficas.

Para fazer as caracterizações fisiográficas, levantamentos pedológicos e os mapeamentos de produtividade florestal, tem-se empregado o geoprocessamento, uma ferramenta muito útil e prática, que facilita a espacialização e visualização das informações, tornando os resultados mais abrangentes, precisos, padronizados e melhor apresentados, possibilitando múltiplas combinações e interação de informações no sentido de aprimorar o manejo florestal (ALVARES *et al.*, 2011; GHANI *et al.*, 1995; ORTIZ *et al.*, 2006).

Dois métodos são comumente usados para avaliar a qualidade e estimar a produtividade dos sítios florestais: o direto e o indireto (CARMEAN, 1975). O primeiro método é aquele em que a produtividade do sítio é estimada diretamente das avaliações de crescimento das árvores que ocorrem no sítio como o diâmetro, a altura e o índice de sítio (BATISTA; COUTO, 1986; KRONKA *et al.*, 2005; TONINI *et al.*, 2002). O segundo método estima a produtividade do sítio indiretamente, por meio de variáveis ambientais (climáticas, fisiográficas e edáficas), de plantas indicadoras (por ex., invasoras do sub-

bosque) ou pela vegetação original (BELLOTE; DEDECEK, 2006; CORRÊA; MARCOLIN, 1993; STAPE *et al.*, 1997).

Entre os métodos indiretos, os mais empregados no setor florestal têm sido o levantamento de solo (AHN, 1962; COSTA *et al.*, 2009; GONÇALVES, 1988; TARRANT, 1950) e os modelos de análise multivariada de relação solo-sítio (EVANS; TURNBULL, 2004; GONÇALVES *et al.*, 1990; MEIO *et al.*; 1995;). As técnicas de geoprocessamento têm sido usadas em ambos os métodos (COUTO; VETTORAZZI, 1991). Os métodos citados são a base para realização de um plano de manejo para áreas de reflorestamento. Nesse contexto, Lima (1998) avaliou que o plano de manejo florestal possibilita o acompanhamento da evolução das características ambientais, o que evita a destruição de ecossistemas, da biodiversidade, a degradação de microbacias, a diminuição da reserva de nutrientes do solo e a desfiguração da paisagem.

Este trabalho teve como objetivo fazer a caracterização fisiográfica e pedológica e o mapeamento da produtividade de plantações de eucalipto na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, SP, com uso de sistema de informação geográfica, bem como identificar relações de causa e efeito entre a produtividade florestal e os atributos edáficos.

MATERIAL É MÉTODOS

A área de estudo, com 2118 hectares, pertence a Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI). Está localizada entre os paralelos 23°00'55" – 23°05'06" latitude sul e os meridianos 48°37'00" – 48°39'57" longitude oeste, no município de Itatinga, estado de São Paulo (Figura 1). A área estava ocupada com vegetação nativa, plantações florestais e benfeitorias. A vegetação nativa compreende vegetação de brejo, florestas ciliares e Floresta Estacional

Semidecidual (SARTORI *et al.*, 2002; IF, 2005). As áreas destinadas à preservação permanente e reserva legal somam 548 ha, 26% da área total. As plantações florestais, de 1570 ha, eram em sua maioria de *Eucalyptus* e *Pinus* (STAPE *et al.*, 1998; IF, 2002). Os plantios pioneiros foram estabelecidos entre 1940 e 1945. Outros 536 ha são usados para experimentação em silvicultura, ambiência e tecnologia de produtos florestais, com essências florestais nativas e exóticas.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, foi caracterizado como Cfa: úmido e quente no verão, inverno frio e pouco seco (ROLIM *et al.*, 2007). A precipitação média anual é de 1400 mm, com 48% concentrada no verão, 23% na primavera, 21% no outono e 8% no inverno. A temperatura média anual é de 20,4 °C, com mínimo de 8,9 °C em julho e máxima de 28,8 °C em janeiro. Não há déficit hídrico (Figura 2). Há poucos dias de temperatura mínima abaixo dos 5 °C.

O material geológico da área é do período Cretáceo, distinguido por duas litologias: arenítica, Formação Marília, do Grupo Bauru, e basáltica, Formação Serra Geral, do Grupo São Bento. O Grupo Bauru caracteriza-se pela pre-

sença de arenitos com granulação fina a grossa, compreendendo bancos maciços em tênues estratificações cruzadas de médio porte. Subordinadamente ocorrem lentes de siltitos, argilitos e arenitos muito finos. Há presença de nódulos carbonáticos. O Grupo São Bento destaca-se pela presença de rochas vulcânicas dispostas em derames basálticos com coloração cinza a negra, textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos e médios, apresentando estratificação cruzada tangencial vitrofrícos não individualizados (IPT, 1984; IPT, 1981a).

A região que compreende a EECFI apresenta relevo com colinas amplas, típico do Planalto Ocidental Paulista (IPT, 1981b). Predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Na rede de drenagem predomina um padrão de baixa densidade, subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Para a estruturação da base cartográfica digital, como fontes primárias de dados foram usadas fotografias aéreas e levantamento de campo e, como fontes secundárias, cartas topográficas,

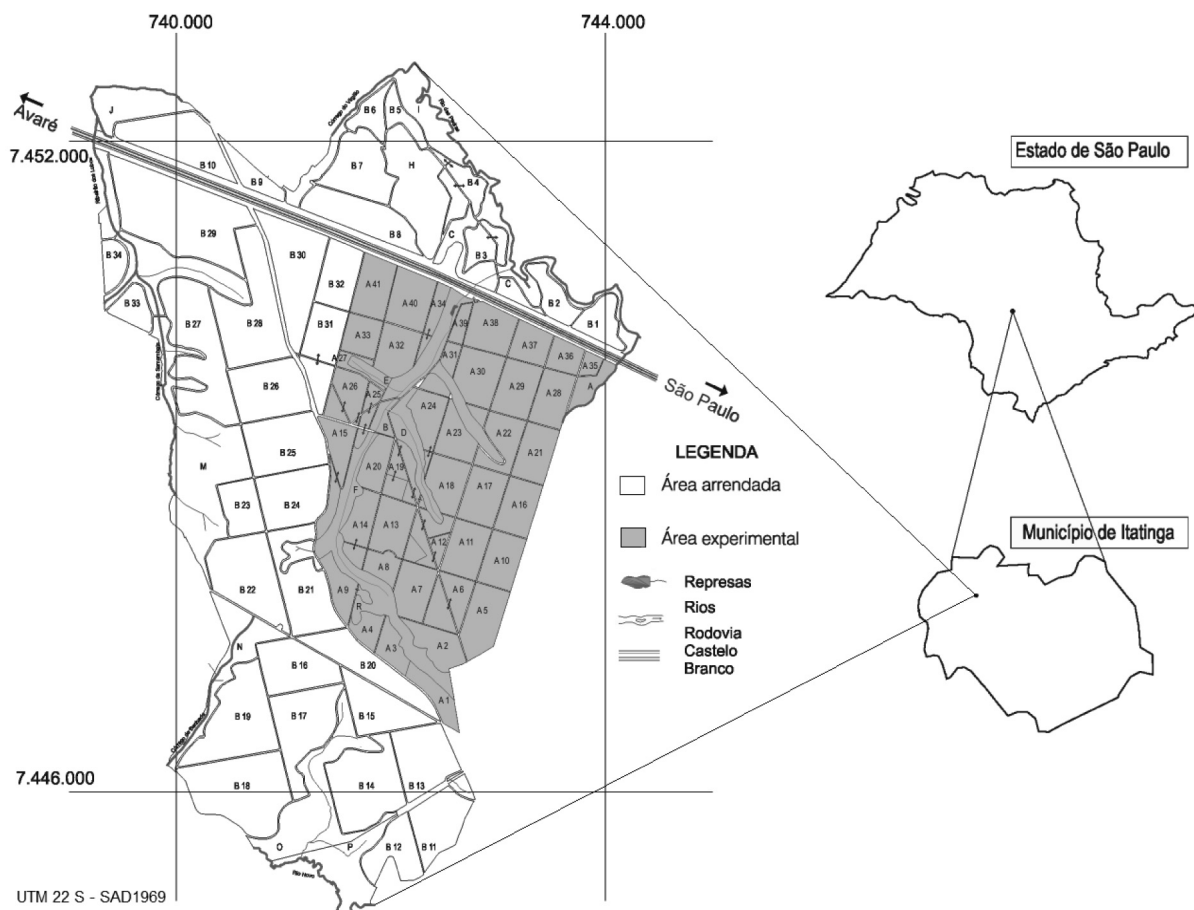


Figura 1. Mapa de localização e de divisão territorial da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga.
Figure 1. Location map and territorial division of the Itatinga Forest Sciences Experimental Station.

