

AGNA ALMEIDA MENEZES

**PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE
E A CLASSE DE SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M543p Menezes, Agna Almeida, 1971-
2005 Produtividade do eucalipto e sua relação com a
qualidade e a classe de solo / Agna Almeida Menezes.
– Viçosa : UFV, 2005.
xi, 98f. : il. mapas col. ; 29cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 88-98.

1. Fertilidade do solo. 2. Solos - Produtividade.
3. Solos florestais - Fertilização. 4. Levantamentos do
solo. 5. Eucalipto - Produção. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.422

A Deus, pela beleza da vida, e de poder conceber uma vida.

Aos meus pais Alcides e Aydê, pelo verdadeiro amor.

Aos meus irmãos, meu nicho ecológico, por nunca me deixar me perder.

Ao meu filho, Roberto, por tudo e por tanto.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização do Curso.

À Universidade Estadual de Santa Cruz e ao Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, pela liberação das atividades acadêmicas que possibilitou a realização e conclusão deste Curso.

Ao povo brasileiro, por meio dos seus impostos e “esforços”, possibilitou que a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), fizesse a concessão da bolsa de estudo.

À CENIBRA Nipo Celulose S.A. pela concessão da base de dados que possibilitou a realização deste trabalho, especialmente na pessoa do Doutor Fernando Palha Leite, sempre disposto em atender às minhas solicitações.

Ao Professor Julio César Lima Neves, pela amizade, carinho, compreensão, incentivo, confiança depositada desde sempre e pela dedicação para realização deste trabalho.

Ao Professor Nairam Félix de Barros, exemplo de dedicação e trabalho, pela simplicidade na tomada de uma decisão considerada tão complexa para muitos, mas que me trouxe grande felicidade.

Ao Professor João Carlos Ker, pela amizade, pelos ensinamentos, pelo exemplo de dedicação ao trabalho, pelas contribuições ao trabalho desenvolvido e pelas reuniões “extra solos”, que tanto me fizeram feliz.

Ao Professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, pela amizade, pelo carinho e pela simplicidade nos ensinamentos de SIG, fundamentais para conclusão deste trabalho.

Aos demais professores do Departamento de Solos, especialmente Victor Hugo Alvarez V. e Roberto Ferreira de Novais, exemplos de trabalho e dedicação, pelas “sementes” que plantaram quando da minha chegada a UFV.

Aos primeiros “culpados” de todo esse processo, Paulo Gabriel Soledad Nacif e Jorge Antonio Gonzaga Santos.

Aos amigos Felipe e Karina, pela amizade, carinho e especial atenção a mim e a minha família num momento decisivo para conclusão deste Curso.

Aos amigos Clístenes, Cristiane, Marcelo Metri, Beto Bananeira, José Augusto, Marco Antônio, Isaías, Ronessa, Paraná e Oldair, por todos os momentos de risos e “discussões sadias” que fizeram com que minha estada em Viçosa fosse muito gratificante.

Aos amigos, Joelson, Tarcísio, Marco Faca, Cleber, Aline, Antônio Fábio, Paula, Alex e Naiara, pela amizade e por todos momentos de alegria que me proporcionaram durante a realização deste trabalho.

Às pessoas que não foram citadas, mas que tenho a certeza o quão importantes foram neste momento de minha vida.

A Luís Maurício Brandão Leal, pelo grande amor, compreensão, auxílio e estímulo que tanto contribuiu para realização deste doutoramento.

BIOGRAFIA

AGNA ALMEIDA MENEZES, filha de Alcides Menezes Oliveira e Aydê Fontana de Almeida Oliveira, nasceu em 4 de agosto de 1971, na cidade de Itapetinga, Bahia.

Em 1990, iniciou o Curso de Agronomia, na Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas (BA). Em 1991, iniciou suas atividade de pesquisa como membro do Programa Especial de Treinamento (PET) da CAPES, onde permaneceu até a conclusão do curso de graduação em agosto de 1994.

No mesmo mês e ano ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 27 de junho de 1997.

Em 1996, durante o período de Mestrado, ingressou como Professora na Universidade Estadual de Santa Cruz, função que exerce desde então.

Em 2000, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, submetendo-se à defesa de tese em 28 de janeiro de 2005.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Métodos diretos para determinação da qualidade do sítio florestal	5
2.2. Métodos indiretos para determinação da qualidade do sítio florestal	6
2.2.1. Tipos e aplicação dos levantamentos de solo	8
2.3. Características de sítios e produtividade florestal	10
2.4. Índice de qualidade de solo: uma ferramenta de integração	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Caracterização geral da área	20
3.2. Levantamento de solos	22
3.2.1. Tratamento dos dados do levantamento	23
3.3. Estimativa da produtividade atingível	25
3.4. Método solo-local	26
3.5. Avaliação integrada utilizando a classe de solo	26

	Página
3.6. Índice de Qualidade de Solo (IQS)	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1. Produtividade de eucalipto nas áreas estudadas	33
4.2. Relacionamento entre produtividade e características de solo	36
4.3. Relacionamento entre produtividade e classe de solo	42
4.3.1. Relações entre classe de solo, características morfológicas e fisiografia	59
4.3.1.1 – Região de Belo Oriente	59
4.3.1.2 – Região de Virginópolis	69
4.4. Índice de qualidade de solo	75
5. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

RESUMO

MENEZES, Agna Almeida, D.S., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2005. **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Conselheiros: Nairam Felix de Barros, João Carlos Ker e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

A obtenção da produtividade florestal máxima ou atingível, que é definida pelo clima e pela qualidade do material genético, se dá quando nenhum outro fator de produção seja limitante, tais como água, nutrientes e características físicas do solo. Portanto, para um dado clima e material genético, pode-se propor que a diferença entre a estimativa de produtividade atingível e a produtividade medida seja reflexo das características de solo que possam estar limitando a aquisição dos recursos água e nutrientes. Este trabalho objetivou: estimar a produtividade atingível de plantios de eucalipto em áreas da CENIBRA S.A., na região Leste de Minas Gerais; relacionar a produtividade média desses plantios com características de solo, pelo método solo-local, e integradas mediante a classe taxonômica e por índices de qualidade de solo (IQS). Para tanto, fez-se a estimativa da produtividade atingível, mediante o modelo baseado em processos 3_PG, parametrizado para as condições da CENIBRA, e calculou-se a diferença entre essa produtividade e a produtividade de tronco obtida em parcelas do inventário florestal da empresa. Selecionaram-se as regiões de Virginópolis e de Belo Oriente, as mais contrastantes em termos de condições climáticas e produtividade, porém semelhantes em classes de solo. Avaliou-se, por meio de

correlação e de regressão múltipla a relação entre características físicas, químicas e mineralógicas do solo e a produtividade do eucalipto, utilizando-se o levantamento pedológico semi-detalhado e a produtividade de tronco. Para essas duas regiões, classificaram-se os projetos em mais produtivos e em menos produtivos. Utilizando-se ferramentas de SIG calculou-se a área de cada classe de solo nos projetos e confeccionou-se o modelo digital de elevação, para a definição do grau de declive associado a cada classe de solo e da frequência de ocorrência dessas classes nos projetos. Os teores de nutrientes no solo, estimados para a fase inicial de crescimento das árvores, foram utilizados no ajuste do modelo de regressão múltipla e no modelo de qualidade de solo. Para a obtenção dessas estimativas se baseou nos teores de nutrientes obtidos nas análises químicas do solo e nos conteúdos de nutrientes nas árvores ao final do ciclo. Concluiu-se que a utilização de modelos baseados em processos pode estimar a capacidade produtiva do sítio e assim subsidiar e priorizar as técnicas a serem utilizadas visando aumentar a produtividade, ou mantê-la se em níveis já satisfatórios. Na avaliação do relacionamento entre a produtividade da cultura do eucalipto e características do solo, pelo método solo-local, os melhores modelos incluíram as características matéria orgânica e P-remanescente, que refletem a extensão e a qualidade da superfície adsorvente da fase sólida, e o teor de potássio no solo estimado para a fase inicial de crescimento da cultura. Assim, no método solo-local, para solos altamente intemperizados de regiões tropicais, devem ser considerados os teores de nutrientes no solo na fase inicial de crescimento da cultura, que podem ser estimados pelo acréscimo dos teores no solo derivados dos conteúdos de nutrientes nas árvores aos teores de nutrientes no solo medidos ao final do ciclo ou por ocasião do monitoramento. A classe de solo definida nos níveis categóricos mais baixos, pelo menos no 4º, aliada às feições fisiográficas, é indicadora de produtividade de eucalipto. O IQS foi sensível às regiões, indicando maior qualidade para os solos de Virginópolis, comparativamente aos de Belo Oriente. O IQS foi também sensível às variações das características de solo dentro de cada unidade taxonômica, e, em Virginópolis, relacionou-se estreitamente com a produtividade do eucalipto.

ABSTRACT

MENEZES, Agna Almeida, D.S., Universidade Federal de Viçosa, January, 2005. **Eucalypt productivity and its relation with soil quality and class.** Adviser: Júlio Cesar Lima Neves. Committee members: Nairam Félix de Barros, João Carlos Ker and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The maximum forest productivity is determined by climate conditions and by the quality of the genetic material when no other growth factor, such as water, nutrients and soil physical properties, is limiting. Hence, for a given climatic condition and genetic material, the difference between the actual and the estimated forest productivity is supposedly due to soil characteristics which limit water and nutrient acquisition by plants. This paper has the main aim: 1) to estimate the maximum eucalypt productivity in areas of the East Region of Minas Gerais State, belonging to CENIBRA S.A. and, 2) to study the relationship between eucalypt productivity and soil characteristics through the soil-site method and integrated by soil taxonomic class and soil quality indexes (IQS). The 3PG Model, adjusted to CENIBRA's conditions, was used to estimate eucalypt potential productivity. The difference between the estimated and the actual productivity was calculated. Two contrasting regions, in terms of climate and productivity, Belo Oriente and Virginópolis, but similar in terms of soil classes, were selected for the study. The relation between soil mineralogical, chemical and physical properties and eucalypt stem productivity

was examined by correlation and regression equations. For both regions the stands were grouped into high and low productivity. A digital elevation model was constructed and the area of each soil class was estimated using GIS tools, according to location and stand productivity. As soil chemical analyses, at the planting time, were not available for all the stands, soil nutrient content required for sustaining the actual forest growth was estimated and used to fit the regression equations and the model of soil quality. For this estimation, soil analyses performed at the end of the rotation and the amount of nutrients in the tree were summed up and converted into soil analyses unities. It was concluded that the estimations obtained with the 3PG Model for site productivity were reliable and comparable to the actual tree growth. The best models relating tree growth (soil-site method) and soil characteristics included soil organic matter content and the concentration of P in the solution (remaining-P), when 60 mg/L of P was shaken with soil samples for 16 hours, which reflect soil adsorbing capacity and soil potassium content at the planting time. Therefore, the reliability of tree growth estimation by the soil-site method for highly weathered soils of the tropical conditions depends upon soil nutrient content at the planting time. Detailed soil classification, at least at the series level, associated with physiographic features, represents a good system for defining tree productivity. The IQS values varied between regions, with higher values for Virginópolis than for Belo Oriente, being also sensible to variations at the soil class level, showing a close relation with eucalypt growth.

1. INTRODUÇÃO

As plantações de eucalipto no Brasil são de grande importância ambiental e econômica. Abrangem, atualmente, representando em torno de 62% de cerca de 5 milhões de hectares, área total de plantações florestais com espécies de rápido crescimento (SBS, 2001).

Em 2001, essa cultura apresentou PIB da ordem de US\$ 21 bilhões (4% do PIB do País), assim distribuídos: madeira e móveis: US\$ 9,3 bilhões, celulose e papel: US\$ 7,5 bilhões, e siderurgia a carvão vegetal: 4,2 US\$ bilhões (Leite, 2002).

O setor de base florestal, em 2001, foi responsável pela obtenção de divisas da ordem de US\$ 5,4 bilhões, recolheu US\$ 2 bilhões de impostos, e proporcionou 2 milhões de empregos diretos mais indiretos, dos quais 500.000 em plantações florestais (Leite, 2002). Dados mais recentes, do Ministério da Agricultura e Abastecimento, relativos às exportações no ano de 2004, e apresentados pela Folha de São Paulo em sua edição de 7 de janeiro de 2005, revelam que o agronegócio foi responsável por 40% das vendas do País ao exterior, liderados pelo complexo soja (US\$ 10 bilhões), vindo a seguir madeira e derivados mais papel e celulose (US\$ 6,7 bilhões).

A obtenção de madeira, para as mais diversas utilizações, a partir de plantações florestais diminui a pressão de utilização sobre as florestas nativas, contribuindo para a conservação de seus recursos naturais.

Deve-se considerar, porém, que as culturas de eucalipto e de Pinus, as mais utilizadas nas plantações florestais no País apresentam altas taxas de crescimento, que implicam em elevada demanda de água e nutrientes. Esse fato ressalta a importância do solo, especialmente tendo em vista a sustentação da produtividade ao longo do tempo (Barros & Comerford, 2002), base para a manutenção da competitividade do setor (Neves, 2004).

Para avaliação da capacidade produtiva de determinado local, as empresas do setor florestal, utilizam duas principais técnicas: levantamento de solos e inventário florestal. Em síntese, a primeira tem por objetivo a descrição das áreas e o mapeamento do contínuo das terras em unidades taxonômicas de solos, enquanto que a segunda permite a obtenção da produtividade ao final do ciclo de produção. No entanto, não há uma harmonia entre as duas ações que permitam o entendimento dos processos que expliquem as diferenças na produção de locais distintos, visto que para a realização do inventário florestal, mais comum é utilizar amostragem simples, ou seja, não há uma preocupação de estratificar as áreas dadas às suas características, tais como tipo de solo ou relevo. Desse modo, a média de produção obtida nas parcelas de inventário, pode não refletir a produção total de um talhão, por exemplo, quando esse for heterogêneo em tipo de solo ou classe de relevo.

Por isso é conveniente ressaltar a importância de harmonizar, por meio de técnicas de modelagem, os resultados dessas duas ações, visando melhor elucidar o relacionamento entre produtividade, sua sustentabilidade, e características do ambiente físico, com ênfase no solo, principalmente para plantios florestais sob manejo intensivo, como no Brasil. Neste contexto objetivou-se avaliar a produtividade de plantações de eucalipto na região centro leste de Minas Gerais relacionando-a com características do sítio e integradas mediante o conceito de classe e por um modelo de qualidade de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A produtividade de uma espécie é função de solo, clima, material genético, relevo e manejo. A esses fatores, Gerding & Schlatter (1995) adicionam a estrutura da comunidade vegetal e o tempo.

Por mais conhecida que seja essa função, as dificuldades em estabelecer quantitativamente a influência de vários desses fatores tornam difícil equacionar e ou modelar a produtividade vegetal. De modo geral, os estudos são feitos variando um só fator e mantendo os demais fixos, no intuito de se estabelecer amplitudes para aquele fator e mensurar seus efeitos, que são não apenas aditivos, mas também interativos. Além disso, no ambiente natural, na maioria das situações, os fatores clima e relevo são definidores de produtividade, pois são difíceis de serem modificados, ou seja, na prática, são não manejáveis e com eles há uma relação de convivência. Por isso é importante conhecer as amplitudes de variação destes fatores, e mensurar seus efeitos, para se ter o prognóstico de produtividade de determinado local, ou sítio, já que tanto o solo como os materiais genéticos são mais facilmente modificáveis, ou manejáveis.

O sítio é definido pelos ecologistas como uma unidade geográfica uniforme caracterizada por uma combinação estável das características do meio; já na visão dos silvicultores, é um fator de produção primário uniforme com capacidade para produzir madeira ou outros produtos florestais (Schonau, 1987).

Para melhor compreensão de como os fatores do meio influenciam na produtividade de plantações florestais, faz-se necessário, inicialmente, esclarecer como os termos sítio (ou local) e capacidade produtiva (ou qualidade de sítio) serão abordados neste trabalho.

Para identificação do sítio, Grey (1985) listou os seguintes requisitos: 1) o sítio é uma subdivisão arbitrária da paisagem, onde há, independentemente da escala, mudanças no solo, clima e vegetação entre áreas adjacentes; 2) o reconhecimento de sítios deve estar baseado em princípios ecológicos, que considerem os múltiplos usos possíveis, 3) a área mínima de um sítio deve corresponder à menor unidade de manejo possível, e 4) a pedoforma representa um importante critério de identificação de sítios, por estar fortemente associada com microclima, solo, vegetação, regime hídrico e geologia. Esse autor ressalta que a inclusão do requisito pedoforma se deve ao fato de que características fisiográficas e de solos devem ser utilizadas como indicadores da capacidade produtiva ou qualidade do sítio, uma vez que podem sintetizar as interações entre os fatores de produção.

Reunindo esses requisitos pode-se definir que o sítio ou local se caracteriza pela soma de todos os fatores que afetam a capacidade produtiva do povoamento florestal. Dentre esses fatores, destacam-se as características físicas, químicas e mineralógicas do solo, características climáticas e fisiográficas, bem como fatores bióticos (Barnes et al, 1998).

Observa-se que para a definição de sítio é necessário utilizar o termo capacidade produtiva que resulta da ação e interação dos fatores do sítio, influenciada por práticas silviculturais (Barros, 1974).

Para avaliar a capacidade produtiva ou a qualidade do sítio florestal podem-se utilizar a mensuração do efeito específico dos fatores ambientais no local sobre a vegetação (métodos diretos) e a análise dos fatores do ambiente e a avaliação do resultado de sua ação combinada (métodos indiretos). O primeiro permite avaliar a qualidade presente no sítio com relação às espécies existentes; o segundo permite avaliar a qualidade do sítio de forma independente da espécie.

2.1. Métodos diretos para determinação da qualidade do sítio florestal

O método direto mais utilizado historicamente para determinação da qualidade de sítios florestais é o índice de sítio ou “site-index” (Landsberg, 1997). Seu uso é específico para florestas equiâneas e de composição pura, pois o índice de sítio varia com a espécie que compõe um dado povoamento.

Em termos práticos, a classificação e comparação das qualidades dos diferentes sítios mediante o emprego do índice de sítio se estabelece pelo relacionamento da altura com a idade das árvores. Em princípio, acredita-se que a altura das árvores pode ser usada como índice de qualidade de sítio, por não ser afetada pela densidade e histórico silvicultural (Clutter et al, 1983). Embora a altura seja uma medida simples e bem relacionada à produtividade do sítio para determinadas espécies, esses autores afirmam não existir completa independência de outros fatores, citando a influência originada nas densidades “extremas” dos povoamentos. Pelo termo “site index” como foi definido nos EUA, entende-se a “altura média das árvores dominantes e codominantes de uma floresta numa determinada idade prefixada (idade-índice ou base-age)” (Carmean, 1970; Clutter et al, 1983) que pode variar, naquelas condições, entre 35 anos, no Sul, a 100 anos, na costa oeste (Spurr & Barnes, 1980). A idade índice é escolhida arbitrariamente, mas em geral, deve ser próxima da idade técnica de colheita (Campos e Leite, 2002); por isso no Brasil, para eucalipto tem-se usado a idade-índice de sete anos.

A classificação das árvores em dominantes e codominantes se refere à posição relativa de suas copas. As dominantes são aquelas que estendem suas copas acima do nível geral do dossel do povoamento, recebendo luz direta na sua parte superior e parcial nas laterais. As codominantes são as que recebem luz direta na parte superior e pouca luz lateralmente (Smith, 1962).

Em povoamentos clonais, a percepção das árvores dominantes e codominantes, como proposto por Smith (1962), não é tão fácil em relação aos povoamentos propagados por sementes, já que nestes a variabilidade entre árvores é muito maior. Por isso, talvez seja mais apropriado utilizar o extrato superior das árvores, calculado por meio da média das alturas acrescida de certa magnitude em termos de desvio padrão, por exemplo, média mais um desvio padrão.

Outro método para avaliar a qualidade de sítio é por meio do histórico da produção e também por dados de volume do “stand” (produtividade), as denominadas tabelas de produção (Clutter et al, 1983), que segundo Landsberg (1997) fornecem a mesma informação do índice de sítio, já que se originam de medições de árvores de um determinado sítio e, ao mesmo tempo é por meio de tabelas de produção que são calculados os índices de sítio.

Apesar disto, para a Ciência Florestal, o método de índice de sítio tem-se mostrado eficiente, pois considera a altura das árvores do extrato superior como a expressão integrada de todas as variáveis biológicas e ambientais que afetaram o crescimento até o momento da medição e por ser, segundo Alder (1980) citado por Leite (1994), um bom indicador de produtividade uma vez que não é influenciado pela densidade do povoamento.

Barros et al. (1986), por outro lado, comentam que o método do índice de sítio foi desenvolvido e aplicado inicialmente em regiões onde os sítios apresentavam, relativamente, maior potencial do ponto de vista químico (fertilidade do solo) para a manutenção da produtividade, e onde o manejo florestal não era tão intensivo como no Brasil. Assim é de se supor que para locais onde as produtividades são afetadas a cada corte, como nas regiões tropicais, a capacidade preditiva deste método parece ser bastante baixa. Nesta colocação está implícita a idéia de sustentabilidade da produção, que, segundo Barros e Comerford (2002), é “a manutenção da produtividade florestal, podendo haver acréscimo, ao longo de rotações ou de colheita sucessivas”.

2.2. Métodos indiretos para determinação da qualidade do sítio florestal

Dentre os métodos indiretos de maior uso, encontra-se o método “solo-local” e o levantamento de solos.

O método “solo-local” caracteriza-se pela utilização de variáveis de crescimento de árvores e de características físicas e químicas de um determinado solo, de modo a estabelecer uma relação matemática entre o crescimento ou produção e essas características (Hannah, 1968; Carmo et al, 1990; Gonçalves, 1990). Para aplicação deste método, fica subentendida a existência de variações consideráveis de crescimento dentro da área que se

deseja dividir em unidades, mas raramente, dentro de uma determinada região, observa-se resposta de crescimento de uma espécie numa ampla faixa de variação de uma característica de solo (Fabres et al, 1987).

Leite (1994) destaca que a classificação da capacidade produtiva com base em propriedades do solo pode não ser eficiente, já que é praticamente impossível quantificar o efeito de fatores isolados e cita, para exemplificar, o modelo de Billings (1952): $S = \beta_0 + \beta_1 (P) + \beta_2 (Ca) + \varepsilon$. O modelo mostra o efeito direto do fósforo (P) e do cálcio (Ca) sobre o crescimento das árvores (S= índice de local), porém, segundo Leite (1994), sabe-se que a absorção destes elementos pela planta depende de outros fatores, tais como precipitação e microclima, de suas interações e de características do próprio tipo de solo, de modo ser difícil definir se a produção é resposta direta dos nutrientes ou se ela resulta da interação com outros fatores do sítio.

Outro fato que mostra a baixa capacidade preditiva do método solo-local é a presença de relações negativas, por exemplo, entre o teor de nutrientes no solo e a produtividade. Por exemplo, Fabres et al (1987) relacionando a biomassa de tronco de eucalipto com o teor de cálcio e de potássio no solo encontraram o seguinte modelo: $\hat{Y} = 23,6 + 159 Ca - 0,9 K$ ($R^2 = 0,99$). O relacionamento negativo entre K e a produção pode sugerir, por exemplo, afirmativas equivocadas tais como: diminuição da produção por aumento dos teores de potássio disponível no solo! No entanto, esse fato se deve aos baixos teores de K disponível no solo, na época de corte, em razão do K estar imobilizado na biomassa da árvore, e também porque em solos muito intemperizados, predominantes em ambiente tropical, as reservas do solo não são suficientes para a manutenção dos teores trocáveis (Barros e Novais, 1996). Por isso entende-se a proposta de Santos (2004b) no sentido de se realizar o monitoramento da fertilidade do solo antes do plantio. Alternativamente, pode-se fazer uso do método do coeficiente de utilização biológico (Barros et al., 1986), que considera também a quantidade de nutrientes na biomassa das árvores e, segundo esses autores, é assim uma associação de métodos diretos e indiretos de avaliação da qualidade do sítio.

O levantamento de solos ou levantamento pedológico é definido como uma pesquisa de campo e laboratório, cuja síntese é o registro de observações, análises e interpretações de aspectos do meio físico e de

características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas dos solos, visando a caracterização e a classificação destes (EMBRAPA, 1995). Essa pesquisa para Carmo et al (1990) traduz-se em uma extraordinária ferramenta para fins de zoneamento ecológico, já que tanto a classificação taxonômica de solos quanto a indicação de seus limites físicos, por meio de mapas pedológicos, se apóiam em critérios que sintetizam as principais características ambientais, variáveis de elevado poder de síntese e capacidade preditiva.

Em áreas onde se processa a atividade florestal, contudo, além da inexistência de mapas, ou a sua existência apenas em caráter exploratório, os levantamentos de solo apresentam baixa capacidade preditiva, especialmente em áreas homogêneas (Carmo et al, 1990). Isto sugere o questionamento: as áreas são realmente homogêneas em classe de solo, ou o tipo de levantamento utilizado, por ser exploratório, não permite a identificação e o mapeamento das diferentes classes?

2.2.1. Tipos e aplicação dos levantamentos de solo

Os levantamentos de solo são classificados pelo nível de detalhe ou tamanho da escala em: exploratório, reconhecimento, semidetalhado, detalhado e ultradetalhado. As relações entre as escalas, as áreas mínimas mapeáveis e as densidade de observações variam conforme os diversos tipos, de modo que nível de detalhamento aumenta do primeiro, exploratório, que tem área mínima mapeável de 22,5 a 250 km² e escala de publicação 1:750.000 a 1:2.500.000, ao último, ultradetalhado, que tem área mínima mapeável menor que 0,4 ha e escala de publicação maior que 1:10.000 (EMBRAPA, 1995).

A escolha do tipo de levantamento depende da utilidade que será dada a ele. O tipo exploratório visa exclusivamente a obtenção de informação generalizada do recurso solo, enquanto que o tipo ultradetalhado é conduzido onde são necessárias decisões em termos de pequenas áreas para planejamento de sistemas sofisticados de agricultura, áreas urbanas e industriais e em projetos especiais de irrigação (Resende et al, 1995).

