

COMPREENSÃO E APLICABILIDADE DO CONCEITO DE SOLO FLORESTAL

UNDERSTANDING AND APPLICABILITY OF THE FOREST SOIL CONCEPT

Ana Paula Moreira Rovedder¹ Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki² Ricardo Simão Diniz Dalmolin³
José Miguel Reichert⁴ Ricardo Bergamo Schenato⁵**RESUMO**

O setor florestal desempenha um papel importante no contexto socioeconômico e ambiental brasileiro, por isso o avanço no conhecimento sobre os solos florestais torna-se essencial para o uso sustentável dos recursos naturais, seja como base de conservação do patrimônio natural ou como recurso para o desenvolvimento econômico. Solo florestal pode ser definido como aquele cuja pedogênese está associada à influência de uma tipologia florestal ou o que apresenta uma cobertura de floresta natural ou plantada. Diferenciar solos florestais daqueles ocupados com outros usos auxilia na compreensão das possíveis alterações relacionadas à cobertura vegetal e no desenvolvimento de melhores estratégias de manejo para o uso do solo e da floresta. No entanto, ainda não há um consenso em torno do termo, uma vez que o solo apresenta variações de acordo com as características da floresta, estimulando a discussão relativa à sua interpretação e aplicabilidade. A presente revisão de literatura tem por objetivo analisar a utilização do conceito de solo florestal, ressaltando características de diferenciação e sua relação com o tipo de cobertura, natural ou plantada. Aspectos relativos à deposição, qualidade e manejo de resíduos, ciclagem de nutrientes, compactação e produtividade de sítio são enfatizados. Conclui-se que o conceito de solo florestal é amplamente utilizado na literatura específica e útil para o levantamento de informações e de planejamento sustentável de uso do solo e da floresta. A melhoria do conhecimento sobre esse recurso abre a possibilidade de se criar uma identidade comum, o que facilita estudos comparativos de características específicas, fortalecendo a pesquisa em torno do tema.

Palavras-chave: pedogênese; cobertura florestal; ciclagem de nutrientes; qualidade do solo.

ABSTRACT

The forestry sector plays an important role in the socioeconomic and environmental Brazilian context, therefore the improvement of the knowledge about forest soil becomes essential for its sustainable use as a conservation base of natural heritage as resource for economical development. Forest soil can be characterized by pedogenesis occurred under influence of a forestry typology or under a currently natural or cultivated forest coverage. Differentiating forest soils from those occupied with other uses helps the understanding of possible alterations related to vegetal coverage and the developing of better management strategies to soil and forest use. Nevertheless, there is no consensus about this term because the soils present variations according to the forest characteristics, stimulating the discussion concerning its interpretation and applicability. This review aimed to analyze the utilization of forest soil concept, highlighting the differentiation characteristics and the relation with coverage type, natural or cultivated. Aspects related to deposition, quality and management of residues, nutrients cycling, soil compaction and site productivity are emphasized. The forest soil concept is widely used by specific literature and useful to collect specific

1 Engenheira Florestal, Dra., professora do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). anarovedder@gmail.com

2 Engenheiro Agrônomo, Dr., professor do Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Rua Gomes Carneiro 01, CEP 96010-610, Pelotas (RS). luis.suzuki@ufpel.edu.br

3 Engenheiro Agrônomo, Dr., professor do Departamento de Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). dalmolin@ufsm.br

4 Engenheiro Agrônomo, Dr., professor do Departamento de Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). reichert@smail.ufsm.br

5 Engenheiro Agrônomo, Ms., professor da Universidade Federal do Pampa, Centro de Tecnologia de Alegrete, Av. Tiarajú, 810, CEP 97546-550, Alegrete (RS). ribschenato@gmail.com

Recebido para publicação em 14/02/2011 e aceito em 19/10/2012

information and to plan the sustainable use of soil and forest. The improvement of knowledge about these resources provides the creation of a common identity, supporting comparative studies and consolidating the research regarding to this theme.

Keywords: pedogenesis; forest cover; nutrient cycling; soil quality.

INTRODUÇÃO

O solo é um elemento imprescindível à formação e manutenção dos sistemas vivos. Pode-se afirmar que, sem algumas de suas características, não haveria a possibilidade de vida no planeta. O conjunto de cargas elétricas confere-lhe a capacidade de armazenar e liberar gradativamente elementos químicos, mantendo um equilíbrio dinâmico entre a proporção retida na fase sólida e a proporção prontamente disponível em solução (MEURER et al., 2006). Fisicamente, o solo atua como meio de suporte à vida vegetal e a uma infinidade de comunidades bióticas, possuindo também a capacidade de reter e disponibilizar água e oxigênio. Em termos socioeconômicos, é o alicerce de diversos sistemas produtivos, viabilizando a produção de alimentos, fibras e madeira e, na extremidade final das cadeias produtivas, atua ainda como meio para descarte de resíduos (AZEVEDO e DALMOLIN, 2006).

Pela abrangência de funções que desempenha e pela pressão antrópica cada vez maior, tornou-se importante diferenciar o solo em função da atividade exercida sobre esse, apresentando as especificidades geradas pelos diferentes manejos e tipos de coberturas. Dessa forma, costumam-se adotar diferentes denominações como solos agrícolas, solos florestais e solos urbanos. Sobre este último Pedron et al. (2004), por exemplo, desenvolvem uma ampla discussão.

Embora os princípios fundamentais da Ciência do Solo sejam abrangentes a solos sob todos os tipos de vegetação, natural ou cultivada, diferenças como abundância e diversidade de cobertura vegetal, ausência de práticas de manejo ou diferentes intensidades de aplicação destas, entre outras características, permitem identificar especificidades no ambiente edáfico. Ignorar influências tão pertinentes pode representar uma limitação ao avanço da ciência, uma vez que não é possível dissociar-se o futuro dos diferentes solos do planeta do seu uso presente, especialmente aqueles que passam pela ação antrópica.