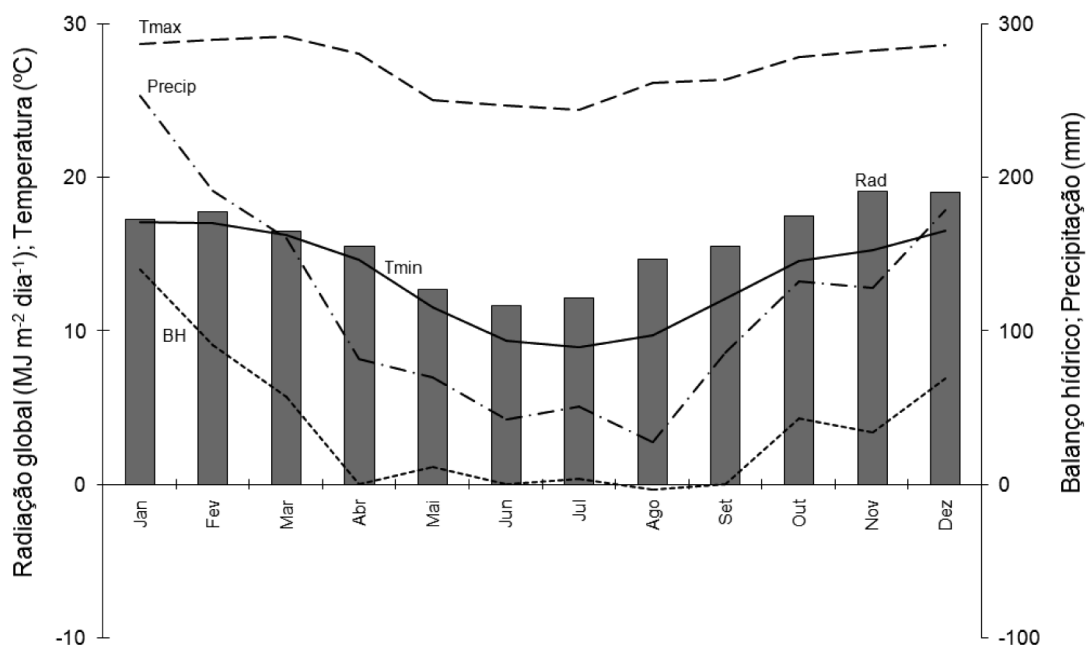


Figura 2. Diagrama climático obtido na estação meteorológica da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (23°02'47"S, 48°38'49"O, 790 m), por meio de coleta de dados entre 1990 e 2007. A temperatura média anual foi de 20,4 °C, a precipitação pluviométrica anual total foi de 1.400 mm e a radiação global média estimada foi de 15,8 MJ m⁻² dia⁻¹.

Figure 2. Climatic diagram obtained from meteorological station of the Itatinga Forest Sciences Experimental Station (23° 02'47"S, 48° 38'49"W, 790 m), by through data collected from 1990 and 2007. Mean annual average temperature was 20.4 °C, annual rainfall was 1400 mm and the estimated mean global radiation was 15.8 MJ m⁻² dia⁻¹.

mapa pedológico (Pessotti, 1995), mapa geológico (IPT, 1984) e mapa de uso e ocupação do solo (STAPE *et al.*, 1998). O mapa planialtimétrico analógico foi obtido a partir de cartas topográficas em escala 1:10.000, elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1978): Córrego do Lobo (SF-22-Z-D-II-2-NO-B), Ribeirão das Pedras (SF-22-Z-D-II-2-NE-A), Córrego Potreirinho (SF-22-Z-D-II-2-NO-D), Fazenda Toca (SF-22-Z-D-II-2-NE-C) e Fazenda Rio Novo (SF-22-Z-D-II-2-NO-F). Usando o ArcGIS 9.3, as curvas de nível e os pontos cotados foram interpolados com o uso da rotina "Topo to Raster", resultando num modelo digital de elevação do terreno hidrologicamente correto (ESRI, 2008).

As etapas do mapeamento pedológico incluíram prospecções de campo, caracterizações morfológicas, físicas, químicas, classificação taxonômica e distribuição das unidades pedológicas no mapa segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006). O método utilizado para o levantamento dos solos foi o de observações ao longo de transectos ou catenas (MILNE, 1935), que cruzam toda paisagem, ou seja, observações em linhas de caminhamento que atravessam todas as unidades fisiográficas (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2007). Procurou-se, em cada uma delas, efetuar diver-

sas tradagens e amostragens que cobrissem todas as topossequências das vertentes, desde as partes baixas até o topo das colinas. A amostragem de solo foi realizada em 40 pontos, onde se coletaram amostras de duas profundidades do solo, 0-20 cm e 70-90 cm. Os pontos amostrados também tiveram como critério de escolha as classes de altitude encontradas no mapa hipsométrico. Obteve-se uma densidade amostral de um ponto a cada 25,8 ha, mais 12 trincheiras para descrição morfológica.

As descrições morfológicas dos solos foram baseadas no manual de descrição e coleta de solos no campo (SANTOS *et al.*, 2005), observando aspectos gerais da paisagem, particularmente o crescimento do plantio florestal e as características do solo, visíveis em trincheiras, barrancos e estradas, o que possibilitou relacionar as informações encontradas com as contidas nos mapas hipsométrico, planialtimétrico e de declividade. Demarcaram-se os locais onde foram coletadas as amostras para posterior caracterização de unidades representativas dos solos, utilizando-se para isso a relação silte/argila e a cor da amostra, de acordo com a escala Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1994). A aferição do mapa foi realizada por meio de amostragem espacial, objetivando redução dos custos de levantamentos detalhados.

As amostras de solos foram secas em estufa com temperatura variando de 40 a 45 °C, até massa constante, e depois peneiradas, obtendo-se a terra fina seca em estufa (TFSE). As análises físicas realizadas foram a de granulometria e a de densidade de solo e de partícula (EMBRAPA, 1997). A granulometria foi determinada por sedimentação em cilindro Koettgen, sendo usado calgon (hexametáfosfato de sódio 1,0%) e hidróxido de sódio (0,4%) como agentes de dispersão. A agitação das amostras foi em alta rotação, durante 15 minutos. As frações areia grossa, areia média, areia fina foram separadas por tamisação em peneiras de malha 0,5, 0,2 e 0,05 mm de diâmetro, respectivamente. Para a determinação da fração argila foi utilizada o hidrômetro de Boyoucos (VETTORI; PIERANTONI, 1968). A fração silte foi determinada pela diferença entre a massa da TFSE e a massa de areia total mais argila. Os atributos químicos pH em H₂O, KCl e CaCl₂, matéria orgânica, fósforo, bases e alumínio trocáveis por resina aniônica e a acidez titulável foram determinados pelos métodos indicados por Raij *et al.* (2001).

Os dados de inventário das parcelas permanentes (mesma espécie, procedência e idade) obtidos nas plantações florestais conduzidas entre 1991 a 1997 foram usados para o mapeamento da produtividade de madeira e em análises multivariadas preditivas da produtividade florestal. A área plantada com *Eucalyptus grandis* (procedência Mogi Guaçu), 1034 ha, estava composta por 34 talhões, onde foi realizado o inventário florestal anualmente.