No Brasil, o mais comum, no entanto é o tipo reconhecimento, que de há muito vem sendo feito em todo território nacional, visto os grandes projetos:

RADAMBRASIL, iniciado na década de 70 e os levantamentos de solos feitos pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (SNLCS), atualmente Embrapa-Solos. Contudo, as empresas florestais buscando subsidiar melhores práticas de manejo, que levem ao aumento de produtividade, vêm realizando levantamentos pedológicos com escalas cada vez maiores ou maior nível de detalhe; a exemplo citam-se o levantamento de reconhecimento de média intensidade do Jarí (Solos do Jarí, 1989), os levantamentos semi-detalhados da Aracruz Celulose S. A. (1971; 1998) e da CENIBRA S.A. (2004). Levantamentos de solo em maior nível de detalhe, bem planejados, podem subsidiar a confecção de mapas de sítios florestais que possam orientar decisões relativas ao manejo do sítio (Grey, 1985).

O aumento do nível de detalhe de levantamentos pedológicos significa unidades de mapeamento cada vez mais homogêneas de modo a ter em cada área demarcada no mapa uma única unidade taxonômica, estabelecida por meio de um sistema de classificação (EMBRAPA, 1995).

A grande vantagem disto é o poder de síntese que a classe de solo representa em termos de diversas características do solo (Wilnding et al., 1983; Carmo et al., 1990; Buol et al., 1997). Além disso, a individualização de unidades de mapeamento permite a classificação dos solos nos níveis categóricos mais baixos, por exemplo, a classificação em “séries de solos”, que tem por base características diretamente relacionadas com o crescimento de plantas, principalmente no que concerne ao desenvolvimento do sistema radicular e relações solo-água-plantas (USA, 1994; FAO, 1994; EMBRAPA, 1999). Não obstante, questiona-se a utilidade das unidades de mapeamento, para a definição de unidades de manejo, já que séries de solos diferentes podem comportar-se tanto de forma distinta como semelhantes em relação ao manejo (Bouma, 1997). Maior utilidade do levantamento de solos para fins florestais visando subsidiar a classificação de sítios quanto ao manejo pode ser obtida pela utilização de observações da configuração da paisagem no campo (Carmean, 1967; Grey, 1983).

Nos EUA, visando aumentar a capacidade preditiva da produtividade, de há muito se recomenda aplicar correção por um fator topográfico nos levantamentos detalhados em nível de série (Richards & Stone, 1964; Carmean, 1967). McNab (1993) propôs um método para a obtenção desse tipo

de fator, e salienta que outros autores (Pyatt et al., 1969 e Wilson, 1984), por ele citados, também propuseram fatores semelhantes para solos sob florestas.

Reschutzegeger (2003) relata que a discriminação das unidades de mapeamento deve permitir, idealmente, a obtenção de correlação com a produtividade florestal do local. Esse autor acrescenta que a falta dessa capacidade de predição e extrapolação é consequência da carência de informações sobre as exigências das árvores por parte dos pedólogos, ou por se ter enfatizado o estudo dessas exigências para as culturas produtoras de alimentos.

2.3. Características de sítios e produtividade florestal

Ainda que seja mais comum relacionar capacidade produtiva principalmente às características climáticas, atribuindo-se pequena importância às características edáficas do local, em áreas menores aspectos como vegetação, pedoforma e solo tornam-se mais importantes (Spurr & Barnes, 1980; Schönau, 1987; Schönau & Aldworth, 1991).

Coile (1952) enumerou 10 características relevantes do meio para a produtividade florestal:

- I. Profundidade da camada permeável do solo até o aparecimento de mosqueados, que refletem a profundidade efetiva de exploração radicular;
- II. Profundidade total do solo, para o caso de perfis pouco diferenciados;
- III. Natureza física do subsolo, com ênfase particular ao estudo da permeabilidade, disponibilidade hídrica e impedimentos mecânicos à penetração radicular e, como fatores determinantes destes, destacou a textura, distribuição do espaço poroso, capacidade de armazenagem de água e mudanças no volume em função da umidade (devido aos processos de expansão-contração);
- IV. Natureza física do horizonte superficial, principalmente distribuição do espaço poroso e textura, que afetam a infiltração e armazenagem de água;

- V. Teor de matéria orgânica, por atuar sobre o regime hídrico, estrutura e porosidade;
- VI. Características químicas, como teor e disponibilidade de nutrientes;
- VII. Clima e comprimento do dia, em especial precipitações e número de dias livres de geadas (expressos indiretamente pela latitude e longitude) são relacionáveis ao crescimento de forma independente das condições do solo;
- VIII. Azimute, por condicionar variação na umidade e temperatura do solo;
- IX. Topografia, de caráter indireto, por ser determinante da profundidade do lençol freático, e
- X. Geologia, principalmente quando afeta a penetrabilidade do sistema radicular.

Destas, sete estão mais diretamente relacionadas a solo. Tendo em vista áreas menores, onde a variação climática é mínima, o fator solo pode se apresentar como o indicador da capacidade produtiva de um local, já que ele é um estratificador natural do ambiente (Resende e Rezende, 1983; Carmo et al 1990).

Além disso, a consideração da fisiografia pode melhorar a explicação da capacidade produtiva. A propósito, Resende et al (2002b) explicam a influência da face de exposição norte e sul no crescimento de plantas, demonstrando que ela se dá diretamente pela disponibilidade de energia (radiação solar) ou pelo efeito em outros fatores, como disponibilidade de água e nutrientes. No vale do Belo Oriente, Braga (1996) verificou que a produtividade do eucalipto este mais associada à face de exposição NE, à baixa declividade do terreno e à pedoforma côncavas e posições médias e inferiores das encostas.

Em síntese, a ação e interação dos fatores que se relacionam com a aquisição de água e nutrientes pelas plantas é capaz de explicar a capacidade produtiva de um local.

O eucalipto, por exemplo, tem apresentado reduções significativas na produtividade quando submetido à condições de estresse hídrico. Almeida & Soares (1997) estimaram que para cada 100 mm de incremento no déficit hídrico a produtividade do eucalipto na região costeira do Espírito Santo foi

reduzida em $4,85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O efeito do estresse hídrico sobre a produtividade do eucalipto também pode ser inferido dos resultados de Leite et al (1997) no qual se constatou que a taxa de incremento do crescimento em diâmetro de *E. grandis* foi reduzida em 35,9 % com o decréscimo da água disponível no solo.

O regime hídrico, as trocas gasosas e os processos de transferência de nutrientes até as raízes também são condicionados pela textura e estrutura do solo (Bennie,1991; Marschner, 1995; Gonçalves, 2002), as quais assim também influenciam o crescimento radicular. A presença da rocha matriz à pequena profundidade, ou de cascalhos, ou de horizontes adensados ou camada endurecidas (fragipan e duripan) são outros obstáculos que interferem na arquitetura e no desenvolvimento radicular (Feldman, 1984; Bennie,1991; Alvarenga et al., 1996), sendo, portanto definidores da profundidade efetiva do solo. Neste sentido, Amaral (1999) concluiu que as menores profundidades de solum (horizonte A + B) constituem, de certa forma, limitação ao crescimento do eucalipto.

Por isso é que profundidade efetiva e textura são as características físicas mais mencionadas na determinação da produtividade do sítio. A espessura da camada superficial e total do solo é geralmente correlacionada com o índice de sítio (Doolittle,1957; Zahner, 1958; Hannah, 1968)

A influência da textura na produtividade tem sido relatada mais como um fator determinante da disponibilidade de água para as plantas (Doolittle,1957; Zahner, 1958; Gonçalves et al, 1990; Grespan, 1997). Assim, o aumento do teor de argila mais silte, até determinados valores nos horizontes superficiais e subsuperficiais, geralmente está associado ao aumento no crescimento (Doolittle,1957; Zahner, 1958; Gonçalves et al, 1990). No entanto, correlações inversas também são apresentadas (Grespan, 1997; Reschutzegger, 2003). Grespan (1997), estudando a influência de características do solo sobre produtividade de eucalipto em solos de tabuleiro, verificou que o aumento de areia em subsuperfície tem efeito benéfico sobre o crescimento do eucalipto, porque os solos de tabuleiro são coesos e de mineralogia predominantemente caulinítica. A areia, neste caso, atua sobre o arranjo da estrutura laminar da caulinita, modificando o aspecto maciço da estrutura, o que influencia o espaço poroso, facilitando o crescimento

radicular e assim a aquisição de água e nutrientes pelas plantas. Reschutzegeger (2003) constatou em solos do Uruguai correlação negativa entre a produtividade de eucalipto e o teor de argila na camada de 20 a 40 cm e considerou que esta característica possa estar representando uma medida indireta de outras propriedades que afetam o crescimento.

Magalhães e Blum (2000) caracterizaram o tipo de arquitetura radicular das espécies *Cedrelinga cateneiformis* (Cedrorana), *Carapa guianensis* (Andiroba) e *Eucaliptus Deglupta*, em solos de textura média (26% argila) e argiloso (41% de argila) e verificaram que as três espécies apresentaram arquiteturas semelhantes, com pivotantes bifurcadas, refletindo, segundo esses autores, restrições relacionadas ao suprimento de água, aos baixos teores de cátions básicos e ao baixo pH. Isto se deve ao fato de que sob condições de estresse no meio, como déficit hídrico e deficiência nutricional, há maior partição de carbono para as raízes (Reis et al., 1985; Gower, 1987; Sands e Mulligan, 1990; Oren e Sheriff, 1995; Landsberg e Waring, 1997; Lima et al., 1997), até mesmo para as raízes finas (Gonçalves, 1994), e alteração do comprimento das raízes produzidas, que ficam mais longas (Gonçalves & Mello, 2000), refletindo em aumento da superfície de aquisição de água e nutrientes (Neves, 2000). Já em solos mal drenados o desenvolvimento radicular da maioria das espécies (Drew e Stolzy, 1991), inclusive as arbóreas (Andrade, 1997), é prejudicado devido à falta de oxigenação.

Pelo fato de ser a fertilidade do solo “a capacidade dele em ceder nutrientes às plantas”, e em síntese esta capacidade não depender somente da presença do nutriente disponível no solo, mas também da capacidade tampão, definida pela quantidade e qualidade de argila, o teor de nutrientes individualmente, é menos mencionado como fator limitante ao crescimento florestal de que outras propriedades (as definidoras do sistema solo), pois a aquisição do nutriente depende de, ou se relaciona com, outras características do solo (Ralston, 1964). De todo modo, essa abordagem da fertilidade do solo parece atribuir um papel “passivo” à planta. Porém, mais recentemente além dos fatores de solo tem sido ressaltado que a aquisição dos nutrientes pelas plantas deve-se também a modificações químicas que ocorrem na rizosfera, ocasionadas pela liberação de exudatos radiculares (Marschner, 1995; Hinsinger, 1998; Tinker e Nye, 2000).

Dessa forma, o estudo de características ou propriedades do solo mais associadas à aquisição de água e nutrientes pelas plantas é a abordagem mais apropriada quando se deseja entender tais processos. A propósito, é comum a avaliação da quantidade de água disponível no solo, uma vez que ela integra e sintetiza características de solo e de clima e permite inferir sobre o metabolismo da planta, já que a ausência de água no solo pode promover o fechamento estomático, inibindo a assimilação de CO_2 pelo processo fotossintético e, assim, diminuir a produção da planta.

Uma das maneiras de estimar o estresse hídrico a que as plantas podem ser submetidas é por meio do balanço hídrico, metodologia muito utilizada para se avaliar o armazenamento de água no solo e quantificar déficits e excessos hídricos ao longo do tempo. O balanço hídrico, portanto, é um sistema contábil de monitoramento da água do solo e resulta da aplicação do princípio de conservação da massa em um volume de solo vegetado. A variação do armazenamento representa o balanço entre as entradas e as saídas de água do volume de solo de controle, em um dado intervalo de tempo (Pereira et al., 1997).

Os resultados do balanço hídrico podem ser utilizados no zoneamento agroclimático, na determinação da demanda hídrica potencial das culturas irrigadas, no planejamento da pesquisa e para identificar o regime hídrico de uma região (Aguilar et al., 1986).

Reichardt (1987) faz uma distinção entre balanço hídrico real e climatológico: o primeiro contabiliza as adições e retiradas de água em uma área de produção agrícola, fornecendo subsídios para definir quando e quanto irrigar. O balanço hídrico climatológico, descrito por Thornthwaite & Mather (1955), estima com base em dados climáticos de vários anos, o que vai ocorrer e possibilita a caracterização hídrica de uma região. Nos modelos de balanço hídrico, a lâmina de água no solo é obtida pela diferença entre precipitação e evapotranspiração, sendo o solo tratado como uma única camada. Entretanto, utilizando modelo de balanço hídrico multicamada, verificou-se que a contribuição das camadas de solo para água transpirada pelo dossel variou com a distribuição de raízes absorventes e com a disponibilidade de água ao longo do perfil de solo (Neves, 2000; Sacramento Neto, 2001). O tratamento multicamada, portanto, relaciona-se melhor à aquisição de água e de nutrientes

pelas plantas. Níveis adequados dos fluxos de água e de nutrientes e sua manutenção são tidas como os mais importantes para a produtividade e sustentabilidade de plantações florestais, notadamente, em condições tropicais (Nambiar, 1996; Barros e Comerford, 2002).

2.4. Índice de qualidade de solo: uma ferramenta de integração

Para a avaliação da capacidade de produção ser mantida ao longo do tempo (sustentabilidade) é necessário o monitoramento contínuo dos fatores envolvidos na produção, enfocando sua dinâmica e suas relações com a produção (Barros & Comerford, 2002). Não se deve basear apenas nas produtividades, pois, segundo Burger & Kelting (1999), as dificuldades e ou contradições conceituais e experimentais na prognose da produtividade a longo prazo, levam a que o funcionamento do ecossistema e sua estabilidade deva ser monitorado por meios alternativos, utilizando-se indicadores.

Os indicadores são classificados no tempo, em *dinâmicos* - aqueles que estiverem causando maior limitação no crescimento da floresta em determinado momento; e no espaço, em *locais* - aqueles específicos para determinado local. Também há uma classificação baseada em características químicas e físicas do solo, como teor de nutrientes e densidade do solo, bem como aqueles relacionados mais especificamente com a matéria orgânica do solo e com a fauna e flora (os bioindicadores) (Turco e Blume, 1998; Amézquita et al., 1999; Mielniczuck, 1999; Stenberg, 1999).

Assim, a sustentabilidade florestal nos trópicos pode ser avaliada enfocando os recursos do solo (água e nutrientes) visto ser este componente o que mais influencia a sustentabilidade de um ecossistema (Nambiar, 1996), porque, nessas regiões, os demais recursos determinantes da produtividade florestal, radiação solar e CO₂, não são limitantes (Barros e Comerford, 2002). Por isso há um forte relacionamento entre a qualidade de solo e sustentabilidade florestal (Schoenholtz et al, 2000), ficando assim evidente, portanto, a ligação entre qualidade de solo, produtividade e sua manutenção no tempo.

Características de solo que reflitam os fluxos de água e nutrientes podem ser usadas em modelos de qualidade do solo, como indicadores de sustentabilidade florestal, após melhor definidas e calibradas.

O monitoramento da qualidade do solo pode levar a que sejam sugeridas modificações nos sistemas de manejo a tempo de evitar sua degradação (Mielniczuck, 1999), sendo necessário definir atributos de solo e do ambiente sensíveis ao manejo e de fácil determinação. Neste sentido, diversos autores (Turco e Blume, 1998; Amézquita et al., 1999; Mielniczuck, 1999; Stenberg, 1999; Chaer, 2001; Tótola e Chaer, 2002; Santos, 2004a) têm utilizado atributos químicos, físicos e biológicos dos solos como indicadores das condições do mesmo.

Algumas propriedades físicas e químicas do solo têm sido utilizadas como indicadores de qualidade, devido à facilidade com que são acessadas, uma vez que há grande disponibilidade desses dados. Por outro lado, os atributos biológicos são utilizados, ainda, com pouca frequência, provavelmente devido à falta de metodologias-padrão, à dificuldade de predição e de quantificação do comportamento biológico e de obtenção de repetibilidade nas determinações (Stenberg, 1999), sendo necessário que sejam confeccionados bancos de dados sobre tais indicadores (Tótola e Chaer, 2002).

Turco e Blume (1998), citando Halloway e Stork (1991), sugerem que os indicadores devem: fornecer respostas imediatas e acuradas a respeito da perturbação, refletir alguns aspectos da funcionalidade do ecossistema, ser fácil e economicamente acessíveis, e ser de distribuição universal, ou seja, não possuir característica reducionista ou de aplicabilidade pontual para um determinado local. Além disso, segundo Stenberg (1999), os indicadores devem: integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos e representar propriedades ou funções do solo de mais difícil mensuração, sendo que a utilização conjunta de vários indicadores pode ser necessária para garantir boas interpretações; possuir relevância ecológica, sendo que a variação natural dos indicadores deve ser bem entendida; ser sensíveis a variações de longo prazo, no que diz respeito ao manejo e ao clima, mas também resistentes às flutuações de curto prazo devido a mudanças nas condições atmosféricas ou fases de desenvolvimento das culturas.

Conciliar alguns desses requisitos num único indicador parece ser difícil. Certamente assim se explica a utilização conjunta de vários indicadores, com sensibilidades e características preditivas distintas e capazes de refletirem diferentes processos que ocorrem nos ecossistemas. Portanto, nas avaliações da qualidade do solo devem ser consideradas as múltiplas funções do solo e suas variações no espaço e no tempo (Larson & Pierce, 1994). Tendo em vista os aspectos funcionais em florestas plantadas Burger & Kelting (1998) listaram alguns atributos e indicadores da qualidade do solo (Quadro 1)

Quadro 1 – Atributos e indicadores da qualidade do solo de acordo algumas funções do solo de florestas plantadas

Função	Atributo		Indicador
Produção florestal	Promover	o crescimento de raízes	Resistência do solo; faixa mínima de água; índice de cultivo
	Receber, reter e suprir	água	Infiltração, capacidade de retenção d'água, condutividade hidráulica não saturada, profundidade do lençol freático
	Reter, suprir e ciclar	nutrientes	Suprimento de N, teor de matéria orgânica, CTC, CTA, nutrientes lábeis, pH
	Promover	troca gasosa	Porosidade, condições água e de ar
Regular balanço de C	Promover	atividade biológica	Matéria orgânica biologicamente ativa, temperatura e umidade do solo e pH
	o Receber, reter e liberar C	e	Queda de litter, renovação de raízes, respiração do solo, matéria orgânica do solo
Regular ciclo hidrológico	o Receber, reter e suprir	água	Infiltração, capacidade de retenção d'água, evaporação

Burger & Kelting (1998)

A concepção da função do solo para uma determinada atividade permite o entendimento do funcionamento do sistema. Essa concepção norteia a proposta de composição de um índice integrado de qualidade do solo, onde a cada atributo é associado um peso, ou pontuação (Karlen & Stott, 1994; Glover et al, 2000).

Desse modo, os modelos de qualidade do solo propostos são conceitualmente similares, na maioria, modelos aditivos (Tótola & Chaer, 2002); diferindo, contudo, pelas características ou propriedades utilizadas e pelo peso a elas atribuídas, etapas importantes para definição do índice que melhor represente a realidade (Glover et al., 2000). Esses autores explicam que os pesos associados às funções do solo podem ser modificados para refletir prioridades e necessidade especiais dos pesquisadores ou produtores, de modo a tornar a tabela de pontuação uma ferramenta útil para a interpretação da qualidade do solo a partir de múltiplas perspectivas.

Karlen & Stott (1994) propuseram o modelo aditivo de índice de qualidade avaliado por meio de pontuações normalizadas, criadas por meio de sistemas de aproximação desenvolvidos por Wymore (1993), onde:

$$IQS = q_{WE} (wt) + q_{WMA}(wt) + q_{RD} (wt) + q_{FQP} (wt)$$

Nesse modelo, as pontuações são atribuídas para a habilidade do solo de permitir a entrada de água (q_{WE}), de facilitar a transferência e a absorção de água (q_{WMA}), de resistir à degradação (q_{RD}) e de sustentar o crescimento de plantas (q_{FQP}), sendo o wt o peso relativo aplicado a cada atributo. Os pesos numéricos do atributo são definidos de acordo com a interpretação empírica da importância desses atributos em preencher todos os requisitos que mantêm a qualidade do solo sob uma condição específica de uso, de modo que os pesos definidos para todas as funções de um solo admitido como ideal, somariam 1.

Como as variáveis que compõe o modelo possuem diferentes escalas e magnitudes, há necessidade delas serem padronizadas. Para obtenção dos valores padronizados, entre 0 e 1, faz-se o produto entre os pesos e a pontuação padronizada, esta sendo definida mais comumente por meio da equação proposta por Wymore (1993).

As equações das curvas de pontuação podem gerar três tipos de funções de pontuação padronizadas (Figura 1), as quais são usadas para avaliar a qualidade do solo: (a) “mais é melhor”, (b) “menos é melhor” e (c) “ótimo”.

Glover et al (2000) utilizaram esse modelo e explicaram que a forma dessas curvas é determinada pelos valores críticos, que incluem os valores-

limites e os da linha-base. Esses valores críticos são baseados na literatura, na experimentação, na opinião de especialistas ou podem ser observados sob condições ideais em locais preservados ou em culturas específicas (Karlen et al, 1994; Burger & Kelting, 1999).

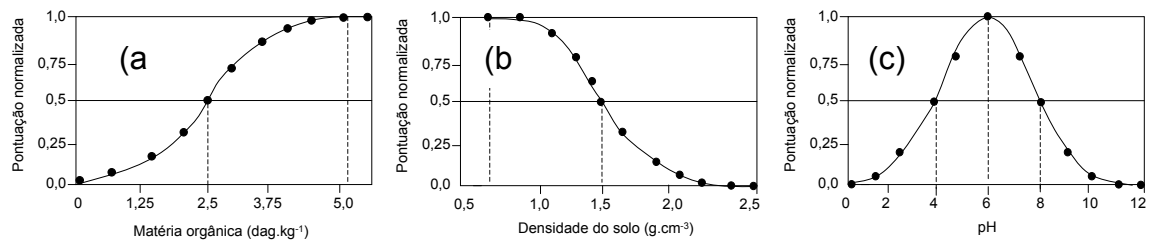


Figura 1 – Tipos de funções de pontuação normalizadas geradas em função do indicador de qualidade do solo; (a) “mais é melhor”, (b) “menos é melhor” e (c) “ótimo”.

Aplicações do modelo de qualidade de solo proposto por Karlen & Stott (1994) no Brasil foram feitas por Chaer (2001) e Santos (2004a). No trabalho de Chaer (2001), realizado no estado de São Paulo, o modelo foi utilizado para avaliar o efeito de diferentes métodos de limpeza da área e preparo do solo, adotados durante a reforma de um povoamento de eucalipto, utilizando indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Já no trabalho de Santos (2004a), foram avaliados os efeitos de diferentes manejos aplicados à cultura do eucalipto, e de diferentes usos da terra na região do Vale do Belo Oriente – MG.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização geral da área

O estudo abrangeu as regiões de Belo Oriente (Rio Doce) e Virginópolis, na região Centro-Leste de Minas Gerais, em áreas da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S.A.) localizadas no quadrante entre os paralelos 18° a 20° de latitude Sul e entre os meridianos 42° a 44° a oeste de Greenwich (Figura 2).

Os seguintes tipos climáticos ocorrem nas áreas estudadas, segundo a classificação de Köppen:

Aw – Clima tropical, com inverno seco e estação chuvosa no verão. Esta classe ocorre na regional Belo Oriente, principalmente nas cotas inferiores a 400 metros;

Cwa – Clima de inverno seco e verão chuvoso. A temperatura do mês mais frio é inferior a 18 °C e a do mais quente ultrapassa 22 °C. É característico da região de Virginópolis.

De modo geral, a geologia da área pode ser resumida em embasamento cristalino, Granito-Gnáissico Indiviso, com a presença em

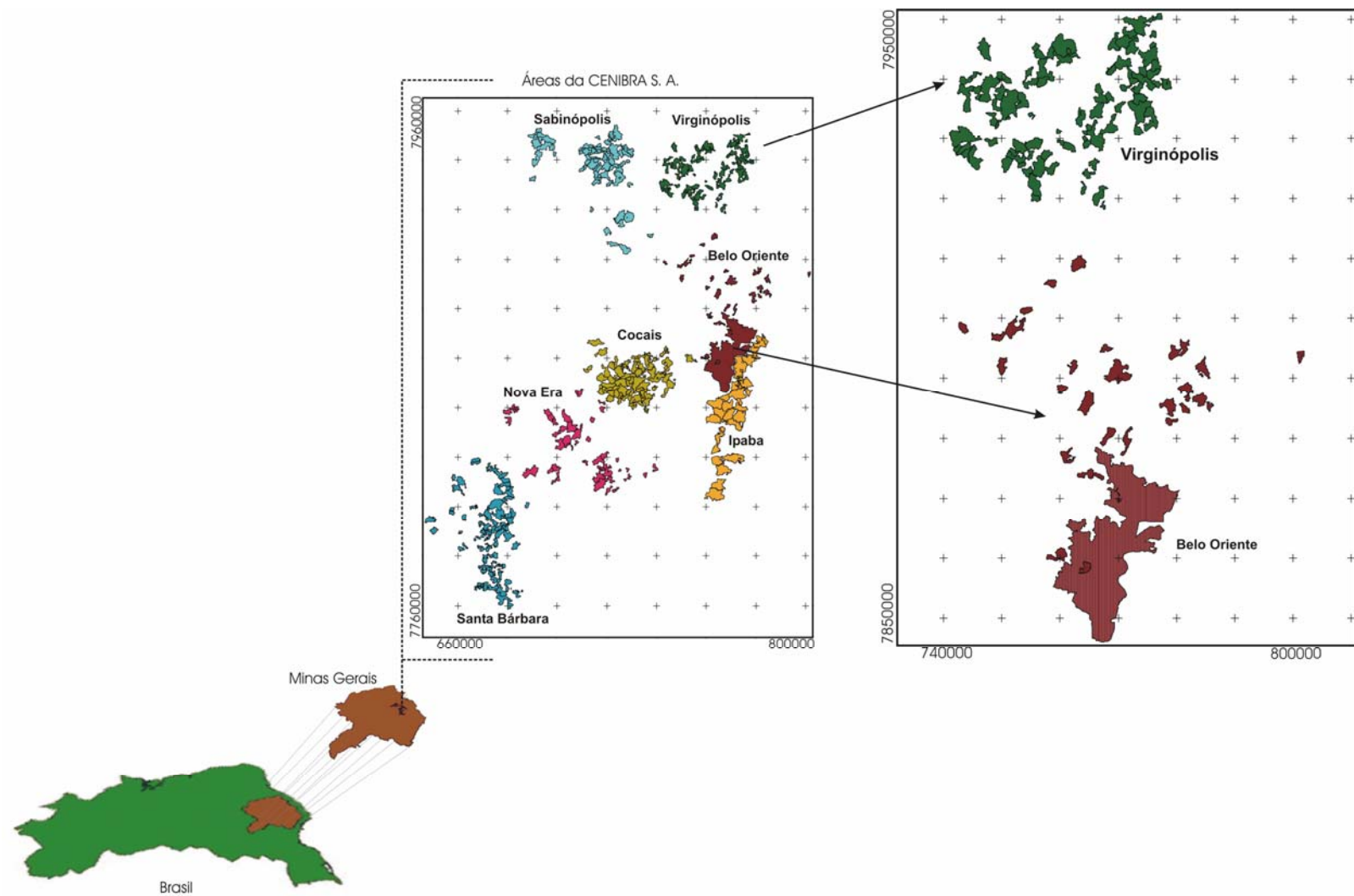


Figura 2 – Localização das áreas do estudo.

pequena escala de afloramentos rochosos com caráter básico, Gabro e Charonoquito (Almeida & Litwinski, 1984). Na região de Virginópolis verifica-se a ocorrência de batólitos de Granito e de Granodiorito (Dallwig, 1983). Na região do Belo Oriente ocorrem sedimentos recentes, do terciário e quaternário, originários de deposição fluvial ou coluvial, presentes nos terraços fluviais e aluviões (Oliveira & Leite, 2000)

O relevo dominante é forte ondulado, com interflúvios normalmente estreitos levemente aplanados e encostas com pendentes longas, de forma convexa ou convexo-concava, com declividade de até 45 graus.