No âmbito das atividades do setor florestal, o solo desempenha importantes funções relacionadas à manutenção dos índices de produtividade,

sendo o entendimento de suas propriedades e mecanismos fundamental para se alcançar a eficiência esperada das práticas de manejo e a sustentabilidade de um sistema florestal, seja este voltado à obtenção de produtos ou à conservação dos recursos naturais.

O conceito de solo florestal não é novidade, constituindo-se em foco de pesquisas científicas desde o começo do século passado e amplamente aceito e utilizado na comunidade científica internacional (LUNT, 1932; JENNY, 1941; WILDE, 1958; PITCHETT e FISCHER, 1987, DUPOUYE et al., 2002). Em seu clássico livro "Factor of soil formation", um dos alicerces da Ciência do Solo moderna, Jenny (1941) utiliza amplamente o termo e salienta que definir o grupo de solos florestais (assim como "solos árticos", "solos de pradarias", "solos tropicais", entre outros), auxilia no entendimento das especificidades de cada grupo, a partir da interpretação das múltiplas combinações de seus fatores de formação. Outras obras importantes e que trouxeram luz sobre o tema são "Properties and management of forest soil" de Pitchett e Fischer (1987) e "Carbon forms and functions in Forest soils" (MCFEE e KELLY, 1995), entre muitos outros. A conferência sobre solos florestais (North American Forest Soils Conference), realizada pela Soil Science Society of America há mais de 50 anos (a primeira foi em 1958), é outro exemplo da relevância do tema.

A presente revisão de literatura propõe analisar a definição de solo florestal, realçando características inerentes a este, que sejam relevantes para o entendimento da sua formação, subsidiando o desenvolvimento e aplicação do manejo sustentável e conservação dos recursos florestais, naturais ou implantados. Aborda-se com maior relevância características que se associam ao manejo e nível de qualidade do solo, com ênfase aos aspectos da ciclagem de nutrientes e variações nos atributos físico-químicos. Assim, o trabalho visa contribuir com a discussão sobre o tema junto à comunidade científica brasileira, incentivando pesquisadores e acadêmicos a futuras pesquisas, uma vez que no Brasil essa é uma área ainda pouco explorada no contexto científico e de grande importância para o futuro do país em face de sua área florestal.

DESENVOLVIMENTO

O conceito de solo florestal

Um dos conceitos de solo mais difundidos e aceitos mundialmente é o do Soil Survey Staff (1999), segundo o qual solo é um corpo natural com fases sólida, líquida e gasosa, que ocupa espaço na superfície terrestre e distingue-se do material de origem por horizontes e camadas formados a partir de adição, perda, transferência e transformação de matéria e energia, ou que seja capaz de suportar o desenvolvimento de sistemas radiculares. No entanto, a percepção do que é o solo pode variar conforme a atividade desenvolvida e a formação profissional e intelectual do observador (TROEH e THOMPSON, 2005).

No que tange ao solo como meio de desenvolvimento de florestas, sua definição necessita de uma complementação, dada a forte influência da cobertura florestal sobre sua formação. Nesse sentido, Wilde (1958) define solo florestal como uma porção da superfície terrestre que serve como meio de sustentação da floresta; constituído por material mineral e orgânico, permeado por diferentes teores de água e ar, além de ser habitado por organismos e exibir características peculiares adquiridas sob influência de três fatores pedogenéticos não comumente encontrados em outros solos: resíduos florestais, raízes das árvores e organismos específicos, cuja existência depende da presença da cobertura florestal. Esses aspectos peculiares aos solos florestais são fundamentais em seu processo de evolução, condicionando uma série de características.

A maior parte dos solos do planeta desenvolveu-se sob florestas, cuja influência foi significativa para o estabelecimento de certas características edáficas (PRITCHETT e FISCHER, 1987), como o grau de acidificação e de dessilicação, por ter atuado como fator de formação do solo e, assim, interferido nos processos pedogenéticos gerais e específicos (FUJII et al., 2008). As primeiras observações das relações entre solo e floresta foram realizadas pelos habitantes primitivos desta. Como exemplo, pode-se citar a dependência dos indígenas norte-americanos e das tribos mongóis na Eurásia em relação às florestas, que os conduziu a um entendimento dos fatores que influenciam a distribuição das árvores e sua suscetibilidade ao fogo (WILDE, 1958).

A substituição da cobertura florestal original por outras atividades como cultivos agrícolas, pecuária, centros urbanos, entre outras, modifica as

características edáficas em um período relativamente curto, dependendo do tipo de solo e da intensidade das práticas adotadas. Tais modificações servem como base de distinção entre solos florestais e solos sobre outros usos e coberturas, como os solos agrícolas, por exemplo, sem que, com isso, se esteja gerando um equívoco terminológico e científico (JENNY, 1941; WILDE, 1958).

Comerford (2002) salienta que a justificativa para que se definam solos florestais baseia-se no longo tempo de vida da cobertura vegetal. Em nível nacional, Gonçalves (2002) propôs a atribuição do termo a solos sob plantações florestais.

Analisando-se publicações científicas, o termo solo florestal é amplamente utilizado (ROMANS et al., 1973; BARROS e NOVAIS, 1990; COMERFORD, 2002; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN et al., 2002; FERNANDES e SOUZA, 2003; WONISCH et al., 2008, FUJII et al., 2008). Comerford (2002) encontrou publicações com o termo desde o ano de 1893, incluindo pesquisadores espanhóis, alemães, franceses, húngaros, canadenses e norte-americanos.

Atualmente, a silvicultura comercial tem alcançado altas taxas de produtividade e impulsionado um dos principais setores da economia internacional. No Brasil, historicamente, a silvicultura esteve limitada às áreas ditas marginais, quando interpretadas do ponto de vista da aptidão agrícola, sendo, geralmente, solos pobres em fertilidade (DEDECEK et al., 2007). Quando implantada sobre antigas áreas de cultivos agrícolas, muitas vezes, o nível de fertilidade não é um fator limitante. Contudo, estas áreas frequentemente apresentam problemas físicos, devido a processos de compactação (BARROS e COMERFORD, 2002).