Para a definição das classes de produtividade, escolheu-se como indicador de produtividade o Incremento Médio Anual aos seis anos (IMA6) do volume sólido de madeira com casca, pois foi o que apresentou maiores correlações com as características edáficas, nas análises expeditas. A definição dos intervalos de classe de produtividade foi obtida pela fórmula de Sturges (1926), que dá estimativa do número de classes a ser usada (GERARDI; SILVA, 1981): $K = 1 + 3,3 \log n$, em que, K é o número total de classes e n é o número total de observações.

Por meio de análises de correlação simples e de regressão linear múltipla, tipo stepwise, modelo backward, a variável dependente IMA6 foi relacionada com as variáveis independentes: alguns atributos físicos e químicos dos solos (teores de argila, silte, areia, matéria orgânica, valores de pH, teores de K, Ca, Mg e Al trocáveis e capacidade de troca de cátions). As variáveis

com menor contribuição para a soma de quadrado da regressão foram excluídas, permitindo chegar à equação com menor número de variáveis independentes, sem que a qualidade do ajuste fosse acentuadamente reduzida. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico Statgraphics Plus v. 5.1 (STATISTICAL GRAPHICS CORP, 2000) e Sigmaplot v.10 (SPSS, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo por base a planialtimetria, identificaram-se dois padrões para as curvas de nível: um com curvas próximas, estreitas e circundantes à rede de drenagem, e altitude variando entre 775 e 800 m; outro, com curvas espaçadas, presentes no restante da área (Figura 3a). A altitude foi subdividida em cinco classes, variando de 750 a 863 m (Figura 3b). A maior parte da área, 40%, tem altitude que varia entre 800 e 825 m. Considerando a amplitude de altitude, 113 m, o relevo predominantemente é o suave ondulado (declividade média entre 2 e 10%), com 65% da área; 21% é ondulado (Figura 3c). A região da área experimental apresenta maior densidade de drenagem e declividade mais acentuada.

Foram encontrados seis tipos de solos, caracterizados até o quinto nível categórico para os Latossolos, segundo nível para o Neossolo e primeiro nível para o Gleissolo. Os solos encontrados e mapeados foram: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média (LVAd) (sandy loam Typic Hapludox), com 1006 ha (47,5% da área), Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura argilosa (LVd-1) (clayey Rhodic Hapludox), com 708 ha (33,4%), Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média (LVd-2) (sandy clay loam Rhodic Hapludox), com 127 ha (6%), Latossolo Vermelho Distroférrico típico A moderado textura argilosa (LVdf) (clayey Rhodic Hapludox), com 193 ha (9,1%), Gleissolo (G) (Entisols), com 72 ha (3,4%) e Neossolo Flúvico (RY) (Fluvents), com 12 ha (0,6%) (Figura 4). Os LVd (1 e 2) apresentaram maiores variações topográficas e o LVdf apresentou a textura mais fina (Tabela 1).

O LVAd e o LVd foram formados a partir da intemperização de arenito, Grupo Bauru, Formação Marília e, o LVdf, a partir de basalto, do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (IPT, 1984). Espíndola e Garcia (1978) discutiram a proximidade de materiais de origem distintos, o

que proporciona uma mistura na constituição do material original dos solos e dificulta a identificação e delimitação das unidades pedológicas. O mesmo ocorreu no presente trabalho, em especial para o LVdf e o LVd, pois quanto mais próximo da formação basáltica, maiores o teor de argila e de óxidos de ferro, expressos pela textura mais fina e pela cor mais avermelhada.

O LVAd foi encontrado em altitudes acima de 800m, em relevo suave ondulado (Figuras 3b, 3c e 4). Grande parte da área deste solo estava ocupada com plantios comerciais e experimen-

tais de eucalipto. Este solo foi associado aos sedimentos areníticos da Formação Marília, que são depósitos coluviais de espigão, areias com matriz argilosa, cascalhos de limonita e quartzo na base (IPT, 1984). A profundidade do horizonte A variou entre 15 e 35 cm de espessura, com matiz variando entre 7,5 YR 5/4-4/2 e 5 YR 3/4, consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. O horizonte B1 apresentou, em média, 30 cm de espessura, matiz variando entre 5YR 4/6 e 5YR 4/4, com fraca cerosidade, estrutura granular e blocos subangulares. Amostras

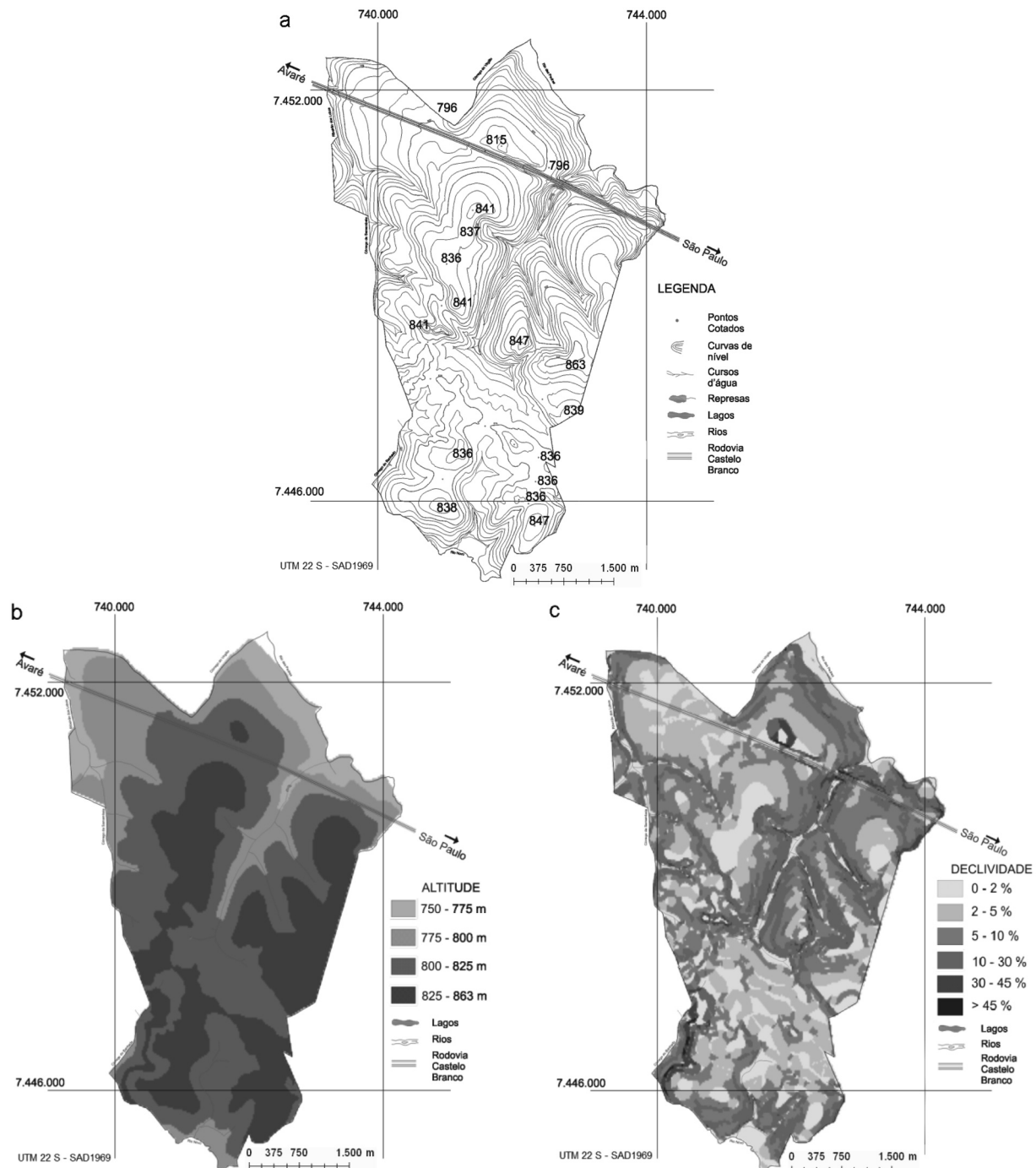


Figura 3. Relevo da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga: (a) mapa planialtimétrico; (b) mapa hipsométrico; (c) mapa de declividade.