A vegetação natural da área se caracteriza pela floresta estacional semidecidual, formada de tipos arbóreos de médio a grande porte, com distribuição espaçada e que se intercalam com tipos de menor tamanho. Grande parte dessa vegetação foi substituída por pastagem (Oliveira e Leite 2000). Grandes extensões de áreas de pastagens, degradadas, foram e vêm sendo utilizadas com a cultura do eucalipto, na maioria das áreas sob manejo intensivo.

3.2. Levantamento de solos

Utilizaram-se as informações dos 165 perfis de solo descritos no levantamento semidetalhado para as áreas da CENIBRA (CENIBRA, 2003) que abrange cerca de 30 mil hectares. Esses perfis, em conjunto, representam 46 unidades de mapeamento (Quadro 2).

Na descrição de cada perfil tem-se a descrição geral da área; a morfologia (cor, grau, tamanho e tipo de estrutura e consistência seca, úmida e molhada) de acordo com Lemos e Santos (1995); as análises físicas (granulometria, densidade do solo densidade de partículas e argila dispersa em água) e as análises químicas (pH em água e em KCl; cálcio e magnésio trocáveis; acidez trocável; acidez potencial; potássio trocável; fósforo disponível; carbono orgânico; Fe, Mn, Cu e Zn conforme metodologias constantes em EMBRAPA (1997); P_{remanescente} determinado de acordo (Alvarez V et al, 2000), para todos os horizontes. Para um dos horizontes subsuperficiais foram determinados os teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, P₂O₅, CaO, MgO, Zn e Cu obtidos por ataque sulfúrico.

Quadro 2 – Número de unidades de mapeamento e número de perfis de cada classe de solo para as regiões de Virginópolis e Belo Oriente

Classe de solo	Regiões		Total
	Belo Oriente	Virginópolis	
CX	8_34	3_21	11_55
FF		2_2	2_2
LA	6_31	4_11	10_42
LV	2_8	5_18	7_26
LVA	3_11	4_14	7_25
PA	2_2		2_2
RU	4_9	3_4	7_13
TOTAL	25_95	21_70	46_165

Nº de unidades de mapeamento_Nº de perfis por classe de solo

3.2.1. Tratamento dos dados do levantamento

Inicialmente, as características qualitativas da descrição da área (material de origem, relevo regional, relevo local e classe de drenagem) e morfologia do perfil (grau, tamanho e tipo de estrutura; consistência seca, úmida e molhada) foram convertidas em valores numéricos (Quadros 3 e 4). Com a cor (matiz, croma e valor), calculou-se o índice de avermelhamento, segundo Torrent et al. (1980).

A estimativa da mineralogia foi feita apenas para a classe dos Latossolos utilizando-se o programa ALOCA (Resende et al, 1987).

O intervalo de água disponível (AD), definida como a diferença entre água retida à -33kPa e a -1.500 kPa, foi estimado, para cada horizonte, por meio de equações ajustadas em função dos teores de silte+argila (Quadro 5) para cada classe de solo (Sans, comunicação pessoal). Pelo produto de AD média do perfil de solo (Σ_{AD} horizonte/número de horizontes) e profundidade de 100 cm de solo, obteve-se a disponibilidade total de água no solo (CAD).

A ordem Cambissolo foi fasada pela posição no relevo em Cambissolo fundo de vale (CX_fv), caracterizado relevo plano e Cambissolo típico (CX_típico), caracterizados pelas áreas de relevo ondulado e forte ondulado descritos em encostas.

Quadro 3 – Valores numéricos (n) atribuídos à algumas características descritivas da área

Material de origem		Relevo regional		Situação local		Classe de drenagem		Erosão	
Tipo	n	Tipo	n	Tipo	n	Tipo	n	Tipo	n
Gnaisse, granito gnaisse	1	Plano	1	Topo	1	Bem drenado	1	Ausente	0
Filitos, xistos	2	Suave ondulado	2	Terço superior	2	Moderadamente drenado	2	Laminar fraca	1
Granito gnaisse, migmatitos	3	Ondulado	3	Meia encosta	3	Imperfeitamente drenado	3	Laminar moderada	2
Sedimentos coluvio-aluviais ⁽¹⁾	4	Forte ondulado	4	Terço inferior	4	Mal drenado	4	Laminar forte	3
Sedimentos recentes ⁽²⁾	5	Montanhoso	5	Encosta suave	5	Muito mal drenado	5	Laminar muito forte	4
Siltitos	6			Final de encosta	6				
				Fundo de vale	7				
				Terraço	8				
				Várzea	9				

(1) Período Terciário; (2) Período Quaternário

Quadro 4 – Valores numéricos (n) atribuídos à estrutura e consistência dos perfis de solo

Estrutura						Consistência					
Forma	n	Tamanho	n	Grau	n	Seca	n	Úmida	n	Molhada	
										Plast..	Pegaj.
Granular	1	Muito Pequena	1	Forte	1	Solto	1	Solto	1	Não Plástico	Não Pegajoso
Blocos Sub-angulares	2	Pequena	2	Moderada	2	Macio	2	Muito Friável	2	Lig. Plástico	Lig. Pegajoso
Blocos Angulares	3	Média	3	Fraca	3	Lig. Duro	3	Friável	3	Plástico	Pegajoso
Prismática ou Colunar	4	Grande	4			Duro	4	Firme	4	Muito Plástico	Muito Pegajoso
Laminar	5	Muito Grande	5			Muito Duro	5	Muito Firme	5		
Sem Estrutura	6					Extre. duro	6	Extre. Firme	6		

Quadro 5 – Equações ajustadas para estimativa da água disponível (AD, em %) em função de silte+argila (SA, em %) em diferentes classes de solo

Classe de solo	Equação	R ²
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO	AD = -0,560 + 0,163 SA	0,98***
CAMBISSOLO	AD = -1,476 + 0,193 SA	0,98***
LATOSSOLO VERMELHO	AD = -0,388 + 0,134 SA	0,98***
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO	AD = 0,074 + 0,133 SA	0,97***

Fonte: Dr. Luiz Marcelo Aguiar Sans, EMBRAPA Milho e Sorgo (comunicação pessoal)

3.3. Estimativa da produtividade atingível

A estimativa da produtividade atingível foi feita, para cada região, pelo modelo 3PG - Physiological Principles in Predicting Growth (Landsberg & Waring, 1997). O 3PG é um modelo baseado em processos que utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais eqüiâneos, que contempla essencialmente, a quantidade de energia radiante que será absorvida pelo dossel, convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (Landsberg & Waring, 1997).

Cinco sub-modelos constituem o 3PG: produção de biomassa, alocação de biomassa, mortalidade de árvores, balanço de água no solo e caracterização dendométrica. Para a estimativa de produtividade é necessário informar os valores para as seguintes variáveis: climáticas (Temperatura máxima, Temperatura mínima, Temperatura média, precipitação, números de dias de chuva e radiação solar), de solo (nível de fertilidade, classe textural e CAD), e da cultura (biomassa inicial de folhas, raízes e lenho, além de várias características fisiológicas). Dessa forma, para o processamento do 3PG, além das características climáticas requeridas, foi utilizada a parametrização que vem sendo obtida para as condições da CENIBRA (Neves, comunicação pessoal). Como se desejou estimar a produtividade atingível (PA_t) limitada pelo clima, o modificador de fertilidade (FR) do modelo 3PG foi ajustado para o valor igual a 1, ou seja, uma condição de fertilidade plena.

Pela comparação desta produtividade com as produtividades médias (PMe) obtidas pelos inventários da empresa, foram calculados os valores relativos de delta de produtividade (ΔP), conforme a expressão: $\Delta P = ((PA_t - PMe) / PA_t * 100)$.

3.4. Método solo-local

As características físicas e químicas de rotina, os elementos obtidos pelo ataque sulfúrico, a mineralogia do solo, e o índice de avermelhamento, são variáveis contínuas e assim foram correlacionadas com a produtividade, por meio da correlação de Pearson. Para os valores numéricos atribuídos às características que descrevem a área e a morfologia do perfil (Quadros 3 e 4), por se constituírem em variáveis discretas, utilizou-se a correlação de Spearman.

A estimativa dos teores de nutrientes no solo na profundidade de 0 a 40 cm que existiriam antes do plantio ou na fase inicial de crescimento, foi baseada nos teores de nutrientes obtidos nas análises químicas do solo acrescidos dos teores estimados a partir dos conteúdos de nutrientes nas árvores ao final do ciclo, conforme fluxograma apresentado na Figura 3.

Inicialmente, as correlações foram feitas separadamente, considerando os valores referentes aos horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (B ou C); a seguir as correlações foram feitas considerando a média dos horizontes A e B.

As variáveis contínuas que melhor se correlacionaram com a produtividade foram utilizadas para criar modelos de regressão múltipla. Uma vez obtidos esses modelos foram verificados mediante o processamento do modo estratificado por classe de solo, sendo considerados as ordens: Cambissolos, Latossolos e Neossolos.

3.5. Avaliação integrada utilizando a classe de solo

Nas áreas estudadas, os dados de produtividade média foram obtidos das parcelas de inventário, e retratam a produtividade em nível de talhão ou projeto da Empresa. De modo geral, essas parcelas são alocadas sem considerar características da área, tais como classe de solo e aspectos

Quadro 6 – Características climáticas das regiões de Belo Oriente e Virginópolis

Mês	Precipitação ⁽¹⁾	Evapotranspiração	Balanço hídrico ⁽²⁾	Temperatura		
				Média ⁽¹⁾	Mínima ⁽¹⁾	Máxima ⁽¹⁾
	-----	mm -----	-----	-----	°C -----	-----
Belo Oriente						
Jan	196,0	185,4	10,6	27,4	21,8	33,9
Fev	116,9	159,8	-42,9	27,5	21,3	34,2
Mar	135,0	157,2	-22,2	27,5	21,8	34,2
Abr	52,3	83,5	-31,2	26,4	20,3	32,9
Mai	27,0	29,7	-2,7	23,8	17,5	29,8
Jun	11,6	22,7	-11,1	21,9	15,3	28,7
Jul	10,1	18,1	-8,0	21,8	15,1	29,3
Ago	16,4	17,0	-0,6	22,3	15,1	29,6
Set	38,1	19,4	18,7	24,5	18,3	31,0
Out	96,9	39,9	57,0	25,6	19,9	31,5
Nov	248,9	144,3	104,6	25,7	20,6	31,1
Dez	256,1	170,0	86,1	25,8	20,8	31,3
Σ	1205,3	1047,1	158,2	300,2	227,8	377,5
Média	100,4	87,3	13,2	25,0	19,0	31,5
Virginópolis						
Jan	197,9	161,9	36,0	24,2	18,6	29,2
Fev	123,2	139,8	-16,6	24,7	18,6	29,9
Mar	127,1	143,3	-16,2	24,3	18,3	29,3
Abr	53,6	104,0	-50,4	23,1	17,0	28,2
Mai	24,4	19,4	5,0	20,9	14,7	25,9
Jun	8,1	17,8	-9,7	19,0	12,3	24,5
Jul	10,0	14,1	-4,1	18,0	11,6	24,4
Ago	15,9	15,0	0,9	19,4	12,1	25,4
Set	43,3	19,6	23,7	21,0	14,2	26,6
Out	103,2	50,4	52,8	22,6	16,5	27,7
Nov	206,1	143,6	62,5	22,9	17,7	27,5
Dez	273,6	158,7	114,9	23,5	18,5	27,7
Σ	1.186,4	987,7	198,7	263,6	190,0	326,2
Média	98,9	82,3	16,6	22,0	15,8	27,2

(1) Dados referentes ao período de 1985 a 2002

(2) Calculada conforme Pennam-Monteith

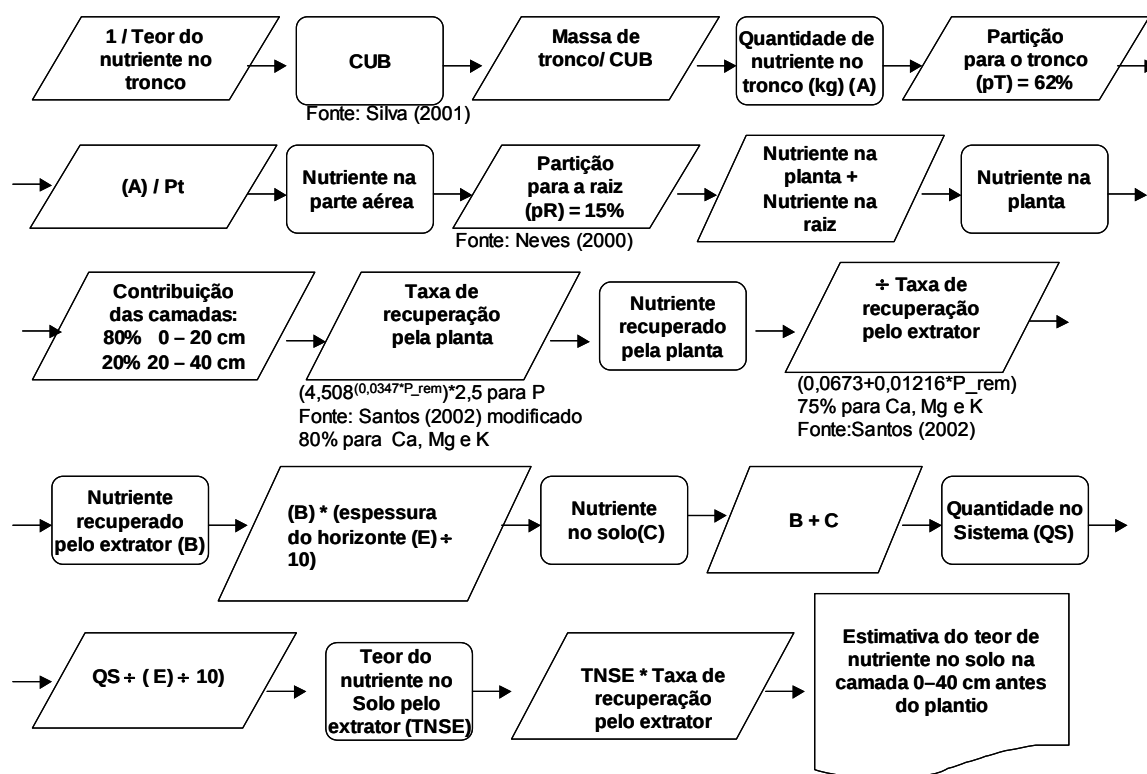


Figura 3 – Fluxograma utilizado para obtenção do teor de nutrientes no solo, na camada de 0 – 40 cm, antes do plantio.

fisiográficos. Dessa forma, para o estudo do relacionamento entre a produtividade e a classe de solo, tornou-se necessário concatenar essas duas ferramentas: o levantamento de solos e o inventário florestal.

Para tanto, os projetos das duas regiões foram estratificados quanto à produtividade média utilizando-se a ferramenta “*classify*” do programa Arcview 3.2a, que permite a obtenção de intervalos de classe por meio de quebra natural. Foram assim obtidos cinco estratos de produtividade. O agrupamento dos dois estratos de maiores produtividades resultou nos “projetos mais produtivos”, enquanto que o agrupamento dos dois estratos de menor produtividade deu origem aos “projetos menos produtivos”. Para estes dois grupos de estratos, calculou-se, com base no mapa de solos, em formato digital, a área de cada classe de solo e unidades de mapeamento, visando inferir sobre a probabilidade de alocação das parcelas de inventário nas várias classes de solo. Por exemplo, se num determinado projeto a área da classe Latossolo, representava 80% de sua área total, inferiu-se que a produtividade fosse proveniente de árvores crescidas nessa classe.

Adicionalmente, quando as áreas relativas das diferentes classes de solo nos projetos eram semelhantes, consultou-se o trabalho de Leite e Garcia (2001) no qual foram feitos estudos relacionados ao inventário florestal da Empresa, e que contém informações sobre a frequência de árvores medidas nas classes de declive maior e menor que 20°. De posse dessa informação, consultou-se o modelo digital de elevação (MDE), para definir que classes de solo estavam mais relacionadas à determinadas classes de declive, e assim inferir sobre de que classe fossem provenientes os dados de produtividade, mais provavelmente.

O MDE foi criado utilizando o programa ArcView 3.2a, com as extensões Geoprocessing Wizard e Spatial Analyst (ESRI, 1996). O tema inicialmente utilizado foi o de classes de solos, que se caracteriza por um tema de polígonos, que dimensiona os limites das unidades de mapeamento. Para a definição do grau de elevação, foram utilizadas as cartas do IBGE abrangendo às áreas do estudo, na escala 1:50.000, e curvas de nível espaçadas em 100 m. O grau de declive de cada unidade de mapeamento foi definido por meio da opção *merge* entre o MDE e o mapa de polígonos, que criou uma tabela informando o máximo, mínimo e média de declividade para cada unidade de mapeamento.

Por fim, as áreas relativas de cada classe de solo dentro dos projetos, foram correlacionadas com a produtividade.

3.6. Índice de Qualidade de Solo (IQS)

Foi utilizado o modelo de um índice de qualidade de solo proposto por Karlen & Scott (1994), também utilizado por Chaer (2001) e Santos (2004a) para solos sob eucalipto, com ajustes, para possibilitar a definição do IQS das classes de solo principais.

A qualidade do solo foi avaliada considerando quatro funções do solo relacionadas à sustentabilidade da produção florestal: 1) receber, armazenar e suprir água; 2) armazenar, suprir e ciclar nutrientes; 3) promover crescimento das raízes e 4) promover atividade biológica. Cada função foi associada a um conjunto de indicadores, que foram selecionados de modo a incluir aqueles que mais influenciam cada função. Os valores determinados para cada indicador

foram transformados em escores que variam de 0 a 1, por meio das funções de pontuação padronizadas. O somatório dos produtos dos escores e dos pesos relativos atribuídos a cada indicador gerou um sub-índice para cada função do solo, e o somatório destes sub-índices originou o IQS. Os pesos relativos de cada indicador e cada função de solo e a estrutura do modelo utilizado para determinação do IQS são apresentados no Quadro 7.

Para a padronização dos valores dos indicadores de qualidade utilizados no modelo, foram geradas curvas de pontuação padronizadas (Wymore, 1993), por meio da função sigmoidal:

$$PP = \frac{1}{1 + ((B-L)/(x-L))^{2S} (B+x-2L)}$$

em que: PP é a pontuação padronizada; B é o valor na linha base da propriedade do solo, onde a pontuação equivale a 0,5; L é o limite inferior (valor da pontuação igual a zero quando a curva é do tipo “menos é melhor” ou igual a um quando a curva é do tipo “mais é melhor”); S é a inclinação da tangente da curva na linha-base e x é o valor da propriedade do solo.

Para a utilização da PP foi calculada inicialmente a tangente (S). Isso foi feito assumindo o valor de PP igual 0,995, ou melhor, igualando a equação a este valor com a finalidade de obter a tangente, para curvas do tipo “mais é melhor”. Para curvas do tipo “menos é melhor” o valor de PP para definição da tangente foi de 0,004.

O Quadro 8 mostra os tipos de curva, os limites superior e inferior e a declividade das curvas que foram ajustadas para as características do solo utilizadas como indicadores na definição do IQS dos horizontes A e B.

O modelo de IQS foi processado considerando as características dos horizontes A e B, dos perfis de cada classe de solo. A média aritmética dos valores de IQS dos horizontes A e B deu origem ao IQS do perfil. Os valores assim obtidos, bem como os coeficientes de variação dos valores de IQS entre as funções do modelo de qualidade, foram relacionados com a produtividade média.

Quadro 7 – Pesos numéricos associados aos indicadores e funções do solo e estrutura do modelo utilizado para determinação do índice de qualidade do solo (IQS)

Funções	Peso	Indicador 1º	Peso	Indicador 2º	Peso
Receber, armazenar e suprir água	0,25	Densidade do solo	0,20		
		Matéria orgânica	0,30		
		Argila+silte	0,50		
Promover crescimento das raízes	0,25	Densidade do solo	0,25		
		Matéria orgânica	0,25		
		Acidez /Toxidez de Al^{3+}	0,25	pH	0,33
				H+Al	0,33
				Al^{3+}	0,33
		Nutrientes minerais	0,25	P	0,40
				K^{+}	0,10
				Ca^{2+}	0,40
				Mg^{2+}	0,10
		Matéria orgânica	0,25		
Armazenar suprir e ciclar nutrientes	0,25	CTC pH 7,0	0,25		
		Nutrientes minerais	0,40	P	0,25
				K^{+}	0,25
				Ca^{2+}	0,25
				Mg^{2+}	0,25
		Saturação por Al^{3+}	0,10		
		pH	0,25		
Promover atividade biológica	0,25	Nutrientes minerais	0,25	P	0,30
				K^{+}	0,20
				Ca^{2+}	0,30
				Mg^{2+}	0,20
		Matéria orgânica	0,50		

Quadro 8 – Valores de características utilizadas nas funções de pontuação dos indicadores de qualidade do solo

Tipo de curva	Indicador	Limite inferior	Linha base	Limite superior	Declividade na linha base
----- Horizonte A -----					
Ótimo	Argila+silte (dag kg ⁻¹)	15	36	60	0,052
Ótimo	pH	3,8	4,0	5,5	0,649
Mais é melhor	P (mg kg ⁻¹)	0	5	10	0,253
Mais é melhor	CTC (cmol _c kg ⁻¹)	0	4,5	9,0	0,281
Mais é melhor	Mat. orgânica (dag kg ⁻¹)	0	1,5	4,5	0,400
Mais é melhor	K (mg kg ⁻¹)	0	58,5	117	0,022
Mais é melhor	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0	0,65	1,35	1,798
Mais é melhor	Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0	0,20	0,40	6,318
Menos é melhor	H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	0	4,0	7,7	-0,358
Menos é melhor	Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0	0,8	1,7	-1,552
Menos é melhor	Densidade do solo (g cm ⁻³)	0,75	1,5	2,0	-2,679
Menos é melhor	Sat. por Al ³⁺ (%)	0	50	100	-0,025
----- Horizonte B -----					
Ótimo	Argila+silte (dag kg ⁻¹)	15	36	60	0,052
Ótimo	pH	3,8	4,0	5,5	0,649
Mais é melhor	P (mg kg ⁻¹)	0	2,5	5,0	0,505
Mais é melhor	CTC (cmol _c kg ⁻¹)	0	4,5	9,0	0,281
Mais é melhor	Mat. orgânica (dag kg ⁻¹)	0	0,5	1,0	2,527
Mais é melhor	K (mg kg ⁻¹)	0	25	50	0,051
Mais é melhor	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0	0,20	0,40	6,318
Mais é melhor	Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0	0,10	0,20	12,636
Menos é melhor	H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	0	2,0	5,0	-0,428
Menos é melhor	Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0	0,8	1,7	-1,552
Menos é melhor	Densidade do solo (g cm ⁻³)	0,75	1,5	2,0	-2,679
Menos é melhor	Sat. por Al ³⁺ (%)	0	50	100	-0,025

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produtividade de eucalipto nas áreas da CENIBRA

A produtividade atingível, estimada pelo 3PG, em média, é de $47 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para toda a área da empresa, enquanto que a produtividade média atualmente obtida é de $33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Quadro 10). A diferença relativa entre elas, o delta, indica que produtividade obtida é 29% menor do que a produtividade que se pode atingir. De modo geral, a produtividade atingível obedece a seguinte ordem: Cocais > Virginópolis > Sabinópolis > Santa Bárbara > Belo Oriente, enquanto que a produtividade média tem a seguinte seqüência: Virginópolis > Cocais > Sabinópolis > Santa Bárbara > Belo Oriente. Observa-se que a ordem só se modifica entre Virginópolis e Cocais.

A capacidade produtiva do sítio é normalmente expressa com base no crescimento das árvores pertencentes ao estrato superior da população. Logo, tendo em vista que a produtividade média constitui o ponto ótimo da distribuição de freqüência normal é razoável esperar que uma maior produtividade média corresponda à maior capacidade produtiva. Nessa linha de raciocínio, a capacidade produtiva de Virginópolis seria maior que a de Cocais.