Com a evolução do setor florestal brasileiro, bem como pela necessidade de conservação e manutenção das florestas naturais, a caracterização dos solos florestais torna-se ainda mais importante, tanto do ponto de vista ambiental quanto produtivo.

Pritchett e Fischer (1987) apresentam duas concepções que se tornaram clássicas para o entendimento de solo florestal:

- a) solo que se desenvolveu sob a influência de cobertura florestal, ou,
- b) solo que se desenvolveu e permanece sob floresta.

Partindo dessa concepção, são apresentados nos tópicos a seguir: (I) características de distinção para solos florestais, (II) aspectos relativos aos solos sob florestas naturais, (III) aspectos relativos aos so-

los sob florestas plantadas e (IV) relação entre solo e produtividade florestal.

Características de distinção para solos florestais

A identificação de um conjunto de características que permitam definir solos florestais torna-se importante na medida em que, com essa definição, pode-se avançar no desenvolvimento de práticas de manejo e conservação, voltadas às especificidades desses solos.

Mesmo em áreas que há muito já perderam sua cobertura florestal original, a influência desta permanece presente em certas características, por ter atuado como fator de formação do solo e assim interferido nos processos pedogenéticos gerais e específicos. Processos pedogenéticos como adição e eluviação de compostos organominerais, por exemplo, são fortemente influenciados pelo aporte de ácidos orgânicos provenientes da serapilheira florestal (PRITCHETT e FISCHER, 1987). Um exemplo dessa influência é a intensificação da formação de polímeros de alumínio e sílica, mesmo em baixo pH, devido ao acúmulo considerável de ácidos orgânicos em solos florestais, os quais atuam como complexantes (WONISCH et al., 2008). Fujii et al. (2008) encontraram correlação entre a presença da cobertura florestal e os processos pedogenéticos de solos florestais do Japão, cuja maior produção de ácidos orgânicos dissolvidos acelerou os processos de eluviação-iluviação e acidificação do solo. Estes autores concluíram que a atividade das raízes florestais em camadas mais profundas e a concentração de raízes finas na interface com a serapilheira foram responsáveis pelo alto fluxo de prótons, intensificando a acidificação pedogenética e a podzolização.

A substituição de uma cobertura florestal por cultivos agrícolas, ou outras formas de uso do solo, altera atributos edáficos herdados da cobertura original. Reduções no conteúdo de matéria orgânica do solo e variações na ciclagem de nutrientes têm sido documentadas (PENNOCK e VAN KESSEL, 1997; LOUZADA et al., 1997; COMPTON e BOONE, 2002). Compton e Boone (2000) demonstraram que solos florestais transformados em cultivos agrícolas e depois abandonados apresentaram uma redução de 30 a 60% da fração leve da matéria orgânica, quando comparados ao mesmo solo que permaneceu com cobertura florestal. Por outro lado, o avanço da silvicultura brasileira tem demonstrado que, quando florestas plantadas são introduzidas em áreas agrícolas já esgotadas, pode ocorrer um

processo inverso, contribuindo para um aumento em matéria orgânica e em formas mais estáveis de carbono (BARROS e COMERFORD, 2002).

No Brasil, as áreas de floresta natural, historicamente, são substituídas por culturas agrícolas ou pastagens. Na região sul do país, a intensa derrubada da Floresta Ombrófila Mista fomentou a indústria madeireira durante a metade inicial do século passado e deu lugar a grandes áreas agrícolas (MIELNCZUK, 2003), realidade que também é registrada em outras formações vegetais brasileiras como Mata Atlântica (DEAN, 1997) e, em décadas mais recentes, em Cerrado (BALDUÍNO et al., 2005) e Floresta Amazônica (NOBRE e NOBRE, 2005). Em todas essas regiões, a fertilidade natural acumulada pelas formações florestais originais respalda a transição para atividades agropecuárias. Contudo, na maioria dos casos, tais condições são rapidamente esgotadas, aumentando a dependência a insumos externos para a continuidade das atividades econômicas. Em situações mais extremas, podem levar ao abandono da área devido ao esgotamento do solo, incentivando a prática insustentável da agricultura migratória.

A floresta é substituída por cultivos agrícolas principalmente em áreas com características favoráveis à agricultura, como baixa declividade e boa drenagem. No Bioma Cerrado, por exemplo, existem áreas que estão ameaçadas de desaparecer como consequência da alta taxa de conversão para cultivos agrícolas devido às boas condições físicas do solo (BALDUÍNO et al., 2005).

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre solos florestais e solos sob cultivos anuais que facilita a diferenciação em termos práticos, conforme proposto por Comerford (2002).

O solo sob formações florestais naturais

O estudo da formação de solos sob coberturas florestais naturais é relevante para estudos da pedogênese e da relação solo-fitossociologia, uma vez que a composição florística expressa as interações ambientais e o tipo de solo formado relaciona-se com os padrões fitossociológicos (RESENDE et al., 2007). Estudos da relação solo-fitossociologia têm lançado luz sobre vários aspectos das formações florestais naturais. As principais correlações encontradas dizem respeito à influência do solo na diversidade e florística das florestas, sendo que as principais características estudadas são caracteres físico-químicos do solo (DUPOUEY et al., 2002;

TABELA 1: Comparativo entre propriedades, processos ou práticas de manejo entre solos florestais e solos sob cultivos anuais (Adaptado de COMERFORD, 2002).