Figure 3. Relief from Itatinga Forest Sciences Experimental Station: (a) planialtimetric map; (b) topographic map; (c) slope map.

Tabela 1. Atributos físicos de amostras de solo coletadas em duas profundidades de alguns perfis de solo representativos da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga.

Table 1. Soil physical attributes of samples collected at different depths of representative soil profiles at Itatinga Forest Sciences Experimental Station.

Horiz.	Prof. cm	Granulometria				Relação Silte/Argila	Densidade do solo	Densidade de partícula	Porosidade %
		Argila ^{1/}	Silte	Areia grossa ^{2/}	Areia fina ^{2/}		g dm ⁻³		
g kg ⁻¹									
LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico A moderado textura média									
A1	0-20	160	20	580	240	0,13	1,39	2,06	33
Bw	70-90	240	40	460	260	0,17	1,35	2,11	34
LVd-1 – Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura argilosa									
A1	0-20	320	60	240	380	0,19	1,39	2,13	35
Bw	70-90	340	80	230	350	0,24	1,23	2,35	48
LVd-2 – Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média									
A1	0-20	290	40	250	420	0,14	-	-	-
Bw	70-90	360	60	200	380	0,17	-	-	-
LVdf – Latossolo Vermelho Distroférico típico A moderado textura argilosa									
A1	0-20	550	120	330	-	0,22	-	-	-
Bw	70-90	630	70	300	-	0,11	-	-	-

Método: ^{1/} Método da pipeta; ^{2/} Peneiramento

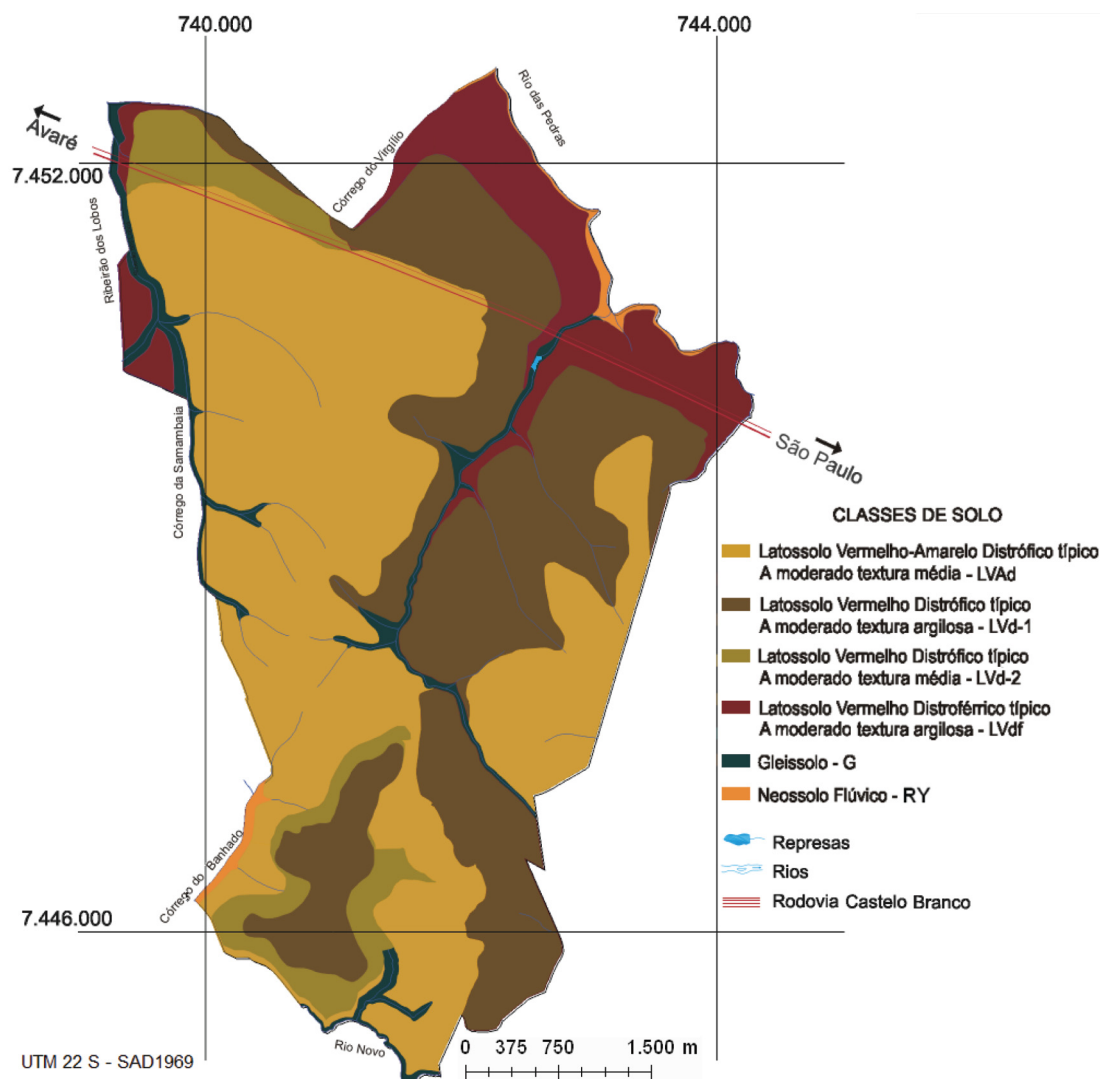


Figura 4. Mapa pedológico detalhado da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga.

Figure 4. Detailed pedological map of the Itatinga Forest Sciences Experimental Station.

a seco apresentaram dureza média e, quando úmida, friável. A nitidez de contraste de atributos entre os horizontes A e Bw foi evidente, principalmente, pela cor e características estruturais. O horizonte Bw foi característico, com constituintes em avançado estágio de intemperização e diferenciação difusa entre sub-horizontes. A drenagem foi considerada acentuada. Na camada superficial, houve predomínio de textura arenosa e, ou, franco-arenosa, variando entre 810 e 880 g kg⁻¹ de areia e 100 a 160 g kg⁻¹ de argila; os teores de silte foram muito baixos, com variação entre 10 e 50 g kg⁻¹. A relação silte/argila foi baixa, com valores inferiores a 0,17. O horizonte Bw apresentou, também, textura arenosa e, ou, franco-arenosa, com variação entre 780 e 850 g kg⁻¹ de areia e 120 e 200 g kg⁻¹ de argila. A relação silte/argila foi baixa, com valores inferiores a 0,3. O incremento de argila do horizonte A para o Bw foi baixo, variando entre 1 e 1,5.

Os LVd (1 e 2) foram encontrados em altitudes que variaram entre 775 e 800m, em relevo ondulado e declividade entre 10 e 30% (Figuras 3b, 3c e 4). Parte da área estava coberta com plantações de eucalipto. A profundidade do horizonte A1 variou entre 20 e 25 cm de espessura, o matiz variou entre 5 YR 3/3 – 4/4 e 2,5 YR 3/4. A consistência foi considerada como ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. A transição entre os horizontes A e Bw foi caracterizada como ondulada e gradual, evidenciada principalmente pela cor. O horizonte Bw foi descrito como do tipo característico, em avançado estágio de intemperização e diferenciação difusa entre os subhorizontes. O Bw1 apresentou, em média, 60 cm de espessura, matiz 2,5 YR 3/6, moderada cerosidade, consistência plástica

e pegajosa, estrutura granular e blocos subangulares. As amostras a seco apresentaram dureza média e, quando úmida, muito friável. A drenagem foi considerada como sendo acentuada. Na camada A1, houve predomínio de textura média arenosa variando entre 660 e 860 g kg⁻¹ de areia; os teores de silte eram baixos, variando entre 10 e 40 g kg⁻¹. O horizonte Bw apresentou, também, textura média arenosa, variando entre 580 e 770 g kg⁻¹ de areia; os teores de silte eram baixos, variando entre 10 e 150 g kg⁻¹. Nas duas camadas, as relações silte/argila foram inferiores a 0,4. Esta unidade apresentou valores de bases trocáveis e Al extraível muito baixo, menor que 15 mmol_c kg⁻¹ de argila (Tabelas 2 e 3).