Uma vez que a produtividade atingível, como obtida neste trabalho, para Cocais foi superior a de Virginópolis (Quadro 10), à primeira vista isso indica que a estimativa obtida pelo 3PG pode não refletir, acuradamente, a capacidade produtiva. Contudo, é necessário ressaltar que tanto as produtividades médias como as atingíveis dessas duas regiões são muito próximas (Quadro 10), o que parece indicar que o 3PG esteja propiciando estimativas satisfatórias da capacidade produtiva, pelo menos em nível das regiões estudadas. Não obstante, esse modelo deve ser refinado no sentido de considerar outros fatores, por exemplo, aqueles mais relacionados ao solo e a fisiografia. Na versão utilizada neste trabalho, o 3PG atribui peso maior às características climáticas, e na resposta da planta a essas condições, em comparação às do solo.

Quadro 10 – Produtividade média e atingível de tronco de eucalipto em áreas da CENIBRA S.A. no Centro Leste de Minas Gerais

Regional	IMA Médio (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	IMA Potencial ⁽¹⁾ (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Delta (%)
Cocais	36,8	53,7	31,5
Belo Oriente	28,9	39,5	26,8
Sabinópolis	32,6	50,2	35,0
Sta. Bárbara	29,9	40,3	25,9
Virginópolis	38,4	52,4	26,7
Média	33,3	47,2	29,2
CV (%)	12,5	14,4	13,5

(1) Estimado pelo modelo 3PG

As regiões de Cocais e Virginópolis, ambas regiões “altas”, diferem, contudo, especialmente quanto à fisiografia, além, obviamente, de serem distintas quanto a solo, como pode se depreender do Quadro 2. Neste, observa-se que na região de Cocais têm-se 30 enquanto que em Virginópolis há 21 unidades de mapeamento. Cocais é uma região mais alta, de clima mais ameno e por isso impõe menos estresses fisiológicos às plantas, o que faz com que o 3PG estime maior produtividade. Porém, Cocais é a região que possui relevo mais montanhoso, ou seja, declives mais fortes. Por sua vez, Virginópolis, possui relevo forte ondulado a montanhoso, mas muitas áreas planas.

Para as duas regiões mais contrastantes, Belo Oriente e Virginópolis, a produtividade atingível, pouco variou com a classe de solo comparativamente à produtividade média, como pode ser visto pelos respectivos coeficientes de variação (Quadros 11 e 12).

Quadro 11 – Produtividade média e atingível⁽¹⁾ das regiões Belo Oriente e Virginópolis em projetos mais produtivos e menos produtivos

Classe de solo	Projetos mais produtivos			Projetos menos produtivos		
	IMA Médio (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	IMA atingível (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Delta (%)	IMA Médio (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	IMA atingível (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Delta (%)
----- Belo Oriente -----						
CX_fv	28,6	39,2	27,0	23,5	41,1	42,8
CX_típico	29,0	38,9	25,4	24,0	39,8	39,7
LA	29,2	39,1	25,3	24,0	38,4	37,5
LVA	28,7	39,1	26,6	24,6	39,1	37,1
LV	28,7	39,1	26,6	23,8	39,6	39,9
Média	28,8	39,1	26,3	24,0	39,6	39,4
CV (%)	0,9	0,3	2,7	1,7	2,5	3,7
----- Virginópolis -----						
CX_típico	40,0	53,2	24,8	28,0	53,8	48,0
LA	51,0	52,0	1,9	-	-	-
LVA	43,3	51,8	16,4	21,4	52,9	59,5
LV	44,2	51,8	14,7	32,5	51,9	37,4
Média	44,6	52,2	14,5	27,3	52,9	48,3
CV (%)	10,3	1,3	65,5	20,5	1,8	22,9

(1) Estimada pelo modelo 3PG

Assim, há falta de sensibilidade do modelo 3PG quanto às características de solo, fato aqui mostrado por meio da estratificação da produtividade atingível por unidades taxonômicas. No entanto, pelo menos para a condição de fertilidade plena, percebeu-se que na classe textural mais argilosa tendeu a ter maior produtividade atingível, apesar de serem sutis as diferenças nas estimativas. A influência da classe textural, nesse modelo, se dá por meio de constantes associadas ao modificador de água no solo, e pela CAD, podendo-se destacar que, houve maior efeito dessas constantes (dados não mostrados). No entanto, no 3PG não há nenhum tratamento para a organização do espaço poroso do solo, na forma de um modificador ou uma nota.

A análise dos valores de delta constantes do Quadro 11 sugere em que situações deveriam ser priorizadas medidas de manejo visando o aumento de produtividade (maiores deltas), ou aquelas mais associadas à manutenção da produtividade (menores deltas). Contudo, há a necessidade de maior refinamento do modelo, conforme já destacado, além de continuar a busca por uma melhor parametrização, visando seu melhor desempenho e maior resolução em termos de outros fatores, que não os climáticos, determinantes da produção florestal.

4.2. Relacionamento entre produtividade e características de solo

Para o estabelecimento da relação entre a produtividade e características do solo, ou seja, o método solo-local, fez-se, inicialmente, a análise de correlação entre essas variáveis (Quadros 12 e 13).

Dentre as 26 características químicas consideradas, obtiveram-se correlações significativas para 15 delas, ou seja, a frequência de características significativas foi de 57,7%. O grupo de variáveis melhor correlacionadas incluiu matéria orgânica do solo (MOS), teor de potássio na camada de 0 a 40 cm de solo (K_{est}), estimado para a fase inicial de crescimento e $P_{remanescente}$ (P_{rem}). Em valores absolutos, os coeficientes de correlação para esse grupo, variaram de 0,53 a 0,40, média de 0,47, não diferindo estatisticamente entre si.

Para as 11 características físicas consideradas foram significativas apenas quatro, densidade do solo, areia fina, silte e argila, numa frequência de 36,4%. Em valores absolutos, os coeficientes de correlação para essas características variaram de 0,33 a 0,20, média de 0,27, não diferindo estatisticamente entre si.

Dentre as características que descrevem as áreas onde estão situados os perfis amostrados o relevo local e a classe de erosão correlacionaram negativamente e significativamente com a produtividade (Quadro 14). As características material de origem e classe de drenagem são pouco variáveis nas áreas estudadas, podendo-se atribuir a tal fato essa ausência de correlações significativas. Como já visto na descrição da área, os materiais de origem das regiões Belo Oriente e Virgíópolis podem ser separados em apenas dois grandes grupos, o embasamento cristalino (gnaisse-granito) e os sedimentos do terciário e quaternário. Assim, para material de origem apenas

dois valores numéricos (Quadro 3) foram utilizados nas correlações, o que não possibilitou a percepção de relacionamentos significativos. Por analogia, explica-se a ausência de correlações significativas, para classe de drenagem.

Quadro 12 – Coeficientes de correlação de IMA com características químicas dos solos das regionais Virginópolis e Belo Oriente

Característica	A	B ou C	Perfil
	n = 91	n = 88	n = 110
pH (água)	-0,08	-0,07	-0,08
pH (KCl)	0,07	0,13	0,02
ΔPh	0,21*	0,27*	0,26*
MOS, dag kg ⁻¹	0,52*	0,56*	0,53*
P, mg kg ⁻¹	-0,02	-0,11	-0,03
K, mg kg ⁻¹	-0,11	-0,09	-0,11
Na, mg kg ⁻¹	-0,03	-0,08	-0,04
Ca, cmol _c kg ⁻¹	-0,25*	-0,26*	-0,26*
Mg, cmol _c kg ⁻¹	-0,18°	-0,15	-0,17°
P _{est} ⁽¹⁾ , mg dm ⁻³	0,20°	0,55*	0,35*
K _{est} ⁽¹⁾ , cmol _c dm ⁻³	0,39*	0,52*	0,50*
Ca _{est} ⁽¹⁾ , cmol _c dm ⁻³	-0,02	0,09	-0,03
Mg _{est} ⁽¹⁾ , cmol _c dm ⁻³	0,09	0,19°	0,13
Al, cmol _c kg ⁻¹	0,08	-0,15	-0,02
H+Al, cmol _c kg ⁻¹	0,16	0,13	0,16°
S, cmol _c kg ⁻¹	-0,24*	-0,24*	-0,25*
t, cmol _c kg ⁻¹	-0,22*	-0,35*	-0,30*
T, cmol _c kg ⁻¹	0,09	0,07	0,09
Tc, cmol _c kg ⁻¹	-0,07	-0,17	-0,09
V, %	-0,25*	-0,24*	-0,26*
m, %	0,23*	0,17	0,17°
Zn, mg kg ⁻¹	-0,17	-0,15	-0,19*
Cu, mg kg ⁻¹	-0,31*	-0,30*	-0,27*
Fe, mg kg ⁻¹	-0,13	-0,07	-0,04
Mn, mg kg ⁻¹	-0,18°	-0,20°	-0,21*
P-rem, mg L ⁻¹	-0,44*	-0,39*	-0,40*

Perfil = média aritmética dos horizontes A e (B ou C); °, * significativo a 10% e 5%, respectivamente.

(1) Teores de nutrientes no solo estimados para fase inicial de crescimento da cultura

MOS = Matéria orgânica do solo; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; Tc = CTC corrigida por argila; V = Valor de saturação por bases; m = Porcentagem de saturação por Al³⁺.

O relevo regional pouco varia em Belo Oriente e Virginópolis. Como pode ser observado no item 2.1, o relevo de todas as áreas da empresa, é descrito como movimentado; na descrição de 95% dos perfis o relevo regional foi classificado em ondulado e forte ondulado. As correlações significativas e negativas entre relevo local, classe de erosão e a produtividade indicam que às posições mais altas do relevo e áreas menos erodidas estão associadas maiores produtividades, visto que, pela codificação utilizada (Quadro 3) maiores valores para relevo local foram atribuídos às posições mais baixas da paisagem e também maiores valores foram atribuídos a áreas mais erodidas, evidenciando, portanto, a influência da fisiografia e da conservação do solo na produtividade.

Carmean (1975) destacou forte evidência na relação entre topografia e características específicas do solo, tais como: espessura do horizonte A, teor de argila em subsuperfície, pedregosidade e matéria orgânica. Dessa forma relacionada à topografia, comumente é citada a orientação com respeito a radiação solar recebida pela superfície plantada (Hannah, 1968; Resende et al; 2002a). Por isso vale ressaltar que a auto correlação natural entre características de solo e posição no relevo, não permite quantificar o efeito de isolado de cada fator sobre a produtividade.

No entanto, Santana (1986) e Teixeira (1987) também verificaram maiores produtividades de eucalipto nas posições de topo do que na baixada. Eles explicam que isso se deve às boas características físicas do solo, no topo, que permitiram maior aprofundamento do sistema radicular e maior armazenamento de água, apesar da baixa fertilidade, enquanto que, na baixada o crescimento foi menor pela dificuldade da drenagem, embora a fertilidade natural fosse superior.

Quanto às características morfológicas do perfil, observa-se significância para três delas, dentre as sete avaliadas, consistência seca e úmida e tipo de estrutura, cujos coeficientes de correlação com a produtividade são todos negativos. Isso indica que menores produtividades estão associadas a solos mais duros, quando secos, e mais firmes, quando úmidos. Esses tipos de consistência são verificados em solos argilosos (Resende et al, 1995). No entanto, em tais solos, se bem estruturados, os efeitos negativos desses tipos de consistência sobre o crescimento radicular (Spurr & Barnes, 1980), bem como sobre o transporte de nutrientes (Kemper et al, 1971; Ruiz, 1985;

Marschner,1995) e o arejamento no solo (Hillel, 1982; Bennie,1991), são atenuados. Como indicado pela correlação negativa com o tipo de estrutura, maiores produtividades estão associadas aos tipos granular e blocos subangulares.

Quadro 13 – Coeficientes de correlação de IMA com características físicas dos solos das regionais Virgíópolis e Belo Oriente

Característica	A	B ou C	Perfil
	91	88	110
Índice vermelho	-0,05	-0,06	-0,06
Densidade do solo, g cm ⁻³	-0,50*	-0,18°	-0,33*
Porosidade, %	0,30*	-0,12	-0,12
Areia grossa, dag kg ⁻¹	-0,06	-0,09	-0,09
Areia fina, dag kg ⁻¹	-0,23*	-0,28	-0,26*
Areia total, dag kg ⁻¹	-0,13	-0,14	-0,14
Silte, dag kg ⁻¹	-0,16	-0,19°	-0,22*
Argila, dag kg ⁻¹	0,22*	0,24*	0,20*
Silte+argila, dag kg ⁻¹	0,13	0,16	0,08
Silte/argila	0,04	-0,15	0,02
Floculação, %	0,41*	-0,51*	-0,04

Perfil = média aritmética dos horizontes A e (B ou C); °, * significativo a 10% e 5%, respectivamente

Quadro 14 – Coeficientes de correlação de Spearman entre IMA e características que descrevem a área, estrutura e consistência de solo

Característica	A		B		Perfil	
	n	r	n	R	n	r
Material de origem					97	-0,09
Relevo local					96	-0,21*
Relevo regional					97	0,05
Classe de erosão					81	-0,26*
Classe de drenagem					96	-0,11
Grau de estrutura	88	0,05	65	0,09	97	-0,03
Tamanho de estrutura	87	-0,03	86	-0,07	97	-0,16
Tipo de estrutura	92	-0,25*	89	-0,17	97	-0,25*
Consistência – seco	25	-0,15	20	-0,65*	67	-0,46*
Consistência – úmido	90	-0,14	86	-0,01	97	-0,23*
Molhado – Plasticidade	92	0,12	92	0,17	97	0,06
Molhado – Pegajosidade	89	0,01	88	0,18°	97	-0,02

Perfil = média aritmética dos horizontes A e (B ou C); °, * significativo a 10% e 5%, respectivamente

No estudo do relacionamento da produtividade com características de solo, consideradas de modo integrado, e não estratificado por classe de solo (Quadro 15 Eq. 1 e 2,) dois modelos foram os melhores. No primeiro deles, apenas duas características, MOS e P_rem, explicam 29% das variações de produtividade. A MOS e o P_rem são características associadas à extensão da superfície adsorvente da fase sólida e à qualidade da mesma, que se refletem na capacidade tampão do solo, fornecendo, assim, informações que se complementam (MOS vs P_rem $r = -0,49$, $p < 0,05$) no sentido de melhor refletir propriedades distintas do mesmo. A MOS é amplamente considerada como boa indicadora da qualidade do solo, relacionando-se assim à sustentabilidade da produção. Neste modelo, cabe ressaltar que a MOS possui coeficiente positivo, enquanto que o P_rem possui coeficiente negativo, como também verificado na análise de correlação simples (Quadro 12).

Quando se adicionou a essas características o teor estimado de K no solo para a fase inicial de crescimento dos plantios, obteve-se aumento da capacidade preditiva para 45%. Observa-se também que o sinal do coeficiente que mede o efeito de K é positivo, contrariamente ao observado na análise de correlação simples (Quadro 12) para este e demais nutrientes. Frequentemente, em solos tropicais, quando se faz este tipo de relacionamento ao final do ciclo, geralmente utilizando o monitoramento da fertilidade realizado por ocasião do inventário pré-corte, o que se observa é o relacionamento negativo entre a produtividade e o teor de nutriente no solo (Barros, 1974; Barros et al, 1986; Fabres et al, 1987; Braga, 1996; Ortiz, 2003). Tal fato é explicado pela transferência do nutriente do solo para a biomassa vegetal e também por serem pequenas as formas de reserva de nutrientes, especialmente os cátions básicos, nessas condições de solos muito intemperizados.

Reforça-se assim a necessidade do conhecimento dos teores de nutrientes no solo no início do ciclo, como também proposto por Santos (2004b). Tais teores idealmente devem ser medidos, porém podem também ser estimados, levando-se também em conta o conteúdo de nutrientes na biomassa, o que empresta maior utilidade ao monitoramento da fertilidade do solo normalmente realizado junto com o inventário pré-corte.

Quadro 15 – Modelos de regressão múltipla entre IMA e características de solo

Classes de solo	n	Eq.	Equações de regressão múltipla	R ²	R ² ajust.
Todas	110	(1)	$\hat{Y} = 25,5 + 4,522^{**} \text{ MOS} - 0,323^{*} \text{ P_rem}$	0,31	0,29
	110	(2)	$\hat{Y} = 20,0 + 2,772^{**} \text{ MOS} + 54,261^{**} \text{ K_est} - 0,434^{**} \text{ P_rem}$	0,45	0,43
Cambissolos	36	(3)	$\hat{Y} = 26,1 + 5,166^{*} \text{ MOS} - 0,469^{\circ} \text{ P_rem}$	0,36	0,32
	36	(4)	$\hat{Y} = 20,5 + 3,843^{\circ} \text{ MOS} + 37,010^{*} \text{ K_est} - 0,428^{\circ} \text{ P_rem}$	0,43	0,38
Latosolos	62	(5)	$\hat{Y} = 22,5 + 5,327^{**} \text{ MOS} - 0,257^{ns} \text{ P_rem}$	0,31	0,29
	62	(6)	$\hat{Y} = 17,3 + 1,950^{ns} \text{ MOS} + 85,956^{**} \text{ K_est} - 0,520^{*} \text{ P_rem}$	0,55	0,53
Neossolos	9	(7)	$\hat{Y} = 35,3 + 0,191^{ns} \text{ MOS} - 0,315^{ns} \text{ P_rem}$	0,33	0,11
	9	(8)	$\hat{Y} = 35,0 + 2,000^{ns} \text{ MOS} - 32,328^{ns} \text{ K_est} - 0,071^{ns} \text{ P_rem}$	0,52	0,23

^{**}, ^{*}, [°] e ^{ns} significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo, respectivamente; IMA = Incremento Médio Anual (m³ ha⁻¹ ano⁻¹).

Considerando os modelos pelas equações 1 e 2 (Quadro 15) aplicados de modo estratificado pelas classes de solo, Cambissolo, Latossolo e Neossolo, verifica-se somente para os Cambissolos significância para todos os coeficientes que definiram a escolha do modelo (Quadro 15, Eq. 3 e 4). Para os Latossolos, o P_{rem} não se mostrou significativo (Quadro 15, Eq. 5). Isto parece estar relacionado a uma provável menor heterogeneidade na mineralogia destes solos em comparação aos Cambissolos. O efeito de K_{est} foi significativo nas classes Cambissolo e Latossolo, além disso, a inclusão de K_{est} aumentou apreciavelmente a capacidade preditiva dos modelos, mesmo para os Neossolos, classe em que não se verificou significância dos coeficientes das equações (Quadro 15, Eq. 7 e 8). Essa inclusão permitiu que sempre houvesse aumento da capacidade preditiva, mesmo quando o modelo geral foi processado de modo estratificado por classe de solo. Isso pode ser visto pela comparação dos valores de R^2 obtidos para as equações 2, 4, 6, e 8 versus os R^2 das equações 1, 3, 5, e 7 (Quadro 15)

4.3. Relacionamento entre produtividade e classe de solo

Os Quadros de 16 a 23 apresentam os detalhes do levantamento de solo destas duas regiões: as unidades de mapeamento de cada classe de solo, o material de origem e as médias e coeficientes de variação de características químicas e físicas dos horizontes superficiais e subsuperficiais.

Os solos predominantes das áreas de Belo Oriente e Virginópolis pertencem às ordens Cambissolo, Latossolo, Neossolo e Plintossolo, sendo mais predominantes os Latossolos e Cambissolos nas duas regiões (Quadro 24, Figuras 4 e 5). No segundo nível categórico são Cambissolo Háplico, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho. Para os Cambissolos há ainda o fasamento em típicos e de fundo de vale, considerando a posição no relevo e o material de origem, já que estes estão em posição mais baixa no relevo e se originam de sedimentos coluviais,

enquanto os chamados típicos estão relacionados ao cristalino (gnaisse e complexo granito-gnaisse).

Os Latossolos estão associados a relevo muito movimentado. Sendo que os Amarelos e Vermelhos se encontram predominantemente em classe de declives mais suaves, em média 16° e 11° , respectivamente, enquanto que os Vermelho-Amarelos se encontram em situações com declividade média de 24° . Em geral, são profundos, bem drenados, praticamente sem impedimentos ao crescimento do sistema radicular do eucalipto.

Os Cambissolos (CX) também estão associados a relevo muito movimentado, no entanto os denominados CX_típicos se encontram em declives mais acentuados, em média 31° em Belo Oriente e 24° em Virginópolis, enquanto que os fundo de vale estão em declive médio de 15° nas duas regiões. Os CX típicos são, em geral, profundos e bem drenados, enquanto que os CX de fundo de vale são menos profundos e possuem alguma restrição à drenagem.

Quadro 16 – Produtividade e características químicas do horizonte A dos solos da regional Belo Oriente

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS																	
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			ARGISSOLO			NEOSSOLO FLÚVICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd2, CXbd3, CXbd4, CXbd5, CXbd5+CXbd1, CXbd9			LAd1, LAd1+ CXbd5, LAd2, LAdf1, LAw1, LAw2			LVAd1, LVAw1, LVAd2			LVd1, LVw1			PAd1, PVAd3			RUbd2, RUbd3, RUbd4, Rube + RUbd1		
Material de origem	Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos coluvio-aluviais			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss			-			Sedimentos aluviais recentes		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
IMA ,m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	23	25,5	11,6	17	26,2	10,4	7	26,3	8,9	5	24,8	10,8	2	28,6	3,2	6	28,9	5,3
pH (água)	23	4,9	12,4	17	4,5	6,4	7	4,3	4,8	5	4,3	2,0	2	6,0	7,2	6	5,4	7,6
pH (KCl)	23	4,3	10,7	17	4,0	5,6	7	4,0	3,5	5	4,0	0,7	2	5,2	9,0	6	4,5	9,0
ΔpH	23	-0,6	33,9	17	-0,5	30,9	7	-0,3	30,8	5	-0,4	20,9	2	-0,8	4,6	6	-1,0	29,0
MOS, dag kg ⁻¹	23	2,2	48,1	17	2,4	28,2	7	2,5	18,3	5	2,5	28,1	2	1,9	51,1	6	1,6	21,7
P, mg kg ⁻¹	23	2,4	85,4	17	2,2	52,5	7	2,2	106,5	5	1,3	35,4	2	2,5	18,1	6	1,9	39,4
K, mg kg ⁻¹	23	42,4	83,4	17	29,1	68,1	7	24,2	37,0	5	18,9	17,8	2	74,2	57,3	6	53,1	38,5
Na, mg kg ⁻¹	23	7,9	125,5	17	3,0	36,3	7	2,1	60,5	5	2,5	100,2	2	2,0	70,0	6	2,6	34,1
Ca, cmol _c kg ⁻¹	23	1,0	112,8	17	0,6	153,6	7	0,1	82,3	5	0,1	62,3	2	2,7	34,0	6	1,3	27,9
Mg, cmol _c kg ⁻¹	23	0,3	106,1	17	0,1	98,7	7	0,0	41,8	5	0,1	42,7	2	0,5	31,4	6	0,3	45,3
Al, cmol _c kg ⁻¹	23	1,1	81,8	17	1,5	49,0	7	1,7	19,2	5	1,8	22,4	2	0,0	110,0	6	0,4	75,8
H+Al, cmol _c kg ⁻¹	23	5,5	56,7	17	8,4	29,6	7	8,6	16,8	5	9,2	29,0	2	2,0	47,4	6	3,6	34,7
S, cmol _c kg ⁻¹	23	1,5	101,4	17	0,8	126,4	7	0,2	46,7	5	0,3	37,4	2	3,4	18,1	6	1,8	24,8
t, cmol _c kg ⁻¹	23	2,5	41,0	17	2,4	34,8	7	1,9	17,7	5	2,1	17,4	2	3,4	16,6	6	2,2	16,6
T, cmol _c kg ⁻¹	23	7,0	38,9	17	9,2	23,5	7	8,8	16,8	5	9,4	27,6	2	5,4	6,0	6	5,4	23,4
Tc, cmol _c kg ⁻¹	23	23,2	175,6	17	15,5	17,9	7	14,1	21,8	5	14,0	25,5	2	16,5	36,8	6	16,6	35,2
V, %	23	23,1	97,1	17	9,3	135,8	7	2,2	40,4	5	3,0	43,6	2	63,6	24,1	6	35,0	33,2
m, %	23	50,5	76,2	17	70,1	41,9	7	89,6	5,3	5	87,2	5,9	2	1,4	109,0	6	17,1	80,4
Zn, mg kg ⁻¹	23	1,0	147,6	17	0,4	82,3	7	0,3	66,0	5	0,2	14,8	2	1,3	78,6	6	2,2	32,2
Cu, mg kg ⁻¹	23	0,8	69,4	17	0,2	101,8	7	0,2	43,0	5	0,3	72,2	2	0,5	10,9	6	0,9	60,1
Fe, mg kg ⁻¹	23	63,7	83,2	17	82,3	57,2	7	81,8	21,5	5	83,0	43,3	2	14,8	7,4	6	20,5	45,3
Mn, mg kg ⁻¹	23	45,6	133,9	17	5,6	132,4	7	2,3	30,8	5	2,6	81,3	2	78,4	4,9	6	53,6	30,2
P-rem, mg L ⁻¹	23	16,3	58,3	17	16,2	39,5	7	12,4	36,3	5	11,8	35,8	2	1,4	28,9	6	23,2	52,3

n = número de perfis

Quadro 17 – Características físicas do horizonte A dos solos da regional Belo Oriente