TABLE 1: Comparison of properties, processes and management practices between forest soils and annual crops soils (adapted from COMERFORD, 2002).

| Propriedade, processo ou práticas de manejo | Solos florestais | Solos sob cultivos anuais |
|---|---|---|
| Tempo de rotação de cultivo | Sete anos ou mais | Um ou dois anos |
| Ciclagem de nutrientes | Ciclo fechado | Ciclo aberto |
| Processos erosivos | Pouco intenso ou inexistente | Varia de pouco a muito intenso (dependendo do manejo) |
| Topografia | De plana a forte ondulada | Geralmente plana a suave ondulada |
| Fertilização | Baixa quantidade aplicada uma ou várias vezes em cada rotação | Grandes quantidades aplicadas anualmente |
| Irrigação | Não utilizada | Utilizada |
| Temperatura do solo | Mais estável | Menos estável |
| Profundidade de solo explorada | Maiores profundidades | Camadas superficiais |
| Rochosidade | De nenhuma a alta | Baixa |
| Presença de horizonte orgânico | Normalmente presente | Normalmente ausente |

ALMEIDA, 2010; SCIPIONI et al., 2010), profundidade do solo (SCIPIONI et al., 2010) e relação entre espécies indicadoras e regimes de hidromorfia (IVANAUSKAS et al., 1997; BARDDAL et al., 2004; DE MARCHI e JARENKOW, 2008).

Avaliando áreas desflorestadas e cultivadas por 200 anos, durante a ocupação romana na França, Dupouey et al. (2002) encontraram aumento na disponibilidade de nutrientes e umidade do solo quando comparadas às áreas florestais não perturbadas adjacentes, o que foi atribuído às práticas de fertilização e terraceamento típicas da colonização romana. Nessas áreas, os autores encontraram uma maior frequência de espécies espontâneas oportunistas e uma maior restrição à reintrodução de espécies locais que ficaram restritas às áreas florestais não perturbadas. Considerando-se o período de tempo passado de quase 2000 anos entre o momento daqueles cultivos agrícolas e o presente, no qual foram feitas as análises, os autores alertam para o fato de que, provavelmente, a conversão de florestas naturais com consequente alteração do solo florestal possa ter uma influência bem maior na diversidade de espécies do que se pensava até o momento.

Alguns termos utilizados para indicar determinadas tipologias florestais ressaltam relações

mais específicas entre solo e vegetação, como é o caso das denominações floresta aluvional e floresta aluvional pluvial, utilizados para designar formações posicionadas em solos aluviais com influência das inundações de rios (VELOSO et al., 1991; IVANAUSKAS et al., 1997). Outro exemplo são as diferenciações florísticas entre florestas de igapó e florestas de várzea, nas áreas inundáveis da Amazônia, as quais são definidas pelos tipos de rios que as banham e estes, por sua vez, têm sua constituição química totalmente dependente do tipo de solo pelo qual fluem. Assim, as florestas de igapó se formam em áreas de inundação de rios que banham planícies aluviais, ricos em ácidos húmicos, de caráter ácido e com pouca concentração de cálcio e magnésio, enquanto as florestas de várzea são formadas em áreas inundadas por rios de caráter básico, com elevado transporte de sedimentos e ricos em metais alcalinos (PAROLIN et al., 2005). Da mesma forma, a baixa estatura e o aspecto retorcido dos componentes arbóreos do cerrado brasileiro se relacionam aos baixos níveis de fertilidade do solo, em especial à deficiência em boro e zinco, o que reduz a elongação celular (BARROS et al., 1990).

Por sua vez, a Ciência do Solo também reconhece a importância dessas interações sobre a for-

mação dos solos e recomenda a descrição das fases vegetais, em especial da vegetação original, quando da classificação e mapeamento de solos (SANTOS et al., 2005). Isso, porque o solo é um dos melhores fatores para se estratificar ambientes, uma vez que apresenta grande diversidade em curtas distâncias, gerando padrões complexos de disponibilidade de recursos (RESENDE et al., 2002).

O solo sob florestas plantadas

A definição que assume a presença de cobertura florestal no momento presente como critério para se caracterizar um solo florestal representa um enfoque muito interessante no que diz respeito à definição de práticas sustentáveis na silvicultura moderna. De acordo com essa percepção, tanto um solo que esteja sob floresta natural quanto um sob floresta plantada podem ser definidos como solos florestais.

Essa concepção está focada nas características de uma determinada tipologia florestal, seja esta original ou implantada (PRITCHETT e FISCHER, 1987). Isso porque, embora uma floresta natural seja muito diferente de um povoamento homogêneo, efeitos desses dois sistemas sobre o solo podem ser mais semelhantes entre si do que quando comparados com sistemas de produção agrícola, devido ao porte arbóreo, ao ciclo de vida e à qualidade e quantidade de material orgânico produzido. Pennock e Van Kessel (1996) encontraram maiores perdas de carbono orgânico e nitrogênio em florestas temperadas do Canadá manejadas sob corte raso, quando comparadas à mesma tipologia florestal não perturbada. Contudo, essas perdas foram menos marcantes entre esses sítios florestais do que quando comparados a cultivos agrícolas introduzidos no local do estudo. Romanyá et al. (2000), avaliando uma área de conversão de cultivos agrícolas para *Pinus radiata*, encontraram maiores estoques de carbono no solo sob o povoamento florestal, quando comparados aos estoques anteriores que caracterizavam o uso agrícola.

Mesmo com mecanismos semelhantes, a substituição de uma cobertura florestal natural por um povoamento florestal homogêneo pode alterar características do sistema. Louzada et al. (1997) encontraram diferenças significativas entre um povoamento homogêneo de eucalipto e uma floresta secundária semidecídua em relação à taxa de decomposição e conteúdo nutricional da serapilheira e abundância de colêmbolos e ácaros. Nesse trabalho,

a serapilheira da floresta semidecídua apresentou maior conteúdo nutricional, maior taxa de decomposição e maior abundância dos grupos edáficos analisados.