O LVdf foi encontrado nas áreas mais declivosas, no terço inferior das vertentes e, em menores altitudes, entre 750 e 775 (Figuras 3b e 4). Quanto à declividade, pôde-se constatar que predomina a variação entre 10 e 15%, e entre 15-30%, o que caracterizou um relevo do tipo ondulado a forte ondulado. O horizonte A foi considerado espesso, com mais de 30 cm, matiz 2,5 YR 3/4, consistência plástica e pegajosa. A transição entre os horizontes A e Bw era difusa e gradual, evidenciada unicamente pela cor. O horizonte Bw apresentou matiz 2,5 YR 3/6, textura argilosa ou muito argilosa. Na camada A1, houve predomínio da textura argilosa, com variação entre 100 e 650 kg⁻¹ de argila e 180 e 770 kg⁻¹ de areia. Os teores de silte eram baixos, variando entre 70 e 180 kg⁻¹. A relação entre silte/argila foi baixa nos dois horizontes e, o incremento de argila do horizonte A1 para o Bw também foi baixo. No horizonte B, o teor de argila variou entre 200 e 730 g kg⁻¹. Este solo apresentou baixa concentração de P, matéria orgânica e bases trocáveis (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Atributos químicos de amostras de solo coletadas em duas profundidades de alguns perfis de solo representativos da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga.

Table 2. Soil chemical attributes of samples collected at different depths of representative soil profiles at Itatinga Forest Sciences Experimental Station.

Horiz.	Prof. cm	MO ^{1/} g kg ⁻¹	pH			P-resina ^{4/} mg kg ⁻¹	Cátions Trocáveis					CTCe
			KCl ^{2/}	H ₂ O ^{3/}	Δ pH		Ca ^{4/}	Mg ^{4/}	K ^{4/}	H ^{4/}	Al ^{4/}	
mmol _c kg ⁻¹												
LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico A moderado textura média												
A1	0-20	34	3,4	3,6	-0,2	3	1	1	0,5	76	22	101
Bw	70-90	13	4,0	4,2	-0,2	2	1	1	0,7	26	6	37
LVd-1 – Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura argilosa												
A1	0-20	24	3,8	4,0	-0,2	0,2	1	1	0,5	54	18	75
Bw	70-90	17	3,9	4,1	-0,2	0,2	2	1	0,8	30	12	46
LVd-2 – Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média												
A1	0-20	22	3,4	3,8	-0,4	0,4	1	1	0,4	44	20	66
Bw	70-90	12	3,1	3,7	-0,6	0,4	1	1	0,2	41	17	60
LVdf – Latossolo Vermelho Distroférico típico A moderado textura argilosa												
A1	0-20	33	4,3	-	-	9	19	10	3,2	70	8	40
Bw	70-90	12	4,2	-	-	5	3	1	1,3	36	2	7

Método: ^{1/} Dicromato de potássio e ácido sulfúrico; ^{2/} KCl 1 mol L⁻¹; ^{3/} H₂O deionizado; ^{4/} Resina de troca catiônica.

Tabela 3. Valores mínimos, médios, máximos e desvios padrões de alguns atributos físicos e químicos dos diferentes solos.

Table 3. Minimum, average, maximum and standard deviations of some physical and chemical attributes of different soils.

Atributo / Valor	Argila	Silte	Areia	pH KCl	M.O.	P	Ca	Mg	K	Al	CTCe
	g kg ⁻¹				g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹				
LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico A moderado textura média											
0-20 cm											
Nº amostras	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Mínimo	100	0	810	3,5	12	4	0	1	1	11	14
Média	121	21	840	3,8	16	7	3	2	1	15	20
Máxima	160	90	880	4	23	35	8	5	1	21	27
Desvio padrão	2	3	2	0,2	4	8	2	2	0	3	4
70-90 cm											
Nº amostras	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Mínimo	120	10	780	4,0	5	2	1	0	0	4	7
Média	160	11	820	4,0	7	3	1	2	0	8	11
Máxima	240	50	870	4,3	9	4	2	5	1	13	15
Desvio padrão	2	2	3	0,09	1	1	1	2	0	3	3
LVd – Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura argilosa e média											
0-20 cm											
Nº amostras	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Mínimo	140	10	660	3,6	9	3	1	0	0	10	11
Média	171	30	780	3,8	18	4	2	1	1	15	20
Máxima	280	40	860	4,1	30	6	5	4	2	21	38
Desvio padrão		6	6	0,1	6	1	1	1	0	3	5
70-90 cm											
No amostras	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Mínimo	140	10	580	3,6	5	2	1	0	0	6	6
Média	211	40	731	4,1	9	3	1	1	0	9	15
Máxima	390	150	820	4,3	24	6	2	1	1	22	87
Desvio padrão	6	3	6	0,2	4	1	1	1	0	4	17
LVdf – Latossolo Vermelho Distroférico típico A moderado textura argilosa											
0-20 cm											
Nº amostras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mínimo	160	70	180	4	20	5	1	2	1	6	19
Média	480	111	400	4,2	31	7	11	7	2	12	32
Máxima	650	180	770	4,4	38	10	21	11	3	16	40
Desvio padrão	15	4	18	0,1	6	2	7	3	1	4	7
70-90 cm											
Nº amostras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mínimo	200	60	160	4,1	9	2	1	0	0	2	7
Média	541	90	360	4,3	15	4	4	2	1	7	14
Máxima	730	140	740	4,6	19	5	12	4	1	14	20
Desvio padrão	17	3	18	0,2	4	1	4	1	0	5	6

O Neossolo Flúvico foi encontrado no limite norte, antecedendo o rio das Pedras, a 750 m de altitude, e no sudoeste da EECFI, ao longo do córrego do Banhado. O Gleissolo foi encontrado ao longo dos cursos d'água da EECFI (Figura 4). Esses dois solos, por estarem em área de preservação permanente na EECFI, sem possibilidade de uso silvicultural, foram apenas identificados e delimitados.

As produtividades das parcelas de *E. grandis* baseadas no IMA6 do volume sólido de madeira com casca foram agrupadas em seis classes: I, de 46 a 52 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, produtividade muito alta;

II, de 42 a 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, produtividade alta; III, de 36 a 41 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, produtividade média; IV, de 32 a 41 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, produtividade baixa; V, de 27 a 31 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, produtividade muito baixa; e a VI, de 21 a 26 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, produtividade extremamente baixa (Figura 5).

O IMA6 apresentou altas correlações (> 0,70) com os teores de argila, matéria orgânica, Ca e Mg trocáveis, pH em CaCl₂ e CTCe na profundidade 0-20 cm de solo. Menores correlações foram observadas na profundidade 70-90 cm (Tabela 4). Apenas o teor de areia correlacionou-se negativamente com o IMA6. As variações desses atributos

foram altas entre os solos. Por exemplo, na profundidade 0-20 cm, a amplitude de variação do teor de argila foi de 0 a 650 g kg⁻¹; de 8 a 38 g kg⁻¹ para a MO; 0 a 21 mmol_c dm⁻³ para o Ca trocável; 0 a 11 mmol_c dm⁻³ para o Mg trocável; 3,5 a 4,4 para o pH CaCl₂; e 11 a 40 mmol_c dm⁻³ para a CTCe. O horizonte Bw, na profundidade 70-90 cm, apresentou amplitude de variação do teor de argila entre 120 a 730 g kg⁻¹; de 5 a 24 g kg⁻¹ para a MO; 1 a 12 mmol_c dm⁻³ para o Ca; 0 a 5 mmol_c dm⁻³ para o Mg; 3,6 a 4,6 para o pH CaCl₂; e 6 a 87 mmol_c dm⁻³ para a CTCe (Tabela 3).