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS																	
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			ARGISSOLO			NEOSSOLO FLÚVICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd2, CXbd3, CXbd4, CXbd5, CXbd5+CXbd1, CXbd9			LAd1, LAd1+ CXbd5, LAd2, LAdf1, LAw1, LAw2			LVAd1, LVAd1, LVAd2			LVd1, LVw1			PAd1, PVAd3			RUbd2, RUbd3, RUbd4, RUbe + RUbd1		
Material de origem	Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos coluvio- aluviais			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss			-			Sedimentos aluviais recentes		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
Espessura, cm	23	19,7	49,3	17	19,1	40,9	7	23,3	55,0	5	31,4	40,5	2	21,0	26,9	6	21,8	33,2
Índice vermelho	21	5,3	70,8	15	0,3	263,9	5	2,3	99,1	5	3,8	94,3	-	-	-	6	3,3	244,9
Densidade do solo, g cm ⁻³	23	1,1	12,5	17	1,1	9,3	7	1,1	9,8	5	1,0	15,4	2	1,3	14,2	6	1,3	5,7
Densidade de partícula, g cm ⁻³	23	2,3	31,9	17	2,6	2,2	7	2,6	2,6	5	2,6	2,8	2	2,6	0,8	6	2,5	6,8
Porosidade, %	21	56,0	10,2	17	57,2	6,4	7	58,1	7,2	5	62,8	8,5	2	48,2	14,4	6	49,8	6,9
Areia grossa, dag kg ⁻¹	23	22,1	42,8	17	21,8	41,8	7	20,3	36,8	5	17,7	27,8	2	43,3	30,3	6	37,7	41,1
Areia fina, dag kg ⁻¹	23	12,7	24,0	17	13,6	40,8	7	10,5	29,2	5	9,1	42,6	2	12,5	13,7	6	14,8	20,0
Areia total, dag kg ⁻¹	23	34,7	33,2	17	33,5	40,1	7	30,8	28,2	5	26,8	30,1	2	55,8	26,6	6	52,6	27,9
Silte, dag kg ⁻¹	23	17,9	100,2	17	4,4	56,0	7	5,5	21,3	5	5,3	36,7	2	8,8	2,1	6	12,7	35,8
Argila, dag kg ⁻¹	23	47,4	34,2	17	60,1	19,2	7	63,7	14,7	5	68,0	13,3	2	35,4	42,4	6	34,8	33,9
Silte+argila, dag kg ⁻¹	23	65,3	17,7	17	64,5	15,9	7	69,2	12,5	5	73,2	11,0	2	44,2	33,5	6	47,4	30,9
Floculação, %	23	16,6	161,6	17	5,1	228,6	7	19,6	98,7	5	22,3	63,3	2	43,7	42,1	6	9,0	244,9
Dispersão, %	23	18,2	158,3	17	12,5	223,7	7	37,6	95,0	5	57,7	57,1	2	56,3	32,6	6	7,7	244,9
Silte/argila	23	1,4	291,1	17	0,1	82,5	7	0,1	38,8	5	0,1	45,7	2	0,3	43,7	6	0,4	46,1

n = número de perfis

Quadro 18 – Características químicas dos horizontes sub superficiais diagnóstico B ou C dos solos da regional Belo Oriente

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS																	
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			ARGISSOLO			NEOSSOLO FLÚVICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd2, CXbd3, CXbd4, CXbd5, CXbd5+CXbd1, CXbd9			LAd1, LAd1+ CXbd5, LAd2, LAdf1, LAw1, LAw2			LVAw1, LVAw2			LVd1, LVw1			Pad1, PVAd3			RUbd2, RUbd3, RUbd4, Rube + RUbd1		
Material de origem	Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos coluvio-aluviais			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss			-			Sedimentos aluviais recentes		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
pH (água)	23	4,9	10,2	17	4,3	6,3	7	4,4	3,9	5	4,4	3,9	2	5,0	4,6	6	5,4	4,7
pH (KCl)	23	4,4	8,8	17	4,1	4,6	7	4,3	3,1	5	4,3	0,8	2	4,3	7,0	6	5,0	7,7
ΔpH	23	-0,5	47,4	17	-0,3	49,9	7	-0,1	112,0	5	-0,2	123,3	2	-0,7	9,7	6	-0,5	73,3
MOS, dag kg ⁻¹	23	0,9	48,2	17	1,0	25,3	7	1,3	34,6	5	1,2	26,6	2	0,7	25,1	6	0,4	21,1
P, mg kg ⁻¹	23	0,8	76,3	17	0,7	76,4	7	0,5	42,0	5	0,5	29,0	2	2,2	109,2	6	1,9	37,2
K, mg kg ⁻¹	23	18,1	147,7	17	7,0	50,2	7	8,8	55,4	5	4,8	39,9	2	24,4	13,1	6	29,6	81,4
Na, mg kg ⁻¹	23	4,1	102,8	17	1,6	72,1	7	2,4	89,9	5	2,7	87,4	2	3,0	23,2	6	2,5	66,5
Ca, cmol _c kg ⁻¹	23	0,4	120,7	17	0,1	119,4	7	0,0	101,1	5	0,0	74,3	2	0,3	17,1	6	0,6	47,0
Mg, cmol _c kg ⁻¹	23	0,2	98,6	17	0,0	95,3	7	0,0	58,2	5	0,0	94,9	2	0,1	45,6	6	0,3	110,8
Al, cmol _c kg ⁻¹	23	0,8	72,6	17	1,5	26,3	7	0,8	21,3	5	0,9	26,8	2	0,9	95,5	6	0,1	96,9
H+Al, cmol _c kg ⁻¹	23	3,5	50,3	17	5,9	23,7	7	4,8	22,9	5	4,8	25,8	2	3,6	35,1	6	1,8	15,1
S, cmol _c kg ⁻¹	23	0,6	104,8	17	0,1	66,7	7	0,1	31,0	5	0,1	52,3	2	0,5	0,5	6	0,9	42,3
t, cmol _c kg ⁻¹	23	1,4	28,8	17	1,6	24,5	7	0,9	19,0	5	0,9	26,3	2	1,4	61,3	6	1,0	38,1
T, cmol _c kg ⁻¹	23	4,1	41,7	17	6,0	22,9	7	4,9	22,4	5	4,9	25,3	2	4,1	30,8	6	2,8	16,9
Tc, cmol _c kg ⁻¹	23	9,1	38,2	17	8,7	21,8	7	6,7	20,7	5	6,4	18,9	2	7,2	33,2	6	12,7	33,1
V, %	23	18,5	100,0	17	1,8	80,8	7	1,7	49,9	5	1,2	62,8	2	12,2	29,5	6	32,2	31,3
m, %	23	60,3	61,7	17	93,1	6,1	7	90,6	4,2	5	93,7	2,1	2	56,5	46,2	6	9,9	76,5
Zn, mg kg ⁻¹	23	0,3	143,8	17	0,4	247,5	7	0,3	115,9	5	0,1	44,2	2	0,3	110,4	6	0,8	26,2
Cu, mg kg ⁻¹	23	1,2	84,5	17	0,3	114,3	7	0,2	38,9	5	0,3	56,2	2	0,8	6,6	6	1,0	43,7
Fe, mg kg ⁻¹	23	66,8	117,1	17	51,1	34,2	7	45,7	42,5	5	35,4	17,0	2	16,6	22,2	6	21,3	70,6
Mn, mg kg ⁻¹	23	14,2	125,9	17	1,4	73,7	7	1,8	58,1	5	1,6	75,9	2	5,0	48,6	6	17,3	79,4
P-rem, mg L ⁻¹	23	12,2	46,2	17	10,8	38,0	7	6,1	42,4	5	5,5	23,6	2	10,0	4,5	6	13,2	43,3

n = número de perfis

Quadro 19 – Características físicas dos horizontes sub superficiais diagnóstico B ou C dos solos da regional Belo Oriente

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS																	
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			ARGISSOLO			NEOSSOLO FLÚVICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd2, CXbd3, CXbd4, CXbd5, CXbd5+CXbd1, CXbd9			LAd1, LAd1+ CXbd5, LAd2, LAdf1, LAw1, LAw2			LVAd1, LVAw1, LVAd2			LVd1, LVw1			PAd1, PVAd3			RUbd2, RUbd3, RUbd4, Rube + RUbd1		
Material de origem	Gnaisse e granito gnaisse, sedimentos coluvio-aluviais			Gnaisse e granito gnaisse			Gnaisse e granito gnaisse			Gnaisse e granito gnaisse			-			Sedimentos aluviais recentes		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
Espessura, cm	23	78,8	14,2	17	80,9	9,7	7	76,7	16,7	5	68,6	18,5	2	79,0	7,2	6	76,5	10,3
Índice vermelho	22	4,7	64,9	17	0,6	162,9	6	3,0	51,9	4	3,0	71,6	2	0,0	-	6	0,6	244,9
Densidade do solo, g cm ³	23	1,1	11,3	17	1,1	6,9	7	1,1	11,6	5	1,0	12,3	2	1,3	12,7	6	1,2	18,5
Densidade de partícula, g cm ⁻³	21	2,6	2,5	16	2,6	4,7	7	2,6	3,3	5	2,7	2,3	2	2,7	1,1	5	2,6	2,7
Porosidade, %	21	56,6	9,2	16	58,7	6,3	7	59,5	9,4	5	63,8	7,6	2	50,6	11,4	6	47,7	16,9
Areia grossa, dag kg ⁻¹	23	14,7	45,3	17	16,2	42,4	7	13,6	19,2	5	12,0	25,2	2	27,3	3,7	6	23,6	46,1
Areia fina, dag kg ⁻¹	23	10,6	25,5	17	11,0	26,2	7	8,7	26,0	5	7,6	37,6	2	9,9	19,7	6	13,7	45,5
Areia total, dag kg ⁻¹	23	25,4	31,4	17	25,8	42,5	7	22,3	19,9	5	19,6	24,4	2	37,2	8,0	6	37,3	40,8
Silte, dag kg ⁻¹	23	25,1	70,9	16	3,5	45,9	7	5,1	47,2	5	5,1	58,0	2	5,4	31,5	6	33,3	37,6
Argila, dag kg ⁻¹	23	49,6	36,5	17	69,6	14,4	7	72,6	8,8	5	75,2	8,4	2	57,4	2,2	6	29,4	60,5
Silte+argila, dag kg ⁻¹	23	74,6	10,7	17	72,9	12,0	7	77,7	5,7	5	80,4	6,0	2	62,8	4,7	6	62,7	24,3
Floculação, %	8	79,6	22,2	3	25,2	34,1	4	53,0	40,8	4	74,4	46,7	2	72,3	41,3	1	94,5	-
Dispersão, %	8	20,4	86,7	3	74,8	11,5	4	47,0	46,0	4	25,6	136,1	2	27,7	107,7	1	5,5	-
Silte/argila	23	0,9	112,7	16	0,1	66,0	7	0,1	55,4	5	0,1	64,1	2	0,1	28,0	6	1,9	49,9

n = número de perfis

Quadro 20 – Produtividade e características químicas do horizonte A dos solos da regional Virgíópolis

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS																	
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			NEOSSOLO FLÚVICO			PLINTOSSOLO PÉTRICO E HÁPLICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd1+ FFcd, CXbd5, CXbd5+CXbd1			LAd1, LAw1, LAw2, LAwf			LVAd1, LVAd3, LVAw1, LVAw1+LAw1			LVd1, LVd2, LVw1, LVwf1			RUbd5, RUbd6, Rube + RUbd1			FFcd, FXd1		
Material de origem	Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos coluvio-aluviais			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss e siltitos			Gnaiss e granito gnaiss			Sedimentos aluviais recentes			Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos coluvio-aluviais		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
IMA, m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	13	40,2	29,8	7	48,1	29,9	12	39,2	24,4	13	39,2	25,8	4	30,3	34,5	1	25,6	-
pH (água)	13	4,6	7,0	7	4,7	8,8	11	4,6	4,9	13	4,7	7,3	4	4,7	3,1	1	4,5	-
pH (KCl)	13	4,2	3,8	7	4,2	3,0	11	4,3	7,7	13	4,2	3,5	4	4,0	3,0	1	4,0	-
ΔpH	13	-0,4	74,5	7	-0,5	-82,5	11	-0,2	147,3	13	-0,5	64,1	4	-0,7	19,5	1	-0,5	-
MOS, dag kg ⁻¹	13	3,8	24,7	7	5,2	23,2	11	4,2	24,7	13	5,0	27,0	4	4,3	31,3	1	4,0	-
P, mg kg ⁻¹	13	2,2	35,7	7	2,3	30,5	11	1,9	22,4	13	1,9	31,7	4	4,1	58,7	1	1,6	-
K, mg kg ⁻¹	13	27,5	54,6	7	22,9	25,9	11	25,4	26,7	13	29,6	58,5	4	58,1	41,5	1	19,0	-
Na, mg kg ⁻¹	13	4,6	48,0	7	6,9	53,4	11	3,8	50,8	13	5,3	66,1	4	13,8	49,6	1	3,0	-
Ca, cmol _c kg ⁻¹	13	0,2	249,0	7	0,1	66,4	11	0,1	94,3	13	0,1	74,4	4	0,6	60,4	1	0,0	-
Mg, cmol _c kg ⁻¹	13	0,1	191,6	7	0,1	36,7	11	0,1	63,1	13	0,1	52,9	4	0,5	30,3	1	0,1	-
Al, cmol _c kg ⁻¹	13	1,5	37,3	7	1,5	42,6	11	1,4	20,5	13	1,6	38,3	4	1,5	54,7	1	2,7	-
H+Al, cmol _c kg ⁻¹	13	8,4	29,0	7	10,0	18,9	11	8,4	17,7	13	8,4	20,9	4	9,7	36,8	1	9,1	-
S, cmol _c kg ⁻¹	13	0,4	179,6	7	0,2	23,0	11	0,3	63,6	13	0,2	48,4	4	1,3	16,7	1	0,1	-
t, cmol _c kg ⁻¹	13	1,9	34,2	7	1,7	38,9	11	1,8	18,1	13	1,8	37,1	4	2,9	25,9	1	2,9	-
T, cmol _c kg ⁻¹	13	8,8	27,9	7	10,2	18,6	11	8,8	16,0	13	8,6	21,0	4	11,0	31,2	1	9,2	-
Tc, cmol _c kg ⁻¹	13	15,2	27,5	7	13,9	14,7	11	14,4	12,5	13	13,6	29,8	4	16,6	10,8	1	12,9	-
V, %	13	4,3	173,9	7	2,1	26,0	11	4,2	70,3	13	2,7	42,9	4	13,7	50,4	1	1,6	-
m, %	13	83,3	25,2	7	85,9	5,7	11	80,4	15,3	13	86,7	5,7	4	50,0	38,3	1	94,8	-
Zn, mg kg ⁻¹	13	0,4	75,7	7	0,3	28,2	11	0,3	38,8	13	0,4	47,9	4	1,1	37,6	1	0,2	-
Cu, mg kg ⁻¹	13	0,3	119,4	7	0,1	84,5	11	0,2	71,5	13	0,2	72,2	4	1,4	39,6	1	0,3	-
Fe, mg kg ⁻¹	13	86,1	64,3	7	78,0	42,0	11	70,1	31,5	13	82,7	54,7	4	262,9	79,1	1	93,6	-
Mn, mg kg ⁻¹	13	6,4	248,6	7	1,8	75,8	11	3,2	88,3	13	1,8	51,6	4	16,6	70,6	1	1,1	-
P-rem, mg L ⁻¹	13	7,4	66,0	7	4,3	47,9	11	8,1	70,5	12	7,2	46,9	4	11,4	63,4	1	10,9	-

n = número de perfis

Quadro 21 – Características físicas do horizonte A dos solos da regional Virginópolis

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS																	
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			NEOSSOLO FLÚVICO			PLINTOSSOLO PÉTRICO e HÁPLICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd1+ FFcd, CXbd5, CXbd5+CXbd1			LAd1, LAw1, LAw2, LAwf			LVAd1, LVAd3, LVAw1, LVAw1+LAw1			LVd1, LVd2, LVw1, LVwf1			RUbd5, RUbd6, Rube + RUbd1			FFcd, FXd1		
Material de origem	Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos colúvio-aluviais			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss e siltos			Gnaiss e granito gnaiss			Sedimentos aluviais recentes			Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos colúvio-aluviais		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
Espessura, cm	13	29,2	51,9	7	25,1	35,4	12	18,2	16,1	13	23,1	40,2	3	15,0	63,6	1	23,0	-
Índice vermelho	13	4,2	47,4	6	0,6	244,9	12	1,9	108,0	13	4,4	58,3	3	0,0	-	1	0,0	-
Densidade do solo, g cm ⁻³	11	0,9	13,6	6	0,8	8,7	11	0,9	16,3	12	0,8	15,9	3	1,1	26,5	1	1,1	-
Densidade de partícula, g cm ⁻³	13	2,5	6,6	7	2,5	7,4	11	2,5	5,5	13	2,5	3,6	4	2,5	8,3	1	2,6	-
Porosidade, %	11	55,1	33,1	6	58,4	39,4	11	62,9	7,5	12	65,9	7,9	3	59,0	14,4	1	57,8	-
Areia grossa, dag kg ⁻¹	13	21,4	45,0	7	14,9	57,6	11	21,2	40,6	13	16,8	42,7	4	15,5	128,5	1	12,2	-
Areia fina, dag kg ⁻¹	13	11,5	33,6	7	8,8	46,4	11	9,0	32,9	13	8,9	25,3	4	5,8	58,8	1	10,9	-
Areia total, dag kg ⁻¹	13	33,0	25,9	7	20,8	58,2	11	30,2	35,5	13	25,7	34,2	4	21,3	104,9	1	23,1	-
Silte, dag kg ⁻¹	13	8,7	27,5	7	3,0	88,9	11	7,8	83,6	13	8,9	94,1	4	11,8	30,7	1	5,2	-
Argila, dag kg ⁻¹	13	58,4	15,1	7	73,8	13,0	11	62,0	19,0	13	65,4	15,2	4	67,0	34,1	1	71,7	-
Silte+argila, dag kg ⁻¹	13	67,0	12,7	7	76,8	11,7	11	69,8	15,4	13	74,3	11,8	4	78,8	28,4	1	76,9	-
Floculação, %	7	32,1	12,9	4	47,1	11,4	5	37,6	26,8	5	36,3	14,6	3	30,0	22,4	-	-	-
Dispersão, %	7	67,9	6,1	4	52,9	10,2	5	62,4	16,1	5	63,7	8,3	3	70,0	9,6	-	-	-
Silte/argila	13	0,2	31,8	6	13,5	243,9	11	0,1	94,6	13	0,2	108,9	4	0,2	43,8	1	13,8	-

n = número de perfis

Quadro 22 – Características químicas dos horizontes sub superficiais diagnóstico B ou C dos solos da regional Virginópolis

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS														
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			NEOSSOLO FLÚVICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd1+ FFcd, CXbd5, CXbd5+CXbd1			LAd1, LAw1, LAw2, LAwf			LVAd1, LVAd3, LVAw1, LVAw1+LAw1			LVd1, LVd2, LVw1, LVwf1			RUbd5, RUbd6, Rube + RUbd1		
Material de origem	Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos colúvio-aluviais			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss e siltitos			Gnaiss e granito gnaiss			Sedimentos aluviais recentes		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
pH (água)	13	4,9	7,4	7	4,7	7,1	11	4,8	5,3	13	4,9	5,9	4	5,1	4,8
pH (KCl)	13	4,4	3,5	7	4,7	7,6	11	4,5	3,8	13	4,6	4,6	4	4,5	8,3
ΔpH	13	-0,5	76,9	7	0,1	940,5	11	-0,3	72,9	13	-0,3	65,7	4	-0,7	53,4
MOS, dag kg ⁻¹	13	1,7	33,9	7	1,9	33,0	11	1,8	21,9	13	1,7	26,4	4	1,0	24,5
P, mg kg ⁻¹	12	0,7	45,0	7	0,6	46,6	11	0,5	36,1	12	0,4	50,2	4	1,1	83,5
K, mg kg ⁻¹	13	9,9	92,1	7	3,5	59,9	11	9,7	57,7	13	7,4	83,7	4	10,0	57,7
Na, mg kg ⁻¹	13	2,4	90,8	7	1,5	35,0	11	2,0	58,1	13	2,1	55,8	4	3,1	31,0
Ca, cmol _c kg ⁻¹	13	0,1	255,2	7	0,0	67,3	11	0,0	87,2	13	0,0	77,3	4	0,1	98,1
Mg, cmol _c kg ⁻¹	13	0,1	219,4	7	0,0	70,2	11	0,1	54,1	13	0,0	50,7	4	0,1	32,2
Al, cmol _c kg ⁻¹	13	0,6	45,7	7	0,6	76,9	11	0,6	48,0	13	0,5	63,7	4	0,6	72,8
H+Al, cmol _c kg ⁻¹	13	4,2	35,0	7	4,8	39,0	11	4,8	11,8	13	4,1	23,2	4	3,5	42,2
S, cmol _c kg ⁻¹	13	0,2	200,6	7	0,1	46,2	11	0,1	46,5	13	0,1	44,9	4	0,2	53,5
t, cmol _c kg ⁻¹	13	0,8	53,4	7	0,7	71,2	11	0,7	45,6	13	0,5	57,7	4	0,9	47,7
T, cmol _c kg ⁻¹	13	4,4	33,9	7	4,8	38,5	11	4,9	12,2	13	4,2	22,9	4	3,7	37,0
Tc, cmol _c kg ⁻¹	13	7,5	41,6	7	7,1	48,4	11	7,1	17,2	13	5,9	24,2	4	7,3	47,8
V, %	13	3,5	182,8	7	1,5	76,3	11	2,2	38,3	13	1,6	43,8	4	7,7	73,5
m, %	13	82,6	21,0	7	89,2	7,0	11	81,4	11,3	13	82,8	13,7	4	61,8	44,0
Zn, mg kg ⁻¹	13	0,2	98,3	7	0,1	31,8	11	0,1	52,5	13	0,2	80,4	4	0,2	16,9
Cu, mg kg ⁻¹	13	0,2	100,7	7	0,1	121,8	11	0,2	71,9	12	0,2	90,5	4	1,1	11,6
Fe, mg kg ⁻¹	13	73,2	86,0	7	37,5	44,5	11	49,8	39,2	13	49,3	34,3	4	103,8	64,7
Mn, mg kg ⁻¹	13	1,8	122,8	7	0,7	66,0	11	1,2	46,5	13	0,8	47,3	4	1,0	85,8
P-rem, mg L ⁻¹	13	7,8	61,4	7	3,1	72,7	11	4,8	73,5	13	7,3	64,5	4	9,9	59,1

n = número de perfis

Quadro 23 – Características físicas sub superficiais diagnóstico B ou C dos solos da regional Virginópolis

Característica	CLASSES DE SOLOS PRINCIPAIS																	
	CAMBISSOLO HÁPLICO			LATOSSOLO AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			LATOSSOLO VERMELHO			NEOSSOLO FLÚVICO			PLINTOSSOLO PÉTRICO e HÁPLICO		
Unidades de mapeamento	CXbd1, CXbd1+ FFcd, CXbd5, CXbd5+CXbd1			LAd1, LAw1, LAw2, LAwf			LVAd1, LVAd3, LVAw1, LVAw1+LAw1			LVd1, LVd2, LVw1, LVwf1			RUbd5, RUbd6, Rube + RUbd1			FFcd, FXd1		
Material de origem	Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos coluvio-aluviais			Gnaiss e granito gnaiss			Gnaiss e granito gnaiss e siltos			Gnaiss e granito gnaiss			Sedimentos aluviais recentes			Gnaiss e granito gnaiss, sedimentos coluvio-aluviais		
	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)	n	Média	CV (%)
Espessura, cm	13	63,8	28,4	7	71,3	18,1	12	81,8	3,6	13	74,2	20,9	3	85,0	11,2	1	47,0	-
Índice vermelho	13	4,9	34,9	6	1,0	111,3	12	3,0	35,3	12	4,4	35,0	4	6,6	200,0	1	4,2	-
Densidade do solo, g cm ⁻³	11	1,0	20,7	6	1,0	18,2	11	0,9	14,8	10	0,9	8,4	4	1,0	22,1	1	0,8	-
Densidade de partícula, g cm ⁻³	13	2,5	11,8	7	2,7	4,6	11	2,5	11,1	13	2,6	4,2	4	2,4	16,3	1	2,5	-
Porosidade, %	11	45,3	32,5	6	57,7	20,8	11	50,3	32,7	11	38,8	55,8	4	45,0	42,8	1	67,0	-
Areia grossa, dag kg ⁻¹	13	15,7	33,4	7	10,2	44,8	11	14,6	48,6	13	12,1	48,0	4	10,2	129,9	1	8,0	-
Areia fina, dag kg ⁻¹	13	10,0	16,3	7	6,3	34,1	11	7,2	14,5	13	7,9	29,3	4	6,8	70,2	1	9,1	-
Areia total, dag kg ⁻¹	13	25,7	20,3	6	14,2	10,5	11	21,8	35,3	13	20,1	38,1	4	16,9	102,0	1	17,1	-
Silte, dag kg ⁻¹	13	12,2	79,7	7	9,0	180,0	11	7,2	54,1	13	7,5	121,3	4	25,7	22,8	1	1,7	-
Argila, dag kg ⁻¹	13	62,1	17,6	7	74,5	24,0	11	71,0	11,2	13	72,4	15,1	4	57,2	24,1	1	81,2	-
Silte+argila, dag kg ⁻¹	13	74,3	7,0	7	83,5	7,6	11	78,2	9,8	13	79,9	9,6	4	82,9	20,8	1	82,9	-
Floculação, %	7	25,8	63,2	4	49,9	69,1	5	23,5	41,8	5	28,8	51,0	3	64,2	13,4			-
Dispersão, %	7	74,2	22,0	4	50,1	68,7	5	76,5	12,9	5	62,3	55,3	3	37,6	29,3			-
Silte/argila	13	0,3	157,0	7	0,3	232,7	11	0,1	61,5	13	0,1	181,0	4	0,4	45,2	1	0,0	-

n = número de perfis

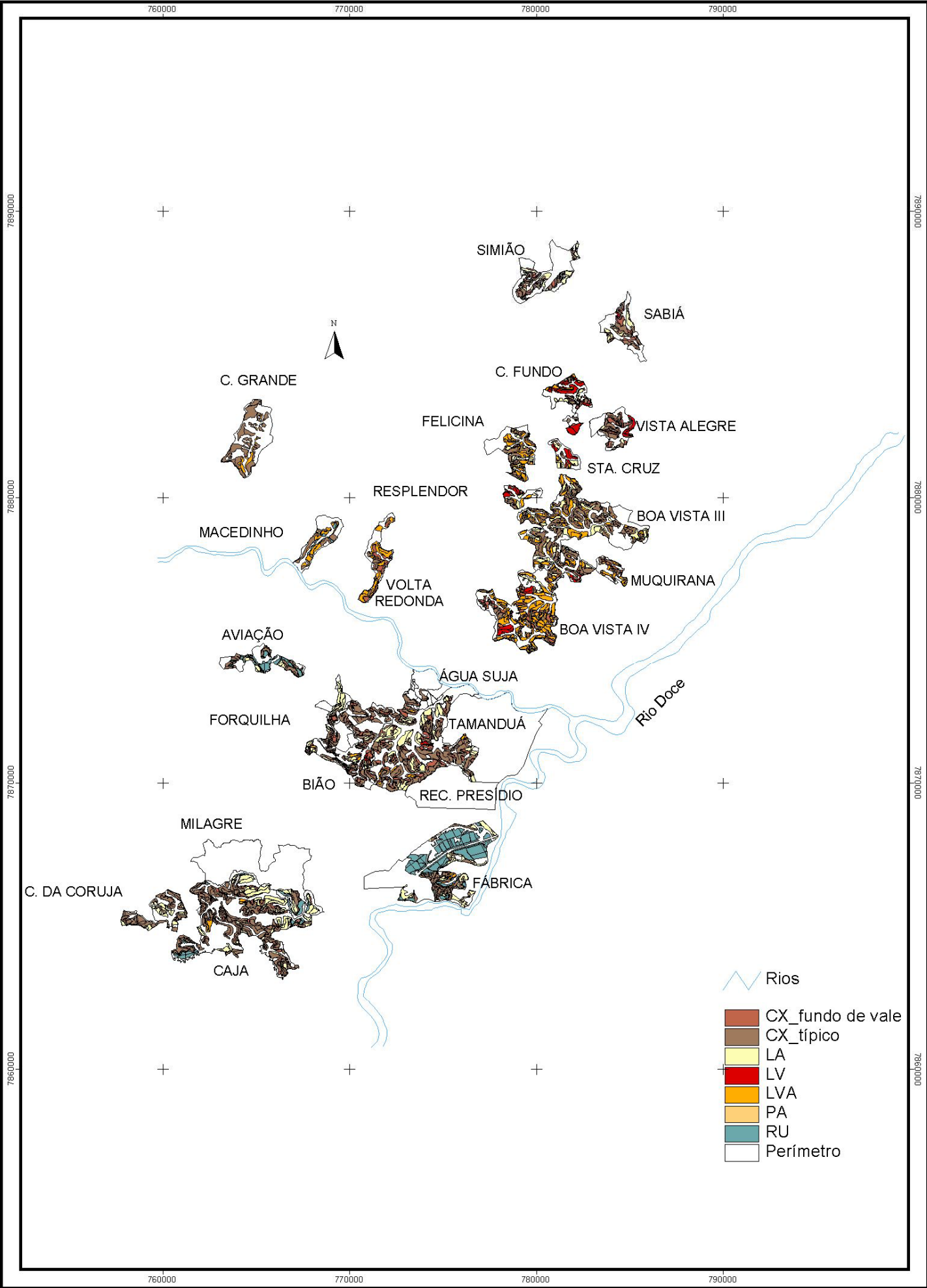


Figura 4 - Mapa pedológico da regional Belo Oriente.