Em florestas manejadas, as técnicas adotadas desempenham importante influência sobre a qualidade do solo, podendo manter a sustentabilidade do sistema ou levar à degradação, o que pode acarretar em queda de produtividade ou abandono da área (GATTO et al., 2003; SUZUKI, 2008). Nesse sentido, o conceito de qualidade do solo torna-se importante para a compreensão dos solos florestais, sendo compreendido como a capacidade de sustentar o desenvolvimento vegetal, atuar como filtro ambiental e como regulador dos fluxos hídricos (DORAN e PARKIN, 1994). Uma interação equilibrada entre processos e funções do solo, portanto, garante elevados níveis de qualidade e a análise destes permite a avaliação do grau de alterações nas suas condições, veiculadas pelos diferentes usos, sequências culturais e práticas de manejo (REICHERT et al., 2003).

A produtividade de uma área florestal está intimamente relacionada ao nível de qualidade do solo, sendo que mais de um fator pode limitar o desenvolvimento da floresta. Tais fatores podem interagir de diversas maneiras produzindo padrões específicos de produtividade florestal que irão variar de uma área para outra. De acordo com Resende et al. (2002), aspectos como classe de solo, relevo e substrato geológico, quando relacionados ao funcionamento de ecossistemas, devem ser interpretados do ponto de vista da disponibilidade de recursos como radiação solar, água e nutrientes, os quais são fundamentais à produtividade florestal.

Relação entre solo e produtividade florestal

A produtividade florestal pode ser definida como o nível de capacidade de uma espécie florestal viver e competir eficientemente por recursos em um determinado sítio, sendo influenciada pela interação entre fatores internos (fisiológicos) e externos (ambientais) (PRITCHETT e FISCHER, 1987). Para relacionar os fatores condicionantes ao desenvolvimento da floresta com a sua potencial produtividade, desenvolveu-se o conceito de capacidade de sítio. Essa definição busca agrupar áreas semelhantes em termos de características do solo e produtividade, visando a um manejo específico para cada sítio florestal.

A qualidade do sítio afeta diversos aspectos

tos da dinâmica produtiva florestal como a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e taxa de crescimento (REIS e BARROS, 1990), além de influir em aspectos da madeira como tamanho de lumens e traqueídeos, conteúdos de celulose e lignina e densidade básica (RIGATTO et al., 2004). Para *Pinus taeda*, por exemplo, Rigatto et al. (2004) encontraram relação entre maior percentual de argila no solo, maior taxa de crescimento e menor rendimento em celulose. Para Pritchett e Fischer (1987), sítios florestais com elevada qualidade permitem uma maior possibilidade de combinações entre espécies, rotações e produtos finais.

Uma das formas de se avaliar o potencial produtivo de uma área de floresta é a determinação do índice de sítio, dado pela altura total das árvores dominantes e codominantes (tomada como parâmetro por ser pouco afetada pela densidade do povoamento e pela realização de desbastes) em uma determinada idade, denominada idade índice (CARMEAN, 1970; MIGUEL et al., 2011). As características do solo influenciam grandemente o índice de sítio que poderá ser atingido por uma espécie. Como consequência, o aumento nos níveis de qualidade do solo pode melhorar esse parâmetro e a produtividade florestal. O manejo adequado do solo e do povoamento está intimamente ligado à possibilidade de melhorias desses aspectos.

Dessa forma, o índice de sítio de uma espécie será diferente do índice de sítio de outra que se desenvolva na mesma área, ou para uma mesma espécie que se desenvolve em diferentes áreas (TONINI et al., 2002). As principais características do solo que influenciam na determinação da produtividade florestal são textura, profundidade do perfil, tipo e conteúdo de matéria orgânica, manutenção dos ciclos biogeoquímicos, presença de camadas impeditivas, drenagem interna, aeração e complexo sortivo (PRITCHETT e FISCHER, 1987).

Além dessas características, a serapilheira é um aspecto marcante das feições florestais, sendo considerada o principal componente de distinção entre solos florestais e agrícolas e a fase mais dinâmica da floresta (KEYS, 2007). É composta, em sua maior parte, por folhas, cuja proporção diminui com a idade do povoamento, dando lugar a uma maior deposição de galhos e cascas (REIS e BARROS, 1999). O acúmulo de serapilheira, sua composição e taxa de decomposição são reguladas pela entrada e saída de materiais, tipologia florestal, qualidade do substrato e diversidade da comunidade decompositora (COMPTON e BOONE, 2000; GAMA-

RODRIGUES et al., 2003). Em solos altamente intemperizados como os tropicais e subtropicais, o retorno de nutrientes a partir da serapilheira constitui a principal via de fertilização (GONÇALVES, 2002).

O aporte de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, taxas de decomposição e mineralização e a retenção de elementos são fortemente influenciados pela composição e quantidade da serapilheira, aliada a fatores ambientais (GAMA-RODRIGUES et al., 2003) e que, por sua vez, influenciarão as características dos solos florestais, principalmente em relação à qualidade e estabilidade dos ácidos orgânicos gerados, diversidade da fauna edáfica, etc. Por outro lado, a quantidade de nutrientes na serapilheira dependerá da espécie, da capacidade de translocação antes da senescência, das proporções entre compartimentos do resíduo como folhas, galhos e casca, bem como do tipo de solo (REIS e BARROS, 1999).

Resíduos florestais de baixa qualidade nutricional levam a uma menor atividade biológica no solo e, conseqüentemente, há uma redução nas taxas de decomposição e de mineralização da matéria orgânica, o que reduz a eficiência da ciclagem de nutrientes (DEDECEK et al., 2007). Em áreas do Cerrado, Reis e Barros (1999) relatam uma estagnação no crescimento de eucalipto três a quatro anos após o plantio, devido à imobilização de nutrientes na serapilheira, com retomada do crescimento a partir do quinto e sexto ano, atribuído ao início da liberação de nutrientes. Esse exemplo ajuda a demonstrar que a substituição de florestas naturais por plantios florestais de ciclo rápido altera os processos de ciclagem de nutrientes, principalmente devido a modificações na qualidade da matéria orgânica como afirmado por Rachwal et al. (2007).