Quando associados alguns atributos edáficos em análises de regressão múltipla, o IMA6 pôde ser previsto com alta precisão (R² ≥ 0,84 e p < 0,01) (Figura 6). As variáveis que melhor explicaram as diferenças de produtividade foram os teores de argila e matéria orgânica. O teor de argila e de MO têm estreita correlação com propriedades fundamentais dos solos, como a capacidade de reter água e nutrientes disponí-

veis, e a capacidade de aeração (GONÇALVES, 2002). Assim, solos mais arenosos e pobres em matéria orgânica têm menor capacidade de fornecer água e nutrientes às árvores, resultando em menor produtividade. Isso justifica a correlação negativa IMA6 vs. areia (-0,92; p = 0,01) na profundidade 0-20 cm e a correlação positiva IMA6 vs. MO (0,86; p = 0,01), na profundidade 0-20 cm. Essas correlações foram menores na profundidade 70-90 cm, IMA6 vs. areia (-0,83; p = 0,01) e IMA6 vs. MO (0,46; p = 0,05), porque nas profundidades superiores do solo, até 30 cm (GONÇALVES, 1994; GONÇALVES e MELLO, 2000), é onde a densidade de raízes finas e a absorção de nutrientes são maiores (BARROS, 1974; GONÇALVES *et al.*, 1990; CARMO *et al.*, 1990; GONÇALVES, 1994), bem como há o maior aporte e variações dos teores de MO. O desdobramento do R² pela análise da variância reforçou essa afirmação, pois a variável matéria orgânica apresentou contribuições nas estimati-

Tabela 4. Matriz de correlação (r) entre o Incremento Médio Anual (IMA) do volume de madeira com casca aos seis anos de idade e alguns atributos de amostras de solo coletadas a 0-20- e 70-90 cm de profundidade.

Table 4. Correlation matrix (r) between Mean Annual Increment of bulk volume of wood six-year-old and soil attributes in samples collected at 0-20 and 70-90 cm depths.

	IMA6	Argila	Silte	Areia	M.O.	pH	K	Ca	Mg	Al	CTCe
0-20 cm											
IMA	-	0,87**	0,59**	-0,92**	0,86**	0,72**	0,76**	0,81**	0,81**	0,31 ^{ns}	0,80**
Argila (g kg ⁻¹)		-	0,38 ^{ns}	-0,95**	0,78**	0,70**	0,73*	0,81**	0,80**	0,33 ^{ns}	0,78**
Silte (g kg ⁻¹)			-	-0,64**	0,69**	0,50**	0,48*	0,51**	0,55**	-0,21 ^{ns}	0,46*
Areia (g kg ⁻¹)				-	-0,87**	-0,74**	-0,76**	-0,84**	-0,84**	-0,35 ^{ns}	-0,80**
M.O. (g kg ⁻¹)					-	0,50**	0,71**	0,73**	0,72**	-0,13 ^{ns}	0,84**
pH						-	0,65**	0,74**	0,75**	-0,74**	0,56**
K (mmol _c kg ⁻¹)							-	0,78**	0,79**	-0,39*	0,85**
Ca (mmol _c kg ⁻¹)								-	0,92**	-0,56**	0,85**
Mg (mmol _c kg ⁻¹)									-	-0,56**	0,82**
Al (mmol _c kg ⁻¹)										-	-0,20 ^{ns}
CTCe (mmol _c kg ⁻¹)											-
70-90 cm											
IMA	-	0,81**	0,63**	-0,83**	0,46*	0,55**	0,15 ^{ns}	0,62*	0,23 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Argila		-	0,59**	-0,99**	0,59**	0,69**	0,26 ^{ns}	0,75**	0,30 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Silte			-	-0,71**	0,64**	0,26 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,47*	0,18 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,48*
Areia				-	-0,64**	-0,65**	-0,23 ^{ns}	-0,74**	-0,30 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,25 ^{ns}
M.O.					-	-0,05 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,39*	0,24 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,66**
pH						-	0,12 ^{ns}	0,61**	0,19 ^{ns}	-0,86**	-0,43 ^{ns}
k							-	0,07 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Ca								-	0,53 ^{ns}	-0,40*	0,33 ^{ns}
Mg									-	-0,14 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Al										-	0,72**
CTC											-

Nota: * significativo a 5%; ** significativo a 1% e ns não significativo

vas da produtividade de, 11% e 1%, respectivamente para os horizontes A e B (Figura 6). Por sua vez, o pH em CaCl_2 correlacionou-se positivamente com os teores de bases trocáveis e com a CTC e, atributos essenciais na nutrição das árvores. Esses resultados destacam os efeitos dos atributos do solo mais comum, LVAd (47,5% da área total), na determinação do índice geral de produtividade da EECFI. Por exemplo, a CTC efetiva média desse solo foi de $20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e a capacidade de retenção de água disponível, cerca de 180 mm de água (entre 0,01 e 1,5 MPa), calculada conforme Alvares (2011), em 2 m de profundidade e, no solo LVd, a CTC efetiva média foi de $20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e a capacidade de retenção de água disponível, cerca de 280 mm de água. Dessa forma, durante o verão, em período de estiagem, considerando uma evapotranspiração média diária de 5 mm dia^{-1} , no LVAd, em 36 dias, seria consumida a água armazenada em 2 m de profundidade e, no LVd, 56 dias. Isso evidencia o maior potencial de deficiência hídrica do LVAd, certamente, o fator mais limitante de produtividade deste solo.

A espacialização das informações obtida com a classificação da produtividade possibilitou constatar a relação direta dessa produtividade com os tipos de solos (Figura 7). Os talhões com mesma unidade pedológica ficaram dentro da mesma classe de produtividade. Assim, a classe I

(produtividade muito alta) foi distinguida pela presença do LVdf, o solo mais produtivo da EECFI, o qual apresentou os teores mais elevados de argila, MO e soma de bases. As classes de menor produtividade, V e VI, foram mapeadas na maior parte da EECFI, onde ocorre o solo LVAd. Neste tipo de solo foram encontrados os maiores teores de areia e as menores concentrações de MO e bases trocáveis.

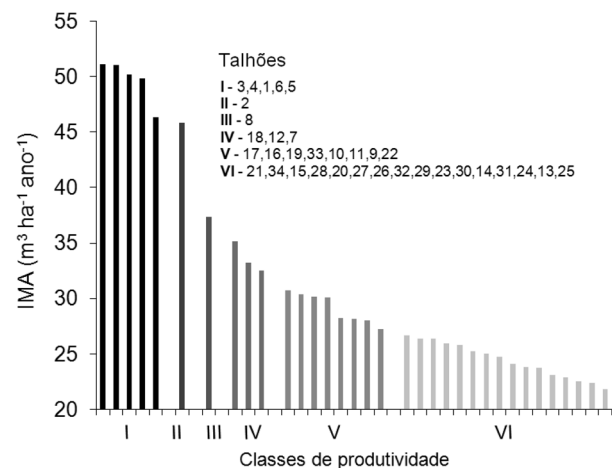


Figura 5. Classes de Incremento Médio Anual (IMA) de volume de madeira com casca, aos seis anos de idade, nos diferentes talhões de plantio: I, 46 a 52; II, 42 a 45; III, 36 a 41; IV, 32 a 35; V, 27 a 31 e VI, 21 a 26.

Figure 5. Mean Annual Increment of bulk volume of wood six-year-old at different stand compartment: I, 46-52, II, 42-45, III 36-41, IV, 32 to 35, V, VI and 27-31 21 to 26.