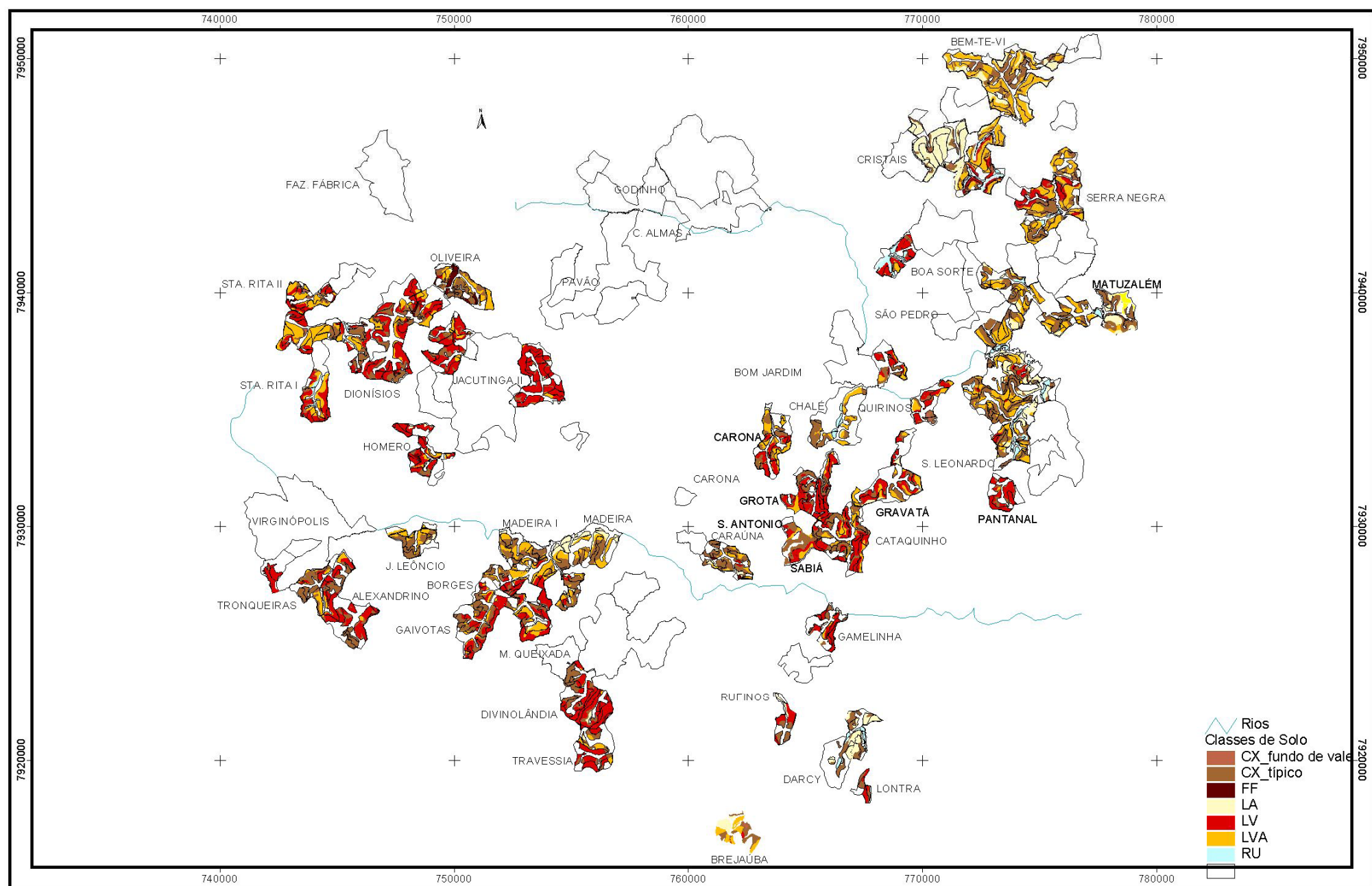


Figura 5 - Mapa pedológico da regional Virgnópolis.

Nos projetos mais produtivos de Belo Oriente (BO), há predomínio de Cambissolo Háplico típico (CX_típico) e Cambissolo Háplico de fundo de vale (CX_fv) sobre os Latossolos (Quadro 24), enquanto que nos projetos menos produtivos (Quadro 24) a área relativa de Latossolos é ligeiramente maior que os Cambissolos. Nestes projetos, as áreas de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Vermelho (LV) são maiores que nas áreas dos projetos mais produtivos, enquanto que o predomínio da classe Latossolo Amarelo (LA) é ligeiramente maior nas áreas mais produtivas. Há ainda a ocorrência de Neossolos Flúvicos, nos projetos mais produtivos, classe que não ocorre nos projetos menos produtivos.

Em Virginópolis (VG), a classe Latossolo é predominante tanto em projetos mais como nos menos produtivos. Nos projetos menos produtivos há aumento da área de LV em detrimento de LA, este tem maior área relativa em projetos mais produtivos (Quadro 24).

Quadro 24 – Área (ha) das classes de solos predominantes das regionais Belo Oriente (BO) e Virginópolis (VG) nas áreas da CENIBRA, em projetos classificados como mais e menos produtivos

Classes de solo	VG				BO			
	Projetos mais produtivos		Projetos menos produtivos		Projetos mais produtivos		Projetos menos produtivos	
	IMA = 46,3		IMA = 28,1		IMA = 28,9		IMA = 24,0	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
CX_típico	1.387,6	34,9	462,3	29,8	2.196,3	49,8	1.332,6	43,0
CX_fundo de vale	10,6	0,3			330,0	7,5	222,0	7,2
LA	688,7	17,3	45,7	2,9	812,9	18,4	490,2	15,8
LVA	1.172,9	29,5	349,7	22,5	227,8	5,2	870,0	28,1
LV	635,0	16,0	596,3	38,4	36,0	0,8	185,1	6,0
FF e FX			40,4	2,6				
RU	77,4	1,9	59,3	3,8	809,4	18,3		
CAMBISSOLO	1.398,2	35,2	462,3	29,8	2.526,3	57,3	1.554,5	50,1
LATOSSOLO	2.496,6	62,9	991,7	63,8	1.076,6	24,4	1.545,2	49,9
TOTAL	3.972,2		1.553,7		4.412,4		3.099,7	

IMA = Incremento médio anual $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$

Assim, a produtividade de tronco em VG está mais relacionada à classe Latossolos. Em BO não pode se fazer tal afirmativa, principalmente para os projetos classificados como menos produtivos, tendo em vista serem as áreas de Latossolo e Cambissolo muito similares. Para os projetos mais produtivos é provável que as parcelas de inventários estejam alocadas em Cambissolos, já que nestes projetos há predomínio desta classe. No entanto, pode-se ainda inferir que como as áreas de CX_fv, LA e LV são mais planas é possível que as parcelas de inventários estejam alocadas nestas áreas, de relevo menos acidentado, o que facilita a mensuração. Para a localidade BO vê-se no trabalho de Leite e Garcia (2001), realizado em áreas da CENIBRA S.A., que as mensurações foram feitas com maior frequência, em árvores localizadas em declividade média em torno de 16° (38% de declividade). Neste declive predominam os LA, LV e CX_fv e nos declives superiores a 20° estão os LVA e CX_típicos.

Assim, vê-se que para BO há maior necessidade de georreferenciamento das parcelas de inventário, com a finalidade de obter a produtividade média do projeto atrelada a um determinado tipo de solo, e ao mesmo tempo buscar aplicar outros tipos de fase para a classe Cambissolo, além da posição no relevo, como utilizada neste trabalho, com a finalidade de entender as variações na produtividade dentro desta classe, visto ser ela predominante em toda a regional.

Porém, pode-se propor que a diminuição na produtividade seja reflexo do aumento da área das classes LVA e LV e a não ocorrência da classe RU nos projetos classificados como menos produtivos em BO (Quadro 25).

Para VG vê-se, em termos relativos, que a área de LV é muito maior em projetos menos produtivos, que a classe LA tem maior representatividade em projetos mais produtivos e a LVA tem área relativa similar em ambos (Quadro 26). Para a região de VG, nos projetos classificados como mais produtivos a área relativa de LA sobre as outras classes é maior. Além da classe LA, parece que a associação desta com LVA está mais bem relacionada a áreas mais produtivas de VG.

A relação entre a área relativa de LA e o aumento de produtividade, em VG pode ser também verificada por meio dos coeficientes de correlação positivos e significativos entre estas duas variáveis (Quadro 27).

Quadro 25 – Área relativa das classes de solos predominantes nos projetos mais e menos produtivos da região Belo Oriente

Projetos menos produtivos				Projetos mais produtivos			
Nome	IMA	Classe de solo	Área relativa (%)	Nome	IMA	Classe de solo	Área relativa (%)
Boa Vista III	25,4	CX_típico	55,5	Água Suja	27,6	CX_fv	17,1
		LA	20,0			CX_típico	60,8
		LVA	24,5			LA	18,6
Boa Vista IV	23,6					LV	0,7
		CX_fv	10,4			LVA	2,9
		CX_típico	32,6	Aviação	31,7	CX_típico	45,1
		LA	15,1			LA	13,0
		LV	6,3			RU	41,9
		LVA	45,3	Bião	29,3	CX_fv	19,0
Córrego da Coruja	23,1	CX_fv	3,0			CX_típico	57,8
		CX_típico	79,5			LA	16,0
		LA	27,5			LV	2,1
Córrego Fundo	23,1					LVA	5,1
		CX_fv	9,2	Cajá	28,6	CX_fv	6,0
		CX_típico	18,9			CX_típico	63,3
		LA	11,6			LA	22,9
		LV	50,8			LVA	2,0
Felicina	25,1					RU	5,8
		CX_típico	39,2	Córrego Grande	28,0	CX_típico	84,1
		LA	14,3			LVA	15,9
Sabiá	23,6			Fábrica	29,3		
		LVA	46,5			CX_típico	18,8
		CX_fv	22,6			LA	18,3
		CX_típico	51,5			LVA	2,2
Simião	24,3					RU	60,7
		LA	35,9	Macedinho	28	CX_típico	47,9
		CX_típico	55,2			LVA	35,5
		LA	35,9			PA	2,4
Santa Cruz	24,9					RU	14,1
		CX_típico	17,7	Milagre	28,6	CX_fv	2,9
		LA	32,7			CX_típico	32,0
		LV	36,8			LA	31,8
Volta Redonda	24,3					RU	33,3
		LVA	12,8	Muquirana	29,3	CX_fv	17,3
		CX_fv	26,7			CX_típico	41,1
						LVA	41,7
		CX_típico	18,5	Resplendor	29,3	CX_típico	31,6
		LVA	54,8			LA	20,1
						LV	28,4
						LVA	19,9

Quadro 26 – Área relativa das classes de solos predominantes nos projetos mais e menos produtivos da região Virginópolis

Projetos menos produtivos				Projetos mais produtivos			
Nome	IMA	Classe de solo	Área relativa (%)	Nome	IMA	Classe de solo	Área relativa (%)
Chalé	27,0	CX_típico	40,6	Bem-te-vi	44,0	CX_típico	28,4
		LA	7,1			LA	21,4
		LVA	39,2			LVA	71,2
Dionísios	28,0	CX_típico	25,7	Boa Vista	41,0	CX_típico	32,0
		LA	0,4			LA	32,1
		LV	56,6			LV	6,5
		LVA	15,2			LVA	25,7
Divinolândia	32,0	CX_típico	34,6	Borges	45,0	CX_típico	30,7
		LA	2,5			LV	48,9
		LV	54,5			LVA	20,4
		LVA	8,3	Cataquinho	44,0	CX_típico	32,0
Horácio	17,0	CX_típico	14,6			LV	52,3
		LA	6,0			LVA	15,7
		LV	23,1	Cristais	75,0	CX_típico	17,7
LVA	41,4	LA	75,9				
Lontra	28,0	CX_típico	55,3			LVA	6,3
		LV	44,7	Gaivotas	42,0	CX_típico	47,4
Oliveira	25,5	CX_típico	44,8			LV	36,5
		LA	1,4			LVA	16,1
		LV	1,7	Madeira I	40,0	CX_típico	35,4
		LVA	36,7			LA	2,4
			LV			8,4	
			LVA			53,9	
			Matuzalém	44,0	CX_típico	57,8	
LA	38,3						
LVA	3,8						
				São Leonardo	41,0	CX_típico	42,6
						LA	12,6
						LV	2,0
						LVA	33,6
				Serra Negra	47,0	CX_típico	34,3
						LA	0,9
						LV	22,6
						LVA	38,7

Quadro 27 – Coeficientes de correlação entre a área relativa das classes de solo predominantes nos projetos mais e menos produtivos e IMA, para as localidades Belo Oriente e Virginópolis

Classe de solo	VG		RD	
	n	r	n	r
CX_típico	16	-0,23 ^{ns}	19	0,08 ^{ns}
CX_fundo de vale	-	-	11	0,07 ^{ns}
LA	12	0,81*	15	-0,23 ^{ns}
LVA	12	-0,11 ^{ns}	14	-0,41 ^{ns}
LV	15	-0,24 ^{ns}	7	-0,28 ^{ns}
RU	-	-	5	0,51 ^{ns}

* significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo

É importante ressaltar que toda a preocupação de definição do predomínio de que classes compõem os projetos estudados, se deve ao fato de que não há uma correlação estreita da produtividade com características dos solos, ou seja, não se pode explicar bem a variação na produtividade das áreas por meio de uma ou duas características dos solos.

Por outro lado é interessante entender que a classe de solo em essência integra todos os atributos e características do solo que podem influenciar o crescimento de uma planta, principalmente plantas perenes, haja vista que estas exploram maior volume do solo e por mais tempo.

Segundo Neves (2000) espera-se que uma maior produtividade da cultura do eucalipto seja resultante de maior aquisição de recursos do ambiente, e ou de utilização mais eficiente dos mesmos pelas plantas; dentre eles, o carbono proveniente da fotossíntese, a água e os nutrientes minerais do solo. Considerando uma mesma capacidade fotossintética para as plantas de um povoamento e a mesma partição de carbono para o sistema radicular, é fato que se o solo possui limitações para emissão de raízes, a aquisição dos recursos água e nutrientes será prejudicada, o que deve resultar em diminuição de produtividade. Assim, todas as características que influenciam o crescimento das árvores devem ser estudadas de modo integrado com a finalidade de entender a influência do perfil do solo na produtividade.

4.3.1. Relações entre classe de solo, características morfológicas e fisiografia

4.3.1.1 – Região de Belo Oriente

Os Cambissolos típicos da região de Belo Oriente nos projetos mais produtivos são mais rasos, possuem um teor de nutrientes extraído por ataque sulfúrico maior e são menos intemperizados, visto o maior Ki, do que os CX_típicos dos projetos menos produtivos (Quadro 28). De modo geral possuem o mesmo tipo, tamanho e grau de estrutura nos horizontes A e B, diferindo apenas no tamanho da estrutura do horizonte A, que nos projetos mais produtivos são menores. Quanto ao relevo, tanto nos projetos mais como nos menos produtivos predominam nas posições de meia encosta e são representados pelas mesmas unidades de mapeamento CXbd5 (CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, textura muito argilosa, A proeminente ou moderado, álico, caulinítico, hipoférrico ou mesoférrico) e CXbd1(CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa ou argilosa, A moderado, álico, caulinítico, hipoférrico ou mesoférrico).

Nos projetos menos produtivos há ainda a unidade de mapeamento CXbd9 (CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, textura média/argilosa, A proeminente ou moderado, caulinítico, hipoférrico ou mesoférrico) que se difere das demais pela textura que varia de média a argilosa.

Assim parece que para esta classe o teor de nutrientes obtidos por meio do ataque sulfúrico deva ser a característica que mais influencia a obtenção de maiores produtividades na região de Belo Oriente. Para potássio, por exemplo, a contribuição de formas não-trocáveis desse nutriente às plantas foi observada por diversos autores (Patela, 1980, Nachtigall & Vahl, 1991, Melo, 1994), portanto o conhecimento da reserva total do solo, é importante para a avaliação da disponibilidade a médio e a longo prazo (Mielniczuk, 1977; Ricci, 1989, Nachtigall & Vahl, 1991) e há boa correlação ($r=0,97$) entre o teor total deste elemento e o teor obtido pelo ataque sulfúrico (Amaral, 1999). Neste raciocínio, pode-se conceber a idéia de haver, para outros nutrientes, uma contribuição do teor não-trocável no suprimento às plantas.

Para os CX_fv (Quadros 28 e 29) o padrão é diferente. Os perfis descritos para CX_fv nos projetos mais produtivos são mais profundos, menos intemperizados e possuem menores teores de nutrientes trocáveis e obtidos por meio do ataque sulfúrico. No entanto, apresentam tipo de estrutura do solo similar à dos CX_típicos, já que nos projetos mais produtivos a estrutura do horizonte A é de tamanho menor. Apesar de terem estruturas semelhantes, os CX_fv tem maior densidade no horizonte A e B, quando comparado aos CX_típicos. Quando comparada a densidade do solo, horizontes A e B, entre os projetos mais produtivos e menos produtivos, vê-se que os mais produtivos tem menor densidade e, além disso, pelas características que descrevem a área apresentam alguma restrição à drenagem. Desse modo, pode-se inferir que para os CX_fv a maior densidade diminui a infiltração de água no solo e a interação entre estas características afetam negativamente o crescimento de raízes, o que pode estar promovendo redução na produtividade, o que é corroborado pelos trabalho de Santana (1986) e Teixeira (1987) que explicam menor crescimento de plantas em áreas de baixada pela dificuldade da drenagem, apesar do maior teor de nutrientes, quando comparado às áreas de topo.

Quadro 28 – Características dos Cambissolos Típicos, da regional Belo Oriente, em projetos classificados como mais e menos produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 24,4)	Projetos mais produtivos (IMA =28,4)	Projetos menos produtivos (IMA = 24,4)	Projetos mais produtivos (IMA =28,4)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	15,00	16,11	151,50	125,78
MOS, dag kg ⁻¹	1,33	2,87	0,97	0,98
P, mg kg ⁻¹	1,17	3,39	1,02	0,74
K, mg kg ⁻¹	24,64	43,07	15,52	15,42
Ca, cmol _c kg ⁻¹	1,05	0,63	0,51	0,11
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,27	0,19	0,26	0,05
Al, cmol _c kg ⁻¹	0,50	1,69	0,47	1,30
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	3,27	8,09	3,54	4,32
S, cmol _c kg ⁻¹	1,40	0,99	0,85	0,21
t, cmol _c kg ⁻¹	1,90	2,68	1,32	1,51
Zn, mg kg ⁻¹	0,48	1,15	0,20	0,39
Cu, mg kg ⁻¹	0,72	0,82	1,47	1,08
Fe, mg kg ⁻¹	51,20	103,82	42,72	95,47
Mn, mg kg ⁻¹	35,11	39,48	18,95	8,43
P _{rem} , mg L ⁻¹	14,53	14,48	9,84	11,08
Densidade do solo, g dm ⁻³	1,14	1,06	1,09	1,08
Porosidade, %	54,75	58,67	58,31	59,00
Areia grossa, dag kg ⁻¹	26,98	17,28	18,46	11,96
Areia fina, dag kg ⁻¹	12,17	11,74	10,43	10,28
Areia total, dag kg ⁻¹	39,15	29,02	28,89	22,24
Silte, dag kg ⁻¹	23,76	20,05	19,42	18,71
Argila, dag kg ⁻¹	37,09	50,93	51,69	59,05
SiO ₂ , %			17,40	23,97
P ₂ O ₅ , %			0,08	0,08
Fe ₂ O ₃ , %			9,23	9,29
Al ₂ O ₃ , %			21,12	22,10
MnO, mg kg ⁻¹			637,85	86,89
CaO, mg kg ⁻¹			131,91	180,20
MgO, mg kg ⁻¹			239,54	135,55
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			78,58	165,43
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			33,66	33,89
Ki			1,43	2,00
Kr			1,11	1,52

IMA = Incremento médio anual m³ha⁻¹ano⁻¹

Quadro 29 – Características dos Cambissolos fundo de vale, da regional Belo Oriente, em projetos classificados como mais e menos produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 23,5)	Projetos mais produtivos (IMA =27,8)	Projetos menos produtivos (IMA = 23,5)	Projetos mais produtivos (IMA =27,8)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	18,75	20,50	124,67	161,50
MOS, dag kg ⁻¹	2,38	2,05	0,50	0,71
P, mg kg ⁻¹	1,52	2,18	0,51	0,54
K, mg kg ⁻¹	83,75	38,52	24,63	6,34
Ca, cmol _c kg ⁻¹	2,34	1,39	0,78	0,16
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,52	0,42	0,24	0,09
Al, cmol _c kg ⁻¹	0,48	0,81	0,66	0,75
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	2,85	4,36	1,52	2,52
S, cmol _c kg ⁻¹	3,09	1,96	1,10	0,29
t, cmol _c kg ⁻¹	3,57	2,77	1,75	1,04
Zn, mg kg ⁻¹	1,53	1,56	0,28	0,17
Cu, mg kg ⁻¹	1,22	0,53	1,37	0,77
Fe, mg kg ⁻¹	32,53	64,98	27,73	84,64
Mn, mg kg ⁻¹	79,26	89,93	13,34	9,87
P _{rem} , mg L ⁻¹	18,39	17,21	15,17	20,22
Densidade do solo, g dm ⁻³	1,24	1,12	1,25	1,27
Porosidade, %	50,59	54,36	52,29	51,24
Areia grossa, dag kg ⁻¹	20,40	27,69	10,73	25,48
Areia fina, dag kg ⁻¹	12,73	13,60	10,36	10,73
Areia total, dag kg ⁻¹	33,13	41,28	21,09	36,22
Silte, dag kg ⁻¹	14,23	14,93	49,84	42,78
Argila, dag kg ⁻¹	52,64	43,78	29,08	21,00
SiO ₂ , %			23,19	22,01
P ₂ O ₅ , %			0,11	0,07
Fe ₂ O ₃ , %			11,52	5,78
Al ₂ O ₃ , %			29,45	17,75
MnO, mg kg ⁻¹			495,12	222,08
CaO, mg kg ⁻¹			179,50	275,36
MgO, mg kg ⁻¹			317,52	280,08
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			170,24	132,61
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			34,03	22,32
Ki			1,37	2,18
Kr			1,07	1,81

IMA = Incremento médio anual m³ha⁻¹ano⁻¹

Para a classe Latossolo, tanto os Amarelos como os Vermelho Amarelos, a espessura do solo também é menor nos projetos mais produtivos do que nos menos produtivos, além disso, assim como nos Cambissolos, o grau de intemperismo é menor nas áreas de projetos mais produtivos (Quadros 30 e 31), apesar de não apresentarem a característica de maior teor de nutrientes obtidos por meio do ataque sulfúrico como os Cambissolos, fase CX_típico

Para os Latossolos, além das características intrínsecas dos solos há um relacionamento entre o relevo e a produtividade de eucalipto nestas áreas. Os LA descritos nos projetos mais produtivos estão predominantemente em posição de topo, são representados pelas unidades de mapeamento LAd1 (LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A proeminente, álico, caulinítico, mesoférico) em 90% das áreas e LAw1 (LATOSSOLO AMARELO Ácrico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulinítico, caulinítico-oxídico mesoférico) em 10% da área. Essas unidades de mapeamento se encontram em classes de declive cujos valores máximos são 20° e 14° respectivamente.

Os LA dos projetos menos produtivos, que estão no topo ou no terço superior encosta e encontram-se associados com CX_típico. São representados pelas unidades de mapeamento LAd1 (LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A proeminente, álico, caulinítico, mesoférico) em 75% da área e LAw2 (LATOSSOLO AMARELO Ácrico típico, textura argilosa, A moderado, álico, caulinítico, caulinítico-oxídico mesoférico) em 13% da área, LAd2 (LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A proeminente, álico, caulinítico, mesoférico) em 12% da área. São encontradas em condição de declive máximo de 20° o LAd1, 14° o LAw2 e 23° do LAd2.