A eficiência na utilização dos nutrientes e o retorno via ciclagem são características que, além dos fatores genéticos, também variam de acordo com a qualidade do sítio (SANTANA et al., 2002). Em povoamentos de eucaliptos, reduções na ciclagem de nutrientes têm sido atribuídas à alta translocação de nutrientes pela espécie, principalmente de P e K (GAMA-RODRIGUES e BARROS, 2002), produzindo serapilheira de baixa qualidade nutricional, o que reduz a taxa de decomposição, aumenta a imobilização desses elementos e altera índices de diversidade e ocupação de nichos ecológicos pela fauna edáfica (GAMA-RODRIGUES et al., 2003).

A disponibilização de nutrientes também é influenciada pelo manejo do componente flores-

tal. Em florestas sob regime de corte raso, têm sido registradas maiores perdas de cátions e ânions por lixiviação no período pós-colheita, devido a alterações no regime hídrico e na radiação solar que alcança o solo (JOHNSON, 1994).

Práticas de manejo florestal também podem afetar a ciclagem e disponibilidade de nutrientes em solos florestais, por meio da exportação via colheita, manejo dos resíduos de colheita, tipo de preparo do solo e uso da prática de queimada. Até o final da década de 1980, o preparo de solo em áreas reflorestadas no Brasil era feito por queima de resíduos e revolvimento da camada superficial, o que alterava totalmente a ciclagem de nutrientes e o compartimento orgânico (GATTO et al., 2003). Desde então, várias pesquisas vêm comprovando que a manutenção da serapilheira sobre o solo associada a um preparo mínimo do solo é mais eficiente em termos de produtividade florestal do que sua incorporação em sistemas de revolvimento, promovendo um melhor aproveitamento de nutrientes, além de menores amplitudes térmicas e maior disponibilidade de água (CAVICHIOLO et al., 2005).

A adubação e manejo dos resíduos em plantações florestais são considerados satisfatórios para compensar as saídas de nutrientes, desde que as características físicas do solo não tenham sido afetadas negativamente (BELLOTE, 2006), uma vez que se verifica correlação destas com a produtividade de povoamentos florestais (CAVICHIOLO et al., 2005; REICHERT et al., 2007; SUZUKI, 2008). Dedecek et al. (2007), comparando diferentes formas de manejo dos resíduos de colheita, concluíram que a manutenção destes permitiu um aumento de 50% da disponibilidade de água nas camadas superficiais em um solo arenoso. Cavichiolo et al. (2005) encontraram correlação positiva entre porosidade de aeração e incremento em diâmetro a altura do peito (DAP) em solos argilosos.

Variações na qualidade de atributos físicos do solo têm sido relacionadas ao uso de práticas não conservacionistas (NEVES et al., 2007). Entre esses, a densidade do solo é uma das características mais afetadas pelo manejo florestal, já que a mecanização pode levar à compactação de camadas mais profundas (NEVES et al., 2007). Dedecek et al. (2007) registraram valores de resistência à penetração do solo superiores aos níveis críticos, em profundidades de 20 e 30 cm e a cerca de 1 m da linha de plantio, atribuindo esses resultados ao tráfego de maquinário. Cavichiolo et al. (2005), comparando a compactação de solos florestais submetidos a pre-

paro e mecanização, observaram que em solos de textura média o aumento na densidade persistiu a maiores profundidades.

Reichert et al. (2007) sugerem algumas práticas para evitar ou minimizar a compactação do solo, como disposição de resíduos nas entrelinhas do tráfego, máquinas com pneus de baixa pressão e alta flutuação, tráfego controlado, incremento da matéria orgânica e controle da umidade do solo no momento do tráfego de máquinas.

A recuperação de solos florestais afetados por compactação e revolvimento do subsolo é lenta. Rab (2004) verificou que, dez anos após o manejo da floresta, a densidade do solo foi significativamente maior, enquanto a matéria orgânica e a macroporosidade foram menores em relação à área testemunha. O emprego de técnicas de manejo que optem por plantas mais eficientes em utilizar nutrientes, que conservem ao máximo os resíduos das culturas no sítio, com o mínimo possível de intervenções antrópicas e cujo ciclo de crescimento seja longo o suficiente para permitir a máxima eficiência da ciclagem de nutrientes, levará à maior conservação do solo em florestas plantadas (SANTANA et al., 2002).

Como a qualidade dos solos florestais e a qualidade dos sítios produtivos estão diretamente relacionadas, esses dois fatores serão responsáveis não apenas por variações em produtividade, como também pela determinação de certas características dos produtos florestais obtidos. Como exemplo, Rachwal et al. (2007), estudando a produtividade de acácia-negra em diferentes tipos de solo, encontraram menor produtividade em Neossolo Litólico álico, com menor crescimento em altura e maior densidade básica para alburno e cerne, enquanto em Neossolo Litólico eutrófico observou-se maior crescimento em altura, concluindo-se que as diferenças químicas entre os dois Neossolos avaliados foram determinantes das diferenças entre sítios.

Geralmente, características que são indesejáveis a culturas anuais não são impeditivas à atividade florestal, desde que consideradas as exigências pelos demais fatores florestais. Assim, locais com drenagem imperfeita, rochiosidade ou declividade acentuada podem apresentar índices de sítio consideráveis. Na Amazônia, por exemplo, a alta pluviosidade e baixa fertilidade do solo restringem a aptidão agrícola. Contudo, estas áreas apresentam grande capacidade florestal, podendo atingir cerca de 289 espécies florestais por hectare (PEREIRA, 2001). Em geral, os solos utilizados para o cultivo

de espécies florestais exóticas no Brasil apresenta baixa fertilidade natural, com reduzida capacidade de troca de cátions e elevada saturação por alumínio (VAN RAIJ et al., 1997), entretanto isso não impediu o crescimento e fortalecimento da silvicultura brasileira quando se aliou melhoramento genético com avanços no uso de práticas conservacionistas.