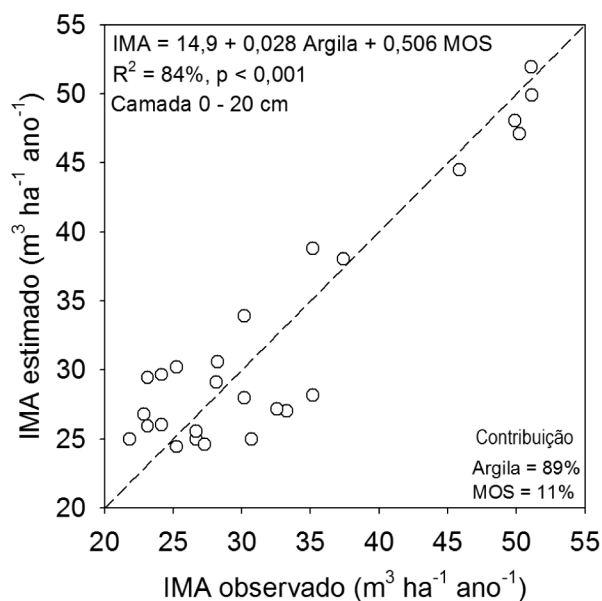
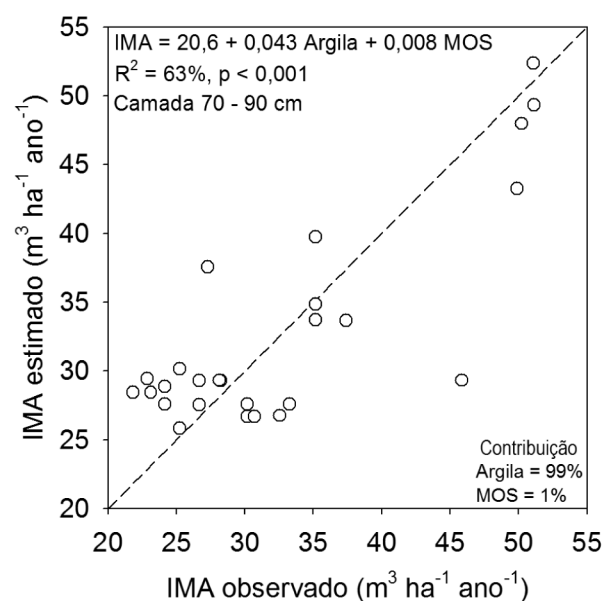


Figura 6. Relação entre o Incremento Médio Anual do volume de madeira com casca observado e o estimado com análises de regressão múltipla que têm como variáveis independentes atributos de amostras de solo coletadas nas profundidades 0-20 cm e 70 -90 cm .

Figure 6. Relationship between the observed and estimated Mean Annual Increment of bulk volume of wood obtained through multiple regressions that have as independent variables attributes of soil samples collected at 0-20 cm and 70 -90 cm depths.



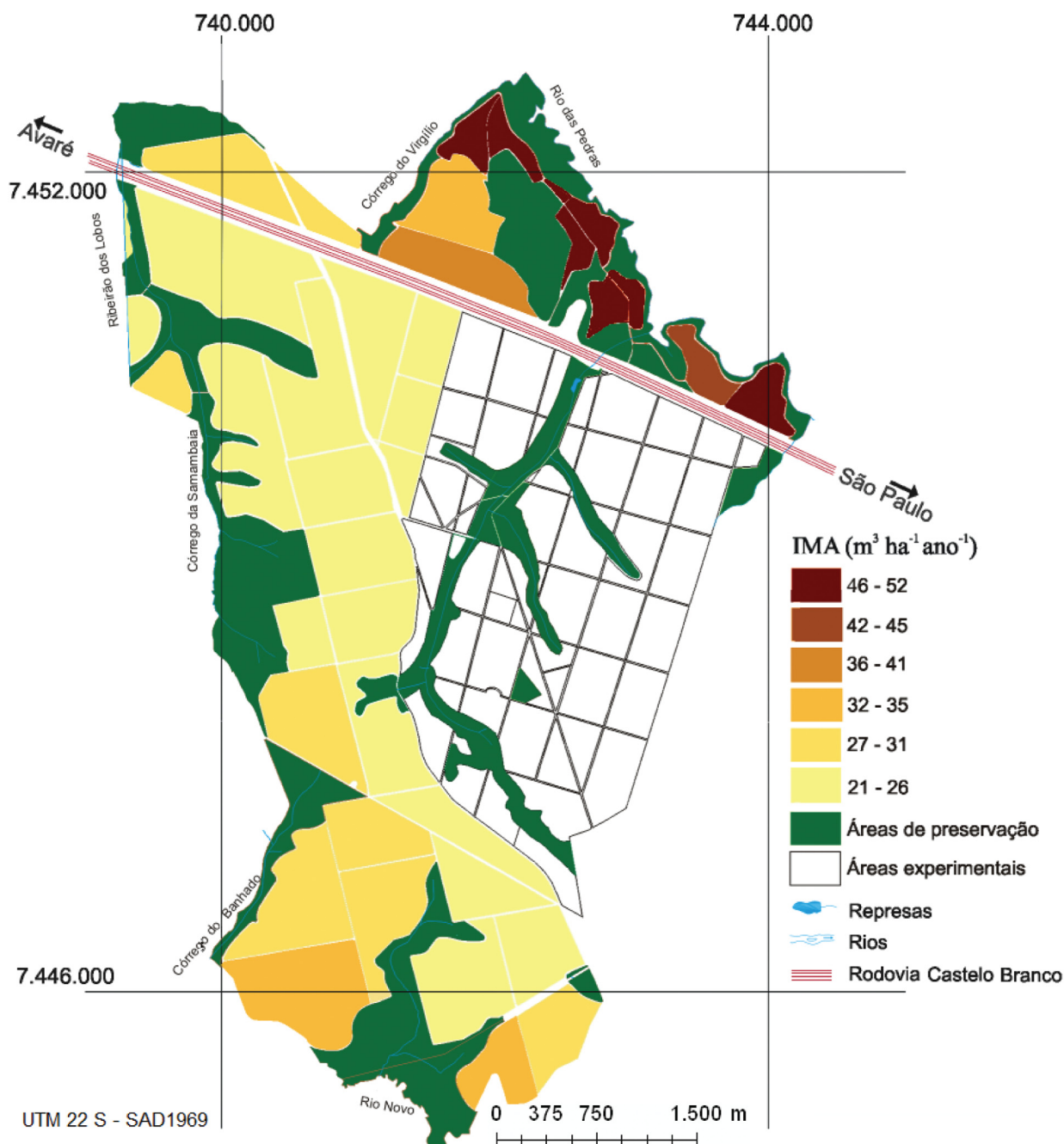


Figura 7. Mapa de Incremento Médio Anual (IMA) do volume de madeira com casca em parte da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga.

Figure 7. Map of the Mean Annual Increment of bulk volume of wood in part of the Itatinga Forest Sciences Experimental Station.

CONCLUSÕES

A Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga é caracterizada por dois padrões de relevo: um com curvas próximas, estreitas e circundantes à rede de drenagem, nas áreas mais íngremes e de menor altitude; outro, com curvas espaçadas, presentes nas áreas de maior altitude e com relevo plano e suave ondulado.

Foram encontrados seis tipos de solos, estreitamente correlacionados com os padrões de relevo e de drenagem: Latossolo Vermelho-

Amarelo Distrófico típico A moderado textura média, Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura argilosa, Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura média, Latossolo Vermelho Distroférrico típico A moderado textura argilosa, Gleissolo e Neossolo Flúvico. O mapa pedológico detalhado tem sido usado com frequência e eficiência nesta Estação Experimental para fins de planejamento do uso da terra, desenvolvimento de pesquisa e definições de práticas silviculturais nas áreas de produção florestal.