A mesma análise pode ser feita para a classe LVA (Quadro 31). Nos projetos mais produtivos, este tipo de solo predomina em posição de relevo meia encosta e terço inferior de encosta. Está representado pela unidade de mapeamento LVAd1 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A proeminente ou moderado, álico, caulinítico, caulinítico-oxídico ou gibbsítico-oxídico, mesoférico) associados ao grau declive máximo de 33°

Quadro 30 – Características dos Latossolos Amarelos da regional Belo Oriente, em projetos classificados como mais e menos produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 23,4)	Projetos mais produtivos (IMA =28,3)	Projetos menos produtivos (IMA = 23,4)	Projetos mais produtivos (IMA =28,3)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	19,25	14,71	185,67	174,14
MOS, dag kg ⁻¹	2,26	2,61	1,20	0,94
P, mg kg ⁻¹	1,99	2,45	0,66	0,77
K, mg kg ⁻¹	19,43	42,98	6,16	9,13
Ca, cmol _c kg ⁻¹	0,27	1,07	0,04	0,08
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,08	0,23	0,01	0,03
Al, cmol _c kg ⁻¹	1,69	1,29	1,40	1,46
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	8,70	8,14	6,38	5,26
S, cmol _c kg ⁻¹	0,41	1,43	0,08	0,14
t, cmol _c kg ⁻¹	2,10	2,72	1,48	1,60
Zn, mg kg ⁻¹	0,43	0,43	0,17	0,16
Cu, mg kg ⁻¹	0,29	0,29	0,21	0,34
Fe, mg kg ⁻¹	106,50	73,26	56,73	51,52
Mn, mg kg ⁻¹	3,52	10,49	1,77	1,46
P _{rem} , mg L ⁻¹	15,28	16,38	7,43	12,19
Densidade do solo, g dm ⁻³	1,12	1,15	1,04	1,09
Porosidade, %	57,35	55,49	60,29	59,22
Areia grossa, dag kg ⁻¹	28,18	18,67	18,67	13,69
Areia fina, dag kg ⁻¹	12,67	13,89	10,53	11,06
Areia total, dag kg ⁻¹	41,81	32,56	30,64	24,74
Silte, dag kg ⁻¹	6,38	3,74	4,56	2,99
Argila, dag kg ⁻¹	52,77	63,71	66,24	72,26
SiO ₂ , %			15,82	22,66
P ₂ O ₅ , %			0,09	0,06
Fe ₂ O ₃ , %			9,85	10,12
Al ₂ O ₃ , %			19,07	19,65
MnO, mg kg ⁻¹			87,25	72,77
CaO, mg kg ⁻¹			142,56	83,14
MgO, mg kg ⁻¹			287,61	146,86
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			124,09	119,07
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			13,51	16,79
Ki			1,37	2,14
Kr			1,03	1,55
Caulinita, %			33,33	36,28
Goethita, %			12,58	12,69
Hematita, %				
Gibbisita, %			5,54	6,69
Sílica amorfa, %				9,60

IMA = Incremento médio anual m³ha⁻¹ano⁻¹

Quadro 31 – Características dos Latossolos Vermelho-Amarelos da regional Belo Oriente, em projetos classificados como mais e menos produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 24,3)	Projetos mais produtivos (IMA = 28,3)	Projetos menos produtivos (IMA = 24,3)	Projetos mais produtivos (IMA = 28,3)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	18,50	19,50	209,25	170,50
MOS, dag kg ⁻¹	2,48	2,76	1,29	1,35
P, mg kg ⁻¹	1,03	1,92	0,53	0,48
K, mg kg ⁻¹	17,22	28,51	7,50	10,67
Ca, cmol _c kg ⁻¹	0,05	0,05	0,03	0,03
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,04	0,07	0,03	0,03
Al, cmol _c kg ⁻¹	1,60	1,68	0,78	0,84
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	8,42	8,65	4,93	4,48
S, cmol _c kg ⁻¹	0,14	0,21	0,09	0,10
t, cmol _c kg ⁻¹	1,73	1,89	0,87	0,94
Zn, mg kg ⁻¹	0,17	0,44	0,34	0,17
Cu, mg kg ⁻¹	0,20	0,20	0,20	0,16
Fe, mg kg ⁻¹	74,41	92,18	36,15	69,75
Mn, mg kg ⁻¹	2,37	2,55	1,95	1,18
P _{rem} , mg L ⁻¹	9,76	14,37	5,20	9,56
Densidade do solo, g dm ⁻³	1,06	1,04	0,98	1,22
Porosidade, %	59,01	58,53	63,11	50,62
Areia grossa, dag kg ⁻¹	19,62	22,37	13,63	13,67
Areia fina, dag kg ⁻¹	8,33	12,44	7,30	10,19
Areia total, dag kg ⁻¹	27,94	34,81	20,93	23,85
Silte, dag kg ⁻¹	5,52	5,41	5,24	5,22
Argila, dag kg ⁻¹	66,54	59,78	73,83	70,92
SiO ₂ , %			20,05	25,67
P ₂ O ₅ , %			0,12	0,05
Fe ₂ O ₃ , %			12,68	7,43
Al ₂ O ₃ , %			26,47	21,24
MnO, mg kg ⁻¹			67,87	24,99
CaO, mg kg ⁻¹			0,00	223,73
MgO, mg kg ⁻¹			58,27	48,01
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			89,48	66,23
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			12,56	21,30
Ki			1,29	2,06
Kr			0,99	1,68
Caulinita, %			41,94	50,12
Goethita, %			11,41	6,68
Hematita, %			4,13	2,42
Gibbsita, %			11,29	
Sílica amorfa, %				1,70

IMA = Incremento médio anual m³ha⁻¹ano⁻¹

Latosolos Vermelhos (Quadro 32) ocorrem com maior frequência em projetos classificados como menos produtivos, já que nos projetos mais produtivos a área relativa dessa classe é menor que 1%.

Nos projetos menos produtivos, ocorrem as unidades de mapeamento LVw1 (LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico, textura argilosa, A proeminente ou moderado, álico, caulinítico, caulinítico-oxídico ou gibbsítico-oxídico, hipoférrico ou mesoférrico) em 4,1 % da área, LVd1 (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura muito argilosa, A proeminente ou moderado, álico, caulinítico, mesoférrico) e LVwf1 (LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulinítico, caulinítico-oxídico ou gibbsítico-oxídico, férrico) que ocupam 4,2% da área. Estas unidades de mapeamento possuem declive máximo de 13° para LVw1, 17° para LVd1, e 3° para LVwf1 sendo a área de LVw1 maior que as demais.

Em comparação à todos os Latossolos, os Vermelhos, em média, são os que ocorrem nas áreas mais planas, declive médio de 11°, mas em situação local de meia encosta, ao contrário dos Amarelos e Vermelho-Amarelos, que ocorrem predominantemente em posição de topo e terço superior de encosta.

Os Neossolos não ocorrem em projetos classificados como menos produtivos assim não se pode fazer comparações (Quadro 33). São solos que ocorrem nos terraços, possuem estrutura forte média a grande granular o horizonte A, e sem estrutura no horizonte C. São representados pelas unidades de mapeamento RUBd2 (NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico, textura muito argilosa ou argilosa /média ou arenosa, A moderado, álico ou não, gibbsítico-oxídico, mesoférrico), RUBd3 (NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico, textura média ou média /arenosa, A moderado, caulinítico, hipoférrico) e RUBd4 (NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico, textura argilosa/média/arenosa ou média/arenosa, A proeminente, caulinítico, mesoférrico) esta última com maior área relativa, aproximadamente 12%

Apesar de serem solos relacionados à projetos mais produtivos em BO, esses solos possuem densidade elevada nos horizontes A e B, o que pode ser a característica a ser melhorada com o intuito de aumentar a produtividade nestas áreas.

Quadro 32 – Características dos Latossolos Vermelhos da regional Belo Oriente, em projetos classificados como menos e mais produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 23,4)	Projetos mais produtivos (IMA = 29,3)	Projetos menos produtivos (IMA = 23,4)	Projetos mais produtivos (IMA = 29,3)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	20,14	16,00	160,25	164,00
MOS, dag kg ⁻¹	2,60	2,49	1,08	1,34
P, mg kg ⁻¹	1,20	1,76	0,41	0,68
K, mg kg ⁻¹	18,84	21,06	4,69	7,02
Ca, cmol _c kg ⁻¹	0,10	0,18	0,03	0,02
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,10	0,09	0,01	0,03
Al, cmol _c kg ⁻¹	1,89	1,60	0,84	0,72
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	9,70	7,96	4,50	4,40
S, cmol _c kg ⁻¹	0,25	0,35	0,06	0,11
t, cmol _c kg ⁻¹	2,14	1,95	0,90	0,83
Zn, mg kg ⁻¹	0,24	0,23	0,12	0,13
Cu, mg kg ⁻¹	0,25	0,27	0,29	0,36
Fe, mg kg ⁻¹	92,01	78,00	29,58	58,00
Mn, mg kg ⁻¹	2,61	1,19	1,79	0,93
P _{rem} , mg L ⁻¹	10,79	14,19	5,17	7,70
Densidade do solo, g dm ⁻³	0,92	1,06	0,95	0,98
Porosidade, %	64,40	59,97	64,58	63,48
Areia grossa, dag kg ⁻¹	15,39	25,25	10,68	17,20
Areia fina, dag kg ⁻¹	7,84	10,81	7,31	9,57
Areia total, dag kg ⁻¹	23,23	36,07	17,99	26,77
Silte, dag kg ⁻¹	5,01	4,57	6,34	4,93
Argila, dag kg ⁻¹	71,76	59,37	75,68	68,29
SiO ₂ , %			21,07	
P ₂ O ₅ , %			0,09	
Fe ₂ O ₃ , %			13,18	
Al ₂ O ₃ , %			25,23	
MnO, mg kg ⁻¹			70,12	
CaO, mg kg ⁻¹			4,97	
MgO, mg kg ⁻¹			103,85	
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			61,29	
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			15,73	
Ki			1,44	
Kr			1,08	
Caulinita, %			45,16	
Goethita, %			7,15	
Hematita, %			7,43	
Gibbsita, %			7,73	
Sílica amorfa, %				

IMA = Incremento médio anual m³ ha⁻¹ ano⁻¹

Quadro 33 – Características dos Neossolos Flúvicos da regional Belo Oriente, em projetos classificados mais produtivos

	Projetos mais produtivos (IMA = 28,9)	Projetos mais produtivos (IMA = 28,9)
	----- Horizonte A -----	----- Horizonte C -----
Espessura, cm	18,71	234,00
MOS, dag kg ⁻¹	1,55	0,43
P, mg kg ⁻¹	1,82	2,08
K, mg kg ⁻¹	49,87	27,76
Ca, cmol _c kg ⁻¹	1,33	0,52
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,31	0,24
Al, cmol _c kg ⁻¹	0,32	0,11
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	3,28	1,83
S, cmol _c kg ⁻¹	1,78	0,84
t, cmol _c kg ⁻¹	2,10	0,95
Zn, mg kg ⁻¹	2,04	0,76
Cu, mg kg ⁻¹	0,92	0,85
Fe, mg kg ⁻¹	19,98	23,25
Mn, mg kg ⁻¹	55,66	16,46
P _{rem} , mg L ⁻¹	20,05	13,66
Densidade do solo, g dm ⁻³	1,27	1,28
Porosidade, %	49,61	50,42
Areia grossa, dag kg ⁻¹	39,50	23,51
Areia fina, dag kg ⁻¹	14,57	14,45
Areia total, dag kg ⁻¹	54,06	37,96
Silte, dag kg ⁻¹	11,83	33,99
Argila, dag kg ⁻¹	34,11	28,05
SiO ₂ , %		16,38
P ₂ O ₅ , %		0,08
Fe ₂ O ₃ , %		7,53
Al ₂ O ₃ , %		21,57
MnO, mg kg ⁻¹		512,73
CaO, mg kg ⁻¹		113,57
MgO, mg kg ⁻¹		363,91
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹		105,47
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹		14,88
Ki		1,32
Kr		1,08

IMA = Incremento médio anual m³ ha⁻¹ ano⁻¹

4.3.1.2 – Região de Virginópolis

Os Cambissolos típicos dos projetos mais produtivos da região de VG, possuem estrutura predominante forte média granular e blocos subangulares no horizonte A e moderada a fraca pequena a média granular e blocos subangulares no horizonte B, são solos encontrados em diferentes posições no relevo: topo, terço superior de encosta e meia encosta e estão representados pela unidade de mapeamento CXbd5 que nesta região está associada à classe de declive máximo 28°. Nos projetos menos produtivos a estrutura predominante forte pequena a média granular e blocos subangulares no horizonte A e moderada pequena a média granular e blocos subangulares e angulares no B. No relevo são encontrados no terço inferior de encosta e está representado pela unidade de mapeamento CXbd1, que possui classe de declive máximo 23°. Assim como observado na região de RD nos projetos mais produtivos CX_típicos possuem maiores Ki e teor de nutrientes obtidos por meio de ataque sulfúrico, para a maioria dos perfis em que esses foram analisados, que nas áreas menos produtivas (Quadro 34). O que permite conceber a idéia de que para a classe CX_típico o teor de nutrientes obtidos por meio do ataque sulfúrico é indicador de produtividade.

Para a classe LVA nos projetos mais produtivos, a estrutura predominante é forte pequena a média blocos subangulares no A, moderada a fraca pequena a média granular e blocos subangulares e angulares no B. Ocorrem nas posições de relevo, terço superior de encosta e meia encosta, sendo representados pela unidade de mapeamento LVAd1, LVAw1 e associação com LAw1, classes de declive cujos valores máximos são 25° e 18° sendo que a área de LVAd1 é 1,5 vezes maior que LVAw1. Nos projetos menos produtivos, esta classe de solo possui estrutura predominante forte a moderada pequena a média blocos subangulares e granular no A e fraca pequena a média granular e blocos subangulares no B, ocorrem nas posições de topo são representados pela unidade de mapeamento LVAd1, LVAw1 classe de declive máximos de 25° e 18° com as áreas de abrangência muito similares. Sendo assim não é possível para esta classe de solo fazer uma associação entre a classe de declive e produtividade. No entanto, assim como para qualquer outra classe, nos projetos mais produtivos o Ki é maior (Quadro 35) indicando serem solos menos intemperizados, ou melhor, mais caulíníticos.

Quadro 34 – Características dos Cambissolos Típicos, da regional Virginópolis, em projetos classificados como mais e menos produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 28,0)	Projetos mais produtivos (IMA =40,0)	Projetos menos produtivos (IMA = 28,0)	Projetos mais produtivos (IMA =40,0)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	23,67	23,57	75,50	159,80
MOS, dag kg ⁻¹	2,88	3,23	1,37	1,59
P, mg kg ⁻¹	1,06	2,15	0,40	0,67
K, mg kg ⁻¹	19,00	19,31	5,33	10,51
Ca, cmol _c kg ⁻¹	0,01	0,03	0,03	0,02
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,02	0,05	0,03	0,03
Al, cmol _c kg ⁻¹	1,07	1,27	0,36	0,64
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	6,41	7,11	2,77	4,40
S, cmol _c kg ⁻¹	0,10	0,15	0,08	0,08
t, cmol _c kg ⁻¹	1,16	1,42	0,44	0,72
Zn, mg kg ⁻¹	1,24	0,23	0,34	0,15
Cu, mg kg ⁻¹	0,23	0,17	0,30	0,17
Fe, mg kg ⁻¹	93,17	62,52	69,38	43,36
Mn, mg kg ⁻¹	1,29	2,22	0,70	1,20
P _{rem} , mg L ⁻¹	10,94	5,08	10,35	6,84
Densidade do solo, g dm ⁻³	0,94	0,88	1,17	0,93
Porosidade, %	63,47	64,54	55,06	64,33
Areia grossa, dag kg ⁻¹	20,62	28,49	10,87	17,69
Areia fina, dag kg ⁻¹	14,44	9,40	11,73	9,40
Areia total, dag kg ⁻¹	35,07	37,89	22,60	27,09
Silte, dag kg ⁻¹	10,02	7,78	15,70	6,75
Argila, dag kg ⁻¹	54,92	54,33	61,70	66,18
SiO ₂ , %			14,67	20,26
P ₂ O ₅ , %			0,04	0,08
Fe ₂ O ₃ , %			9,79	11,83
Al ₂ O ₃ , %			26,12	21,53
MnO, mg kg ⁻¹			75,36	118,28
CaO, mg kg ⁻¹			181,96	185,32
MgO, mg kg ⁻¹			132,33	168,97
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			139,33	79,01
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			15,04	11,24
Ki			0,93	1,73
Kr			0,75	1,23
IMA = Incremento médio anual m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹				

Quadro 35 – Características dos Latossolos Vermelho-Amarelos da regional Virginópolis, em projetos classificados como mais e menos produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 21,4)	Projetos mais produtivos (IMA =43,3)	Projetos menos produtivos (IMA = 21,4)	Projetos mais produtivos (IMA =43,3)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	18,50	18,80	197,50	168,60
MOS, dag kg ⁻¹	5,10	3,96	2,27	1,81
P, mg kg ⁻¹	2,11	1,93	0,55	0,68
K, mg kg ⁻¹	24,05	27,23	5,76	13,00
Ca, cmol _c kg ⁻¹	0,03	0,23	0,02	0,04
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,07	0,16	0,04	0,07
Al, cmol _c kg ⁻¹	1,37	1,55	0,39	0,88
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	10,11	7,98	5,19	5,06
S, cmol _c kg ⁻¹	0,18	0,47	0,09	0,15
t, cmol _c kg ⁻¹	1,55	2,02	0,49	1,02
Zn, mg kg ⁻¹	0,45	0,27	0,18	0,10
Cu, mg kg ⁻¹	0,04	0,24	0,02	0,29
Fe, mg kg ⁻¹	82,34	61,95	51,38	52,01
Mn, mg kg ⁻¹	1,41	4,81	1,05	1,65
P _{rem} , mg L ⁻¹	5,30	8,75	3,12	5,62
Densidade do solo, g dm ⁻³	0,94	0,95	0,92	0,97
Porosidade, %	61,88	61,51	63,26	62,58
Areia grossa, dag kg ⁻¹	11,25	23,82	7,18	16,66
Areia fina, dag kg ⁻¹	5,24	10,80	5,86	7,89
Areia total, dag kg ⁻¹	16,49	34,63	13,03	24,55
Silte, dag kg ⁻¹	6,16	5,46	4,88	9,42
Argila, dag kg ⁻¹	77,35	59,91	82,09	66,03
SiO ₂ , %			17,08	20,71
P ₂ O ₅ , %			0,03	0,06
Fe ₂ O ₃ , %			12,87	10,24
Al ₂ O ₃ , %			35,51	30,06
MnO, mg kg ⁻¹			69,82	81,04
CaO, mg kg ⁻¹			121,41	46,17
MgO, mg kg ⁻¹			171,38	172,20
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			95,64	93,61
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			7,81	11,28
Ki			0,80	1,35
Kr			0,65	1,06
Caulinita, %			35,49	41,74
Goethita, %			13,53	10,49
Hematita, %			2,47	2,18
Gibbisita, %			29,38	22,03
Sílica amorfa, %				3,95

IMA = Incremento médio anual m³ha⁻¹ano⁻¹

Esse padrão pode também ser visto no Quadro 36, que apresenta as características da classe LV. Apesar de possuírem os menores valores de Ki de todas as classes, esse é ligeiramente maior nos solos das áreas mais produtivas (Quadro 36). Nos projetos mais produtivos, esta classe possui estrutura predominante moderada à fraca pequena a média granular no A, moderada a fraca pequena a média blocos subangulares e angulares no B se encontra na posição de topo, são representados pela unidade de mapeamento LVd1, LVw1 e LVwf1 e possuem grau de declive máximos de 28°, 20° e 22° sendo que este último não ocorre em locais planos (declive = 0°). Além disso, a área de LVd1 é muito maior que LVw1 e LVwf1, estes possuem áreas muito pequenas nestes projetos. Para os projetos menos produtivos, a estrutura predominante é forte a moderada pequena a média granular e blocos subangulares no A, moderada a fraca pequena a média granular e blocos subangulares no B, ocorrem em posição de topo e meia encosta e são representados pela unidade de mapeamento LVD1, LVw1 e LVD2 com graus de declives máximos de 28°, 20° e 10° sendo que este último não ocorre em locais planos (declive = 0°). Nestes projetos as áreas de LVw1 > LVD1 >> LVD2.

A classe LA não ocorre em projetos menos produtivos, assim não se pode fazer comparações entre as áreas mais e menos produtivas. No entanto, é conveniente ressaltar que esta classe predomina na posição de topo e está representada pelas unidades de mapeamento LAd1, LAw1 e LAwf com grau de declive máximo de 18°, 18° e 19°, respectivamente. A classe LA, portanto, é a classe entre os Latossolos, mais associada a relevo mais plano e também a de maior produtividade, 51 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Quadro 37)

O interesse de relacionar a classe de solo, com suas respectivas unidades de mapeamento, ao tipo de relevo e posição na paisagem, se deve ao fato de esta avaliação conjunta permite entender a influência dos aspectos fisiográficos tanto na produtividade das áreas como também na adoção de técnicas de manejo, que visem a não degradação do solo.

No entanto, viu-se que não existe um padrão claro para todas as classes. Na região de Belo Oriente, não se percebeu a um relacionamento entre o relevo e a produtividade, exceto para a classe RU, que está relacionada

Quadro 36 – Características dos Latossolos Vermelhos da regional Virginópolis, em projetos classificados como mais e menos produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 32,5)	Projetos mais produtivos (IMA =44,2)	Projetos menos produtivos (IMA = 32,5)	Projetos mais produtivos (IMA =44,2)
	----- Horizonte A -----		----- Horizonte B -----	
Espessura, cm	18,80	19,11	183,60	178,40
MOS, dag kg ⁻¹	4,90	4,21	1,61	1,59
P, mg kg ⁻¹	1,67	1,62	0,32	0,31
K, mg kg ⁻¹	24,80	28,27	5,58	11,83
Ca, cmol _c kg ⁻¹	0,06	0,05	0,02	0,01
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,07	0,07	0,02	0,02
Al, cmol _c kg ⁻¹	1,67	1,40	0,39	0,55
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	8,08	8,63	3,76	4,45
S, cmol _c kg ⁻¹	0,21	0,21	0,07	0,07
t, cmol _c kg ⁻¹	1,88	1,60	0,45	0,62
Zn, mg kg ⁻¹	0,36	0,26	0,21	0,10
Cu, mg kg ⁻¹	0,19	0,19	0,15	0,23
Fe, mg kg ⁻¹	109,22	58,63	54,71	41,90
Mn, mg kg ⁻¹	2,39	1,15	0,83	0,57
P _{rem} , mg L ⁻¹	6,45	7,77	4,75	5,83
Densidade do solo, g dm ⁻³	0,90	0,81	0,93	0,91
Porosidade, %	63,05	66,79	64,24	65,70
Areia grossa, dag kg ⁻¹	18,44	17,55	14,11	13,80
Areia fina, dag kg ⁻¹	9,99	8,08	9,51	7,28
Areia total, dag kg ⁻¹	28,43	25,63	23,62	21,07
Silte, dag kg ⁻¹	7,68	6,10	7,37	3,91
Argila, dag kg ⁻¹	63,89	68,27	69,01	75,01
SiO ₂ , %			13,68	17,05
P ₂ O ₅ , %			0,08	0,06
Fe ₂ O ₃ , %			13,41	12,61
Al ₂ O ₃ , %			33,89	26,89
MnO, mg kg ⁻¹			78,25	120,33
CaO, mg kg ⁻¹			108,51	6,19
MgO, mg kg ⁻¹			156,41	144,81
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			124,61	55,24
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹			8,23	13,49
Ki			0,68	1,09
Kr			0,54	0,84
Caulinita, %			27,96	35,49
Goethita, %			7,02	5,94
Hematita, %			8,22	6,66
Gibbisita, %			31,68	19,29
Sílica amorfa, %				

IMA = Incremento médio anual m³ha⁻¹ano⁻¹

Quadro 37 – Características dos Latossolos Amarelos da regional Virginópolis, em projetos classificados mais produtivos

	Projetos menos produtivos (IMA = 51,0)	
	----- Horizonte A -----	----- Horizonte B -----
Espessura, cm	16,50	157,25
MOS, dag kg ⁻¹	5,39	2,39
P, mg kg ⁻¹	2,30	0,77
K, mg kg ⁻¹	20,20	5,72
Ca, cmol _c kg ⁻¹	0,04	0,03
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0,06	0,02
Al, cmol _c kg ⁻¹	1,41	0,74
H+Al pH 7,0, cmol _c kg ⁻¹	10,15	5,94
S, cmol _c kg ⁻¹	0,18	0,07
t, cmol _c kg ⁻¹	1,59	0,81
Zn, mg kg ⁻¹	0,23	0,10
Cu, mg kg ⁻¹	0,04	0,02
Fe, mg kg ⁻¹	77,74	42,57
Mn, mg kg ⁻¹	2,02	0,89
P _{rem} , mg L ⁻¹	4,12	2,46
Densidade do solo, g dm ⁻³	0,81	0,83
Porosidade, %	59,34	68,14
Areia grossa, dag kg ⁻¹	11,21	8,91
Areia fina, dag kg ⁻¹	8,25	5,36
Areia total, dag kg ⁻¹	16,05	14,27
Silte, dag kg ⁻¹	2,40	2,11
Argila, dag kg ⁻¹	78,70	83,61
SiO ₂ , %		19,82
P ₂ O ₅ , %		0,06
Fe ₂ O ₃ , %		13,76
Al ₂ O ₃ , %		26,31
MnO, mg kg ⁻¹		107,03
CaO, mg kg ⁻¹		192,81
MgO, mg kg ⁻¹		224,61
Zn H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹		131,18
Cu H ₂ SO ₄ , mg kg ⁻¹		10,75
Ki		1,28
Kr		0,96
Caulinita, %		37,64
Goethita, %		14,78
Hematita, %		
Gibbisita, %		13,50
Sílica amorfa, %		
IMA = Incremento médio anual m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹		

à projetos mais produtivos e são solos associados a relevo plano. Na região de Virginópolis o padrão foi o mesmo, ou seja, somente para a classe LA observou-se um relacionamento entre relevo e produtividade. Deve-se, entretanto, citar que há uma forte associação entre classe de solo e tipo de relevo. Oliveira et al (1992) relacionam relevos mais planos à classe de Latossolos Amarelos e Vermelhos, enquanto citam que os LVA ocorrem em todos os tipos de relevo. Essa dependência entre classe de solo e tipo de relevo mostra que nem sempre é possível discernir se as variações de produtividades se devem à classe de solo ou ao tipo de relevo. Por isso além de utilizar a classe como integradora das características de solo que explicam a produtividade deve-se avaliar, como que elas se harmonizam para obtenção de alta produtividade.