A noção do solo florestal como ente diferenciado e que, portanto, necessita de entendimento específico para um manejo adequado tem se limitado à identificação de sítios florestais e sua aptidão a determinadas espécies. No entanto, a amplitude de aplicabilidade do conceito se estende a aspectos conservacionistas, de caráter ecológico e genético, bem como pode contribuir para a elaboração de planos de uso mais eficientes.

Para o Brasil, país que apresenta incontável vocação florestal, o aumento do entendimento sobre solos florestais e suas especificidades é fundamental, tanto no que diz respeito à conservação de seus recursos naturais quanto à manutenção e aumento de seus altos índices de produtividade florestal. Assim, o estudo dos solos florestais conduz ao uso mais racional desse recurso, no que concerne ao planejamento, desde a aptidão apresentada e espécies recomendadas até práticas silviculturais, condução do povoamento e tipo de sistema de colheita.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distinção de solo florestal está amplamente caracterizada na literatura especializada e comprova que a cobertura florestal, tanto nativa quanto plantada, confere ao solo atributos específicos, contribuindo para um melhor entendimento sobre sua gênese, biodinâmica e conservação. Apesar de ainda não haver um consenso sobre qual a melhor definição para o termo, o conceito de solo florestal como sendo aquele que apresenta cobertura florestal no momento presente é o que permite uma maior aplicabilidade para fins de manejo conservacionista na silvicultura moderna.

Apesar do debate não se encerrar, a conceitualização de solos florestais abre a possibilidade de se criar uma identidade comum, o que facilita estudos comparativos de características específicas, fortalecendo a pesquisa em torno do tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. **Relação solo-fitossociologia em um remanescente de floresta estacional decidual.**

2010. 74 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Santa Maria, 2010.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente: uma introdução.** Santa Maria: Pallotti, 2006. 100 p.

BALDUÍNO et al. Fitossociologia e análise comparativa da composição florística do cerrado da flora de Paraopeba – MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 25-34, 2005.

BARDDAL, M. L. et al. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, 2004. p. 37-50.

BARROS, N. F. et al. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: SBCS (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 487 – 592.

BELLOTE, A. F. J. Interação solo versus planta e a sustentabilidade da produção das florestas plantadas. **Opiniões**, mar-mai, Ribeirão Preto, 2006. 22 p.

CARMEAN, W. H. Tree-growth patterns in relation to soil and site. In: CARMEAN, W.H. **Tree growth and forest soils.** Oregon: Oregon State University, 1970. p. 499-512.

CAVICHIOLO, S. R. et al. Modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 571-577, 2005.

COMERFORD, N. B. **Forest Soils.** Encyclopedia of Soil Science, 2002. p. 596-589.

COMPTON, J. E.; BOONE, R. D. Long-term impacts of agriculture on soil carbon and nitrogen in New England forests. **Ecology**, v. 81, p. 2314-2330, 2000. doi:10.1890/0012-9658(2000)081 Disponível em: <(http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890)>. Acesso em: 21 abr 2009.

COMPTON, J. E.; BOONE, R. D. Soil nitrogen transformation and the role of light fraction organic matter in forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34. p. 933-943, 2002. doi: 10.1016/S0038-0717(02)00025-1

Disponível em: <(http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6TC7-458N91N-4- -zSkzk&_valck=1&md5=a4895b94d

- 575a89a20cebad3d46f32f7&ie)>. Acessado em: 11 de fevereiro de 2010.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997, 484 p.
- DEDECEK, R. A. et al. Influence of residue management and soil tillage on second rotation *Eucalyptus* growth. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, **n. 74, p. 09-17, 2007**.
- DE MARCHI, T. C.; JARENKOW, J. A. Estrutura do componente arbóreo de mata ribeirinha no rio Camaquã, município de Cristal, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 241-248, jul-dez 2008.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B., Defining and assessing soil quality. In: DORAN J. W. et al. (Eds.), **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. Madison: Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).
- DUPOUEY, J. L. et al. Reversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. **Ecology**, n. 83, v. 11, 2002, p. 2978-2984.
- FERNANDES, H. C., SOUZA, A. P. Compactação de um Latossolo Vermelho causada pelo tráfego do “forwarder”. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 279-284, 2003.
- FUJII, K. et al. Contribution of different proton sources to pedogenetic soil acidification in forested ecosystems in Japan. **Geoderma**, v. 144, p. 478-490, 2008. doi:10.1016/j.geoderma.2008.01.001 Disponível em: <(http://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl3?url_ver=Z39.882004&url_ctx_fmt=infofi/fmt:kev:mtx:ctx&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&ctx_ver=Z39.882004&rfr_id=info:sid)>. Acessado em: 3 de dezembro de 2008.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, p. 193-207, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1021-1031, 2003.
- GATTO, A. et al. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 635-646, 2003.
- GONÇALVES, J. L. M. Principais solos utilizados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M. & STAPPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 2-45.
- IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Aspectos ecológicos de um trecho de floresta de brejo em Itatinga, SP: florística, fitossociologia e seletividade de espécies. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 20, n. 2, 1997, p.139-153.
- JENNY, H. **Factors of soil formation. A System of Quantitative Pedology**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.
- JOHNSON, D. W. Reasons for concern over impacts of harvesting. In: DYCK, W. J., COLE, D. W., COMERFORD, N. B. (Eds.). **Impacts of Forest Harvesting on Long-term Site Productivity**. Londres: Chapman and Hall, 1994. p. 1- 12.
- KEYS, K. **Forest Soil Types of Nova Scotia. Identification, Description, and Interpretation**. Nova Scotia: Department of Natural Resources. 2007. 46 p.
- LIMA, W. P. et al. Implicações da colheita florestal e do preparo do solo na erosão e assoreamento de bacias hidrográficas. In: GONÇALVES, J. L. M; STAPE, J. L (Eds.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002, p. 373-392.
- LOUZADA, J. N. C. et al. Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus* spp. crop in Brazil: a comparison. **Forest Ecology and Management**, v. 94, p. 31-36, 1997. doi: 10.1016/S0378-1127(96)03986-2. Disponível em: <(http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6T6X-3RH6GTP-M-5&_cdi=5042&_user=687358&_pii=S0378112796039862&_origin=browse&_zone=rslt_list_item&_coverDate=06%2F30%2F1997&_sk=999059998&_wchp=dGLzVlbzSkzk&md5=8f5e399397dfdb49f77fadd84cce)>. Acessado em: 5 de março de 2009.
- LUNT, H. A. **Profile characteristics of New England forest soils**. University of Connecticut, Connecticut Agricultural Experimental Station. New Haven. 1932. 836 p.(Boletim 342).
- MARSHALL, V. G. Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 133, p. 43-60, 2000. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00296-0. Disponível em: <(http://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl3?url_ver=Z39.882004&url_ctx_fmt=infofi/fm:kev:mtx:ctx&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-