A ampla variação de produtividade entre os tipos de solos relaciona-se, em grande parte, com os atributos edáficos associados à capacidade de retenção de água disponível, como os teores de argila e matéria orgânica, que afetam diretamente o balanço hídrico do solo. As limitações de fertilidade do solo têm sido corrigidas eficientemente com as práticas de adubação.

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga. À Companhia Suzano Papel e Celulose pelo auxílio e pelos dados de inventário florestal. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro. Ao aluno de Eng. Florestal, Israel Carvalho Lima, pela compilação dos dados de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, P. The mapping, classification, and interpretation of Ghana forest soils for forestry purposes. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 5, 1960, Seattle. **Proceedings...** Seattle: UWA, 1962. v.1, p.508-17.
- ALVARES, C.A. **Mapeamento e modelagem edafoclimática da produtividade de plantações de *Eucalyptus* no sul do Estado de São Paulo**. 2011. 279p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- ALVARES, C.A.; GONÇALVES, J.L.M.; VIEIRA, S.R.; SILVA, C.R.; FRANCISCATTE, W. Spatial variability of physical and chemical attributes of some forest soils in southeastern of Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.68, n.6, p.697-705, 2011.
- BARROS, N.F. **Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com altura de *Eucalyptus Alba* na região de Santa Bárbara, MG**. 1974. 88p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1974.
- BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T.Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* no Estado de SP. **IPEF**, Piracicaba, v.32, p.33-42, 1986.
- BELLOTE, A.F.; DEDECEK, R.A. Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com o crescimento e a produtividade do *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v.53, p.21-38, 2006.
- BRASIL. Lei n. 8171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. Diário Oficial, Brasília, 18 janeiro. 1991. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1988. 168p.
- CARMEAN, W.H. Forest site quality evaluation in the United States. **Advances in Agronomy**, Newark, v.27, p.209-269, 1975.
- CARMO, D.N.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Org.). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p.187-235.
- CORRÊA, J.J.L.; MARCOLIN, M. Produtividade florestal de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* em função da vegetação primitiva e unidades de solos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v.2, p.535-538.
- COSTA, A.M.; CURI, N.; MENEZES, M.D.; ARAUJO, E.F.; MARQUES, J.J. Levantamento detalhado de solos da microbacia hidrográfica do Horto Florestal Terra Dura (RS) e considerações sobre escalas de mapeamentos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.5, p.1272-1279, 2009.
- COUTO, H.T.Z.; VETTORAZZI, C.A. A tecnologia do geoprocessamento para a Engenharia Florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, Escola Politécnica, 1991. p.204-208.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: EMBRAPA/SIP, 1995. 116p.

- ESPÍNDOLA, C.R.; GARCIA, G.J. Interpretação fotográfica de redes de drenagem em diferentes categorias de solos. *Notícias Geomorfológicas*, Campinas, v.18, p.28-32, 1978.
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *ArcGIS 9.3*. Redlands: ESRI, 2008.
- EVANS, J.; TURNBULL, J. *Plantation forestry in the tropics: the role, silviculture, and use of planted forests for industrial, social, environmental, and agroforestry purposes*. Oxford: Oxford University Press, 2004. 467p.
- GERARDI, L.H.O.; SILVA, B.C.N. *Quantificação em geografia*. São Paulo: Difel, 1981. 161p.
- GHANI, N.L.B.; ROCHA, H.O.; SCHMIDLIN, D.; NANNI, M.R.; ROCHA, C.H. Levantamento de solos do Parque Estadual Pico do Marumbi através da integração de técnicas convencionais com geoprocessamento. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v.14, p.197-200, 1995.
- GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Org). *Conservação de solos*. Piracicaba: IPEF, 2002. p.1-46.
- GONÇALVES, J.L.M. *Características do sistema radicular de absorção do Eucalyptus grandis sob diferentes condições climáticas*. 1994. 90p. Tese (Livre docência). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- GONÇALVES, J.L.M. Interpretação de levantamento de solos para fins silviculturais. *IPEF*, Piracicaba, v.39, p.65-72, 1988.
- GONÇALVES, J.L.M.; COUTO, H.T.Z.; KAGEYAMA, P.Y.; DEMATTE, J.L.I. Interações genótipo solo em sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* em alguns solos de baixo potencial produtivo do estado de São Paulo. *IPEF*, v.43, p.40-49, 1990.
- GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Org). *Nutrição e fertilidade florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. p.219-267.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual técnico de pedologia*. Rio de Janeiro: IGE, 2007. 316p.
- IF - INSTITUTO FLORESTAL. *Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo*. São Paulo: SMA/IF/Imprensa Oficial, 2005. 200p
- IF - INSTITUTO FLORESTAL. *Inventário Florestal das Áreas Reflorestadas no Estado de São Paulo*. São Paulo: SMA/IF/Imprensa Oficial, 2002. 184p.
- IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. *Cartas planialtimétricas, quadriculas Córrego do Lobo, Ribeirão das Pedras, Córrego Potreirinho, Fazenda Toca e Fazenda Rio Novo*. São Paulo, 1978. (Escala 1:10.000).
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo: Itapetininga/Cornélio Procópio*. São Paulo: IPT, 1984. p. SF 22-Z-D/SF 22-Z-C. (Escala 1:250.000).
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo: Nota Explicativa*. São Paulo: IPT, 1981a. v.1, 126p. (Escala 1:1.000.000).
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981b. (Escala 1:1.000.000).
- KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. *A cultura do Pinus no Brasil*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160p.
- LIMA, W.P. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, v.32, p.53-64, 1998.
- MEIO, V.F.; CRUZ, C.D.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M. Utilização de técnicas multivariadas no estudo das relações entre atributos químicos do solo e a produtividade do eucalipto no Rio Grande do Sul. *IPEF*, v.48, p.38-49, 1995.
- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. *Soil Research*, v.4, p.183-98, 1935.
- MUNSELL COLOR COMPANY. *Munsell soil color charts*. New Windsor, NY: Macbeth Division of Kollmorgen, 1994.
- ORTIZ, J.L.; VETTORAZZI, C.A.; COUTO, H.T.Z.; GONÇALVES, J.L.M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.72, p.67-79, 2006.

- PESSOTTI, J.E.S. **Levantamento detalhado dos solos do Horto de Itatinga**. Águas de São Pedro: Consult - Consultoria em Solos S/C, 1995. 105p.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.711-720, 2007.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92p.
- SARTORI, M.S.; POGGIANI, F.; ENGEL, V.L. Regeneração da vegetação arbórea nativa no sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith. localizado no Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.62, p.86-103, 2002.
- SPSS. **SigmaPlot for Windows: version 10**. Chicago: SPSS, 2006.
- STAPE, J.L.; GOMES, A.N.; ASSIS, T.F. Estimativa da produtividade de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* no Nordeste do estado da Bahia-Brasil em função das variabilidades pluviométrica e edáfica. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPE, 1997. v.3, p.192-8.
- STAPE, J.L.; RODRIGUEZ, L.C.E.; SORRENTINO, M.; LIMA, W.P.; MOREIRA, R.M.; BRITO, M.C.C. **Relatório das atividades científicas, operacionais e educacionais e das finanças das Estações Experimentais de Itatinga e Anhembi - ano de 1997**. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Ciências Florestais, 1998. 60p.
- STATISTICAL GRAPHICS CORP. **Statgraphics plus for Windows: v.5.1**. Rockville: 2000.
- STURGES, H.A. The choice of a class interval. **Journal American Statistical Association**, Alexandria, v.21, p.65-66, 1926.
- TARRANT, R.F. A preplanting forest soil survey. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.48, n.2, p.104-105, 1950.
- TONINI, H.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; SPATHELE, P. Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e litoral, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, p.61-73, 2002.
- VETTORI, L.; PIERANTONI, H. Análise granulométrica: novo método para determinar a fração argila. **Boletim Técnico Embrapa**, Rio de Janeiro, v.3, p.1-8, 1968.

Recebido em 07/04/2011

Aceito para publicação em 13/03/2012