- 8&ctx_ver=Z39.882004&rfr_id=info:sid)>. Acessado em: 23 de fevereiro de 2009.
- MC FEE, W. W.; KELLY, J. M. (eds.) **Carbon forms and functions in forest soils**. North American Forest Soils Conference. Gainesville, 1993. Soil Science Society of America, 1995. 594 p.
- MEURER, E. et al. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. **Fundamentos de Química do Solo**, 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, p. 117-162. 2006.
- MIELNICZUK, J. **Manejo do solo no Rio Grande do Sul: uma síntese histórica**. In: Curso de fertilidade do Solo em Plantio Direto, VI. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2003. p. 5-14.
- MIGUEL, E. P. et al. Classificação de sítio para plantios de *Eucalyptus urophylla* em Niquelândia, estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12. Goiânia, 2011. p. 1- 11.
- NEVES, C. M. N. et al. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 45-53, 2007.
- NOBRE, A. D.; NOBRE, C. A. O carbono e a Amazônia. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. p. 39-48.
- PAROLIN, P. et al. Os rios da Amazônia e suas interações com a floresta. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. p. 49-54.
- PEDRON, F. A. et al. Solos urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, set./out. 2004
- PENNOCK, D. J.; VAN KESSEL, C. Clear-cut forest harvest impacts on soil quality indicators in the mixed wood forest of Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, v. 75, p. 13-32, 1997.
- PEREIRA, H. S. **Cambio en el uso de la tierra – Brasil**. Proyecto informacion y analisis para el manejo forestal sostenible: integrando esfuerzos nacionales e internacionales en 13 paises tropicales en America Latina. Chile/Brasil, 2001. 18 p.
- PRICHTETT, W. L.; FISHER, R. **Properties and management of forest soil**. 2nd ed. Nova York: John Wiley & Sons, 1987. 488 p.
- RAB, M. A. Recovery of soil physical properties from compaction and soil profile disturbance caused by logging of native forest in Victorian Central Highlands, Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 191, p. 329-340, 2004.
- RACHWAL, M. C. G. et al. Manejo dos resíduos da colheita de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild) e a sustentabilidade do sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 137-144, 2007.
- REICHERT, J. M. et al. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 29-48, 2003.
- REICHERT, J. M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.
- REIS, M. G.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-296.
- RESENDE, M. et al. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 261-269, 2002.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia. Base para distinção de ambientes**. 5. ed. Rev. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322p.
- RIGATTO, P. A. et al. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de pinus taeda para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.
- ROMANS, C. C. et al. A fossil brown forest soil from angus. **European Journal of Soil Science**, v. 24, n. 1, p. 125-128, 1973.
- ROMANYÁ, J. et al. Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* on Mediterranean agricultural soils. **European Journal of Soil Science**, v. 51, p. 627-641, 2000.
- SANTANA, R. C. et al. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.
- SCIPIONI, M. C. et al. Distribuição do compartimento arbóreo em gradiente de relevo e solos de encosta Meridional da Serra Geral, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1295-1301. 2010
- SEIXAS, F. efeitos físicos da colheita mecanizada de madeira sobre o solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Eds.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002. p. 314-349.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy**. 2nd ed. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook Natural Resources Conservation Service, n. 436, 1999. 871 p.

- SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil.** 2008. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Santa Maria, 2008.
- TONINI H. et al. Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 143-152, 2002.
- TROEH, F. R., THOMPSON, L. M. **Soil and soil fertility.** Oxford: Blackwell Publishing, 6. ed., 2005. 489 p.
- VAN RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- VELOSO, H.; RANGEL FILHO, A. L.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** IBGE: Rio de Janeiro, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.
- ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. et al. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in relation to microbial biomass dynamics in a beech forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34. p. 823-832, 2002.
- WILDE, S. A. **Forest soils: their properties and relation to silviculture.** New York: The Ronald Press Company, 1958. 536 p.
- WONISCH, H. et al. Occurrence of polymerized silicic acid and aluminum species in two forest soil solutions with different acidity. **Geoderma**, v. 144, p. 435-445, 2008. doi:10.1016/j.geoderma.2007.11.022 Disponível em: <(http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V67-4RSRR3D-19&_cdi=5807&_user=687358&_pii=S0016706107003357&_origin=browse&_coverDate=04%2F15%2F2008&_sk=998559996&view=c&wchp=dGLbVzb-zSkzV&md5=a3ac2ef0439f8b8a122b8d7180e8b065&ie=/sdarticle.pdf)>. Acessado em: 23 de fevereiro de 2009.