4.4. Índice de qualidade de solo

Os valores médios dos índices relacionados às funções do solo consideradas, bem como o índice de qualidade do solo (IQS) são apresentados no Quadro 37, para as regiões Belo Oriente e Virginópolis.

O efeito da região pode ser visto nos valores dos índices das funções e no IQS, todos maiores estatisticamente ($p < 0,01$) na região de Virginópolis do que na região Belo Oriente (Quadro 38). Para as funções receber, armazenar e suprir água (F1), armazenar, suprir e ciclar nutrientes (F2), promover crescimento das raízes (F3) e promover a atividade biológica (F4) essas superioridades são de 8%, 6%, 9% e 12%, respectivamente. O efeito médio de região pode também ser visto em termos da variabilidade média entre os índices das funções que foi maior também na região de Virginópolis (14,1%) do que na região Belo Oriente (8,2%), evidenciando o maior equilíbrio entre as funções do modelo de qualidade nesta região. Em síntese, a qualidade do solo na região Virginópolis é melhor. Não obstante, o IQS desta região (0,848) é em torno de 15% menor do que o máximo possível (1,00).

Admitindo-se que a qualidade do solo possa refletir a sustentabilidade da produção, como amplamente proposto na literatura (Burger e Kelting, 1998; Mielniczuck, 1999; Stenberg, 1999; Schoenholtz et al, 2000; Chaer, 2001; Barros e Comerford, 2002; Tótola e Chaer, 2002), esses resultados evidenciam, numa primeira análise, a maior sustentabilidade em Virginópolis.

Nessa linha, cabe avaliar o relacionamento da qualidade do solo – medida neste trabalho pelo IQS – com a produtividade. O IQS e a produtividade correlacionaram-se significativamente e de modo positivo nas duas regiões (Figura 6).

Quadro 38 – Índices de qualidade das funções e do solo (IQS), e respectivas variabilidades, nas regiões Belo Oriente e Virginópolis

Funções do solo	Belo Oriente		Virginópolis	
	23 unidades de mapeamento 52 perfis		11 unidades de mapeamento 29 perfis	
	Média	CV%	Média	CV%
Receber, armazenar e suprir água	0,229 b	11,0	0,249 a	1,1
Promover crescimento das raízes	0,180 b	10,7	0,192 a	6,0
Armazenar suprir e ciclar nutrientes	0,171 b	13,8	0,187 a	12,4
Promover atividade biológica	0,194 b	9,2	0,221 a	5,4
Média das funções	0,194 b	8,2	0,212 a	14,1
IQS	0,775 b	8,2	0,848 a	5,3

As letras indicam diferença entre regiões, para cada função e para o IQS, a pelo menos 5% de probabilidade

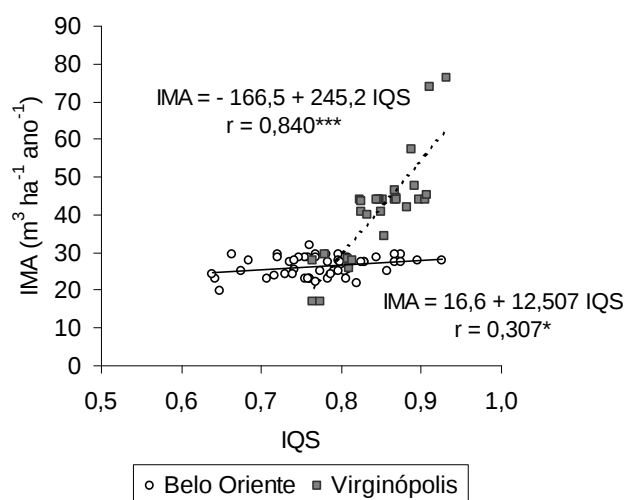


Figura 6 – Relação entre produtividade e qualidade do solo (IQS) nas regiões Belo Oriente e Virginópolis.

Não obstante, em Virginópolis haja um relacionamento mais estreito entre IQS na produtividade ($r=0,84$, $p<0,01$) e seja mais pronunciado o efeito da qualidade do solo sobre a produtividade, dada a maior declividade da curva, nesta região.

Além disso, a produtividade correlacionou-se significativamente, mas de modo negativo, com a variabilidade entre os índices das funções do modelo de qualidade do solo utilizado (Figura 7). Assim, além do IQS, o equilíbrio entre as funções que o compõe tem que ser considerado. Isto é evidenciado, neste trabalho, pelo fato de que a correlação entre essa variabilidade e o IQS, apesar de ser negativa e estatisticamente significativa, indicar que nem sempre maiores valores de IQS estão associados ao maior equilíbrio entre as funções.

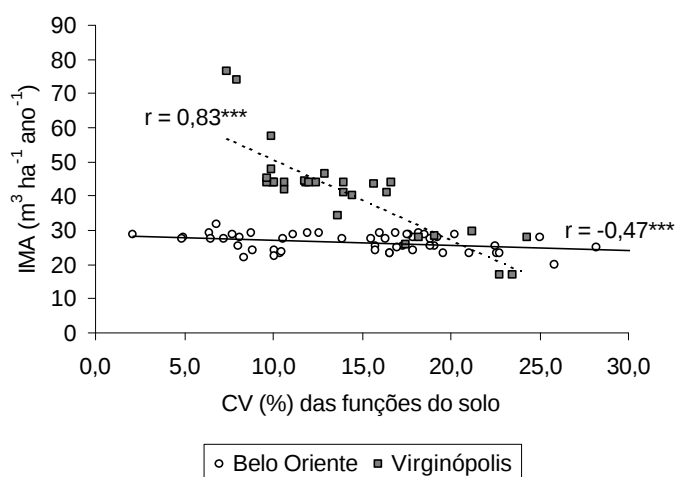


Figura 7 – Relação entre produtividade e variabilidade entre as funções que compõe o modelo de qualidade do solo utilizado para as regiões Belo Oriente e Virginópolis.

Para a região de Belo Oriente a menor correlação entre IQS e produtividade e menor declividade da curva, indica que há a necessidade de serem consideradas outras características do ambiente também influentes na oferta e na aquisição pelas plantas dos recursos radiação solar, água e nutrientes. Daí a importância de investigar de para áreas a influência da fisiografia e pedoforma. Os estudos de Santana (1986) e Teixeira (1987) buscaram, nesta região, relacionar produtividade com a posição dos solos na paisagem. Mais recentemente, estudos têm avaliado o balanço de energia e de água em plantações de eucalipto, considerando declividade e face de exposição (Facco, 2004).

No entanto, como comentado anteriormente, parece ser necessário para esta região maior número de fases para as classes de solo, considerando, por exemplo, para Cambissolos, espessura do solum (horizonte A+B) e pedregosidade.

Neste trabalho, em ambas as regiões, os índices das funções e os valores de IQS (Quadros 39 e 40) não variaram estatisticamente com a classe de solo ao nível de 5% de probabilidade. Apenas para as funções F1 e F2, em Belo Oriente, houve tendência ($p < 0,1$) para o efeito da classe.

Em Belo Oriente, por exemplo, a classe RU só ocorre em projetos mais produtivos, como já discutido, no entanto tem o mesmo valor numérico de IQS que a classe CX_típico, esta predominante em toda a regional. O mesmo pode ser observado para a classe LV, predominante em áreas menos produtivas, no entanto com o valor de IQS próximo do RU, o que indica novamente a necessidade de separação em maior número de fases cada classe de solo. O maior IQS é o da classe LA e o menor do CX_fv, e ambos possuem o mesmo CV entre as funções, indicando que nem sempre maiores valores de IQS estão associados ao maior equilíbrio entre as funções.

Prosseguindo na análise de tendências, vê-se que em Virginópolis os maiores valores numéricos de IQS foram os das classes LA e LVA, as quais estão mais associadas a projetos mais produtivos, contrariamente às classes CX_típico e LV que apresentaram os menores valores numéricos de IQS. É interessante notar, também nessa região, que a esses maiores valores numéricos de IQS não correspondem as menores variabilidades entre os índices que medem as funções do modelo, reafirmando que nem sempre o relacionamento entre IQS e essa variabilidade é inverso.

Nessa discussão sobre a ausência de efeito de classe sobre a qualidade do solo, como aqui avaliado, é importante ressaltar que a classe foi tratada no 3º nível categórico. No entanto, foi visto no item 3.3.1, a necessidade de refinar as informações concernentes às classes, tais como, unidade de mapeamento, posição no relevo, morfologia do perfil, dentre outras relacionadas ao crescimento de plantas. A adição dessas informações à classificação dos solos, resulta no seu refinamento, o que corresponde a níveis categóricos mais baixos, famílias e séries.

Quadro 39 – Índices de qualidade das funções e do solo (IQS), e respectivas variabilidades, das classes de solo predominantes na região de Belo Oriente

Funções do solo	CX_típico		CX_fv		LA		LVA		LV		RU	
	6 UM ⁽¹⁾ 14 perfis		2 UM 6 perfis		6 UM 13 perfis		2 UM 6 perfis		2 UM 5 perfis		3 UM 6 perfis	
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
Receber, armazenar e suprir água	0,232	10,7	0,217	3,7	0,237	7,8	0,244	2,5	0,244	2,2	0,198	14,4
Promover crescimento das raízes	0,181	10,9	0,194	7,6	0,174	8,8	0,166	4,2	0,166	5,0	0,201	5,4
Armazenar suprir e ciclar nutrientes	0,166	18,5	0,165	18,8	0,177	13,0	0,164	5,7	0,170	8,0	0,182	8,7
Promover atividade biológica	0,195	11,8	0,186	7,8	0,196	7,7	0,194	5,1	0,193	7,2	0,196	10,5
Média das funções	0,194	14,7	0,191	11,3	0,196	14,8	0,192	19,3	0,193	18,6	0,194	4,3
IQS	0,775	10,7	0,763	7,5	0,783	7,5	0,769	3,5	0,772	5,2	0,776	8,6

(1) UM = unidade de mapeamento

Quadro 40 – Índices de qualidade das funções e do solo (IQS), e respectivas variabilidades, das classes de solo predominantes na região de Virginópolis

Funções do solo	CX_típico		LA		LVA		LV	
	1 UM ⁽¹⁾ 7 perfis		3 UM 4 perfis		3 UM 7 perfis		4 UM 11 perfis	
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
Receber, armazenar e suprir água	0,247	1,5	0,250	0,0	0,248	1,6	0,249	0,4
Promover crescimento das raízes	0,193	5,7	0,198	6,5	0,189	6,3	0,191	6,4
Armazenar suprir e ciclar nutrientes	0,183	14,2	0,195	14,0	0,189	12,8	0,184	11,9
Promover atividade biológica	0,220	4,8	0,225	6,8	0,222	6,5	0,221	5,4
Média das funções	0,211	14,2	0,217	12,6	0,212	13,9	0,211	14,6
IQS	0,842	5,4	0,867	6,1	0,848	5,9	0,845	5,2

(1) UM = unidade de mapeamento

Por isso avaliou-se, em nível de perfil dentro de cada classe de solo, o relacionamento entre a produtividade e a qualidade do solo. Em Belo Oriente só houve relacionamento estatisticamente significativo entre a produtividade e o IQS e entre a variabilidade entre as funções do modelo e a produtividade para a classe LA (Figuras 8 e 9). Contrariamente, em Virginópolis, os valores de IQS e a produtividade foram sempre estreitamente correlacionados, fato também verificado para as correlações da produtividade com a variabilidade dos índices das funções do modelo (Figura 10).

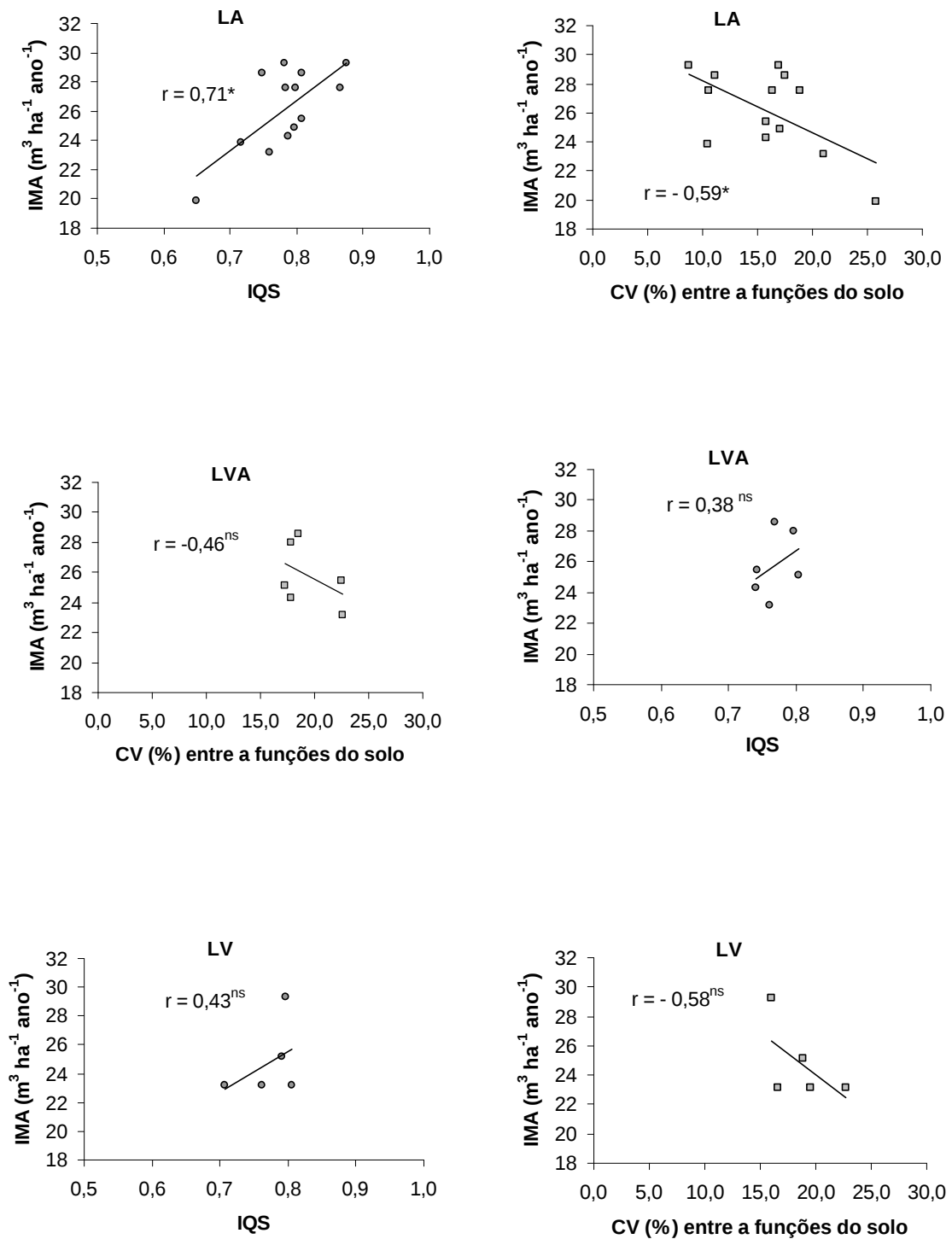


Figura 8 – Gráficos de dispersão e respectivos coeficientes de correlação entre a produtividade e o IQS, ou a variabilidade entre as funções do solo dentro da classe Latossolo, na região de Belo Oriente.

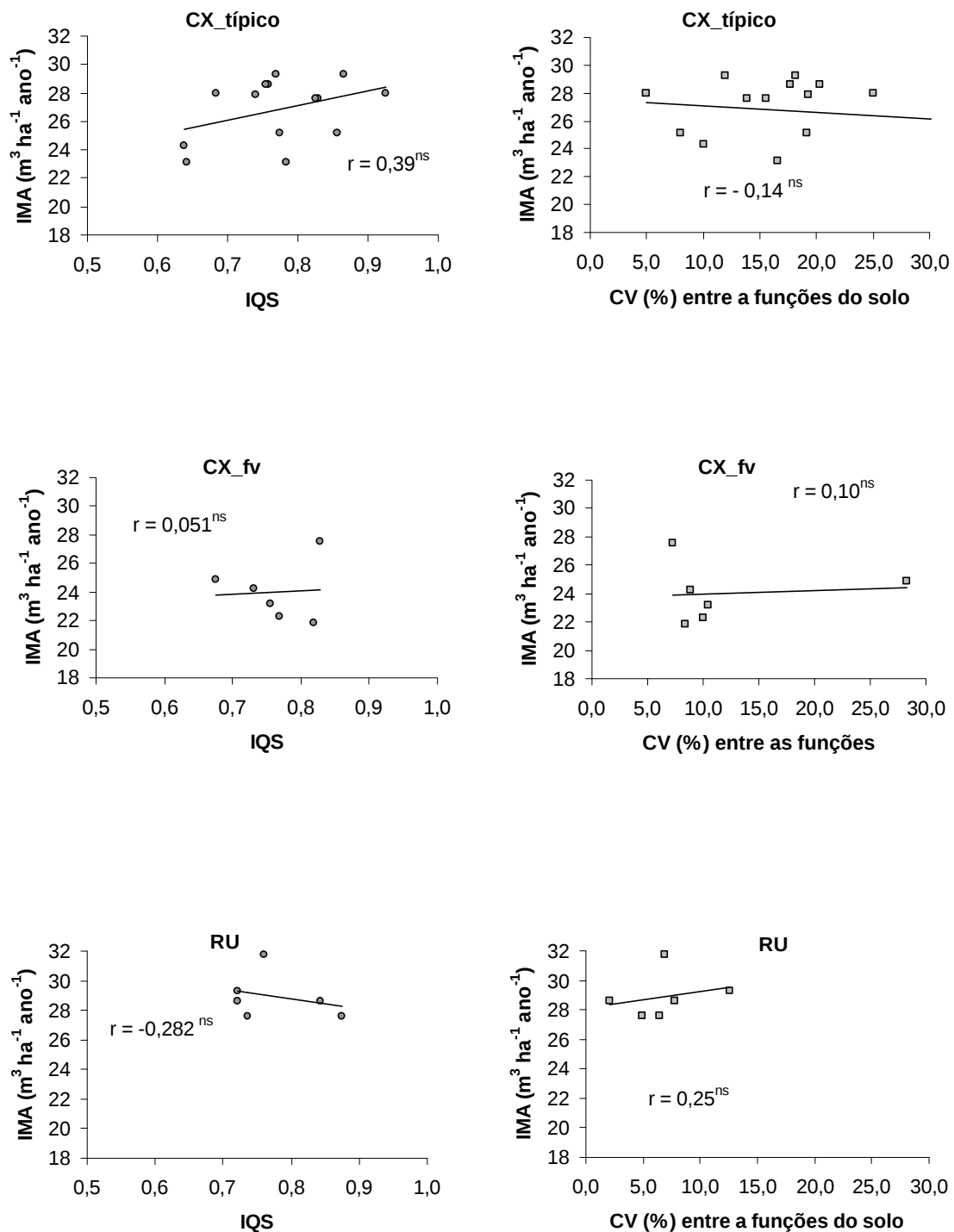


Figura 9 – Gráficos de dispersão e respectivos coeficientes de correlação entre a produtividade e o IQS, ou a variabilidade entre as funções do solo dentro das classes Cambissolo e Neossolo, na região de Belo Oriente.

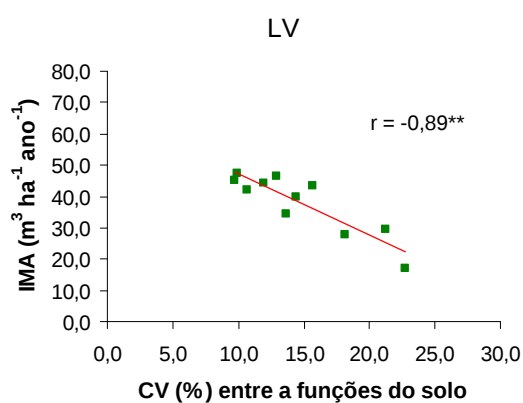
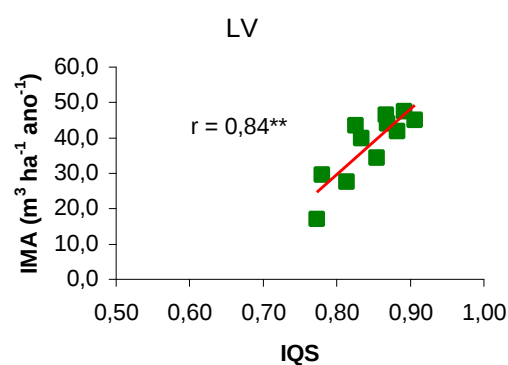
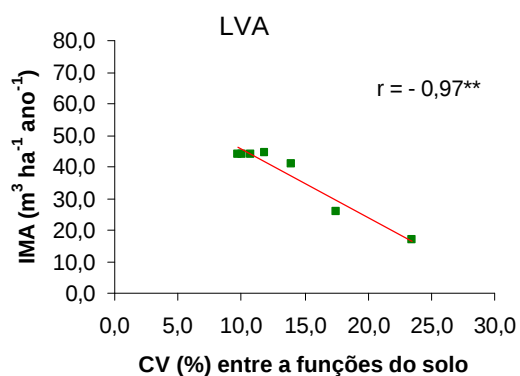
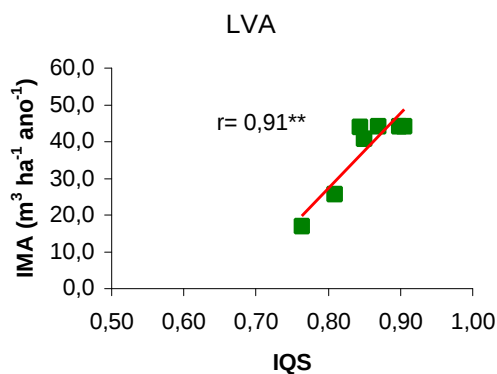
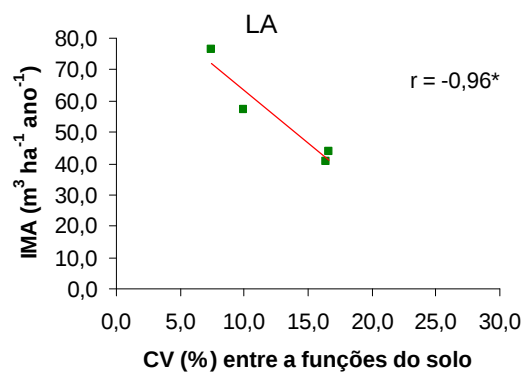
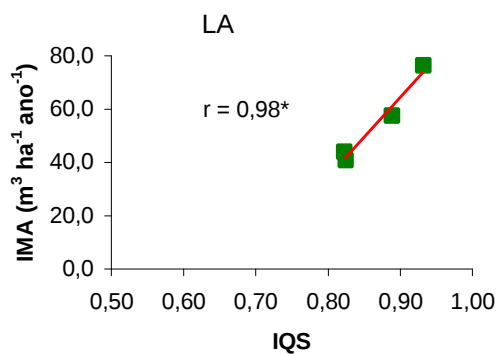
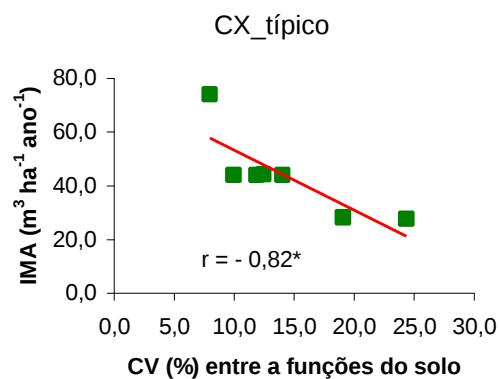
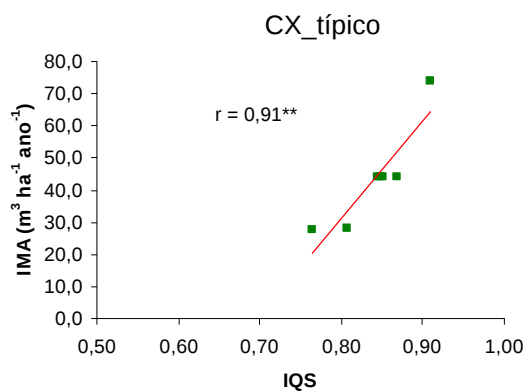


Figura 10 – Gráficos de dispersão e respectivos coeficientes de correlação entre a produtividade e o IQS, ou a variabilidade entre as funções do solo dentro de cada classe, na região de Virginópolis.

Em Belo Oriente, para a classe LA, esse comportamento do modelo, mesmo quando aplicado aos perfis dentro dessa classe, demonstra haver um relacionamento entre a classe e a produtividade florestal. Para Virginópolis, contudo, os relacionamentos estreitos, todos significativos, da produtividade com os valores de IQS dos perfis para todas as classes de solo, indicam que o modelo foi sensível às variações de características de solo que se relacionam com a produtividade do sítio, e também às variações existentes dentro de cada classe nos níveis categóricos mais baixos, neste caso em nível de perfil.

A melhor performance do modelo em Virginópolis sugere a necessidade de que o ele seja aplicado a sítios florestais distintos dos que foram estudados neste trabalho, de modo a obter informações adicionais capazes de subsidiarem o seu refinamento e dotá-lo de capacidade preditiva também em escala temporal e espacial. Esse refinamento deveria contemplar a inclusão no modelo de informações sobre a funcionalidade do sistema, que está associada à microbiota do solo, sobre a fisiografia da área e morfologia do perfil, este associado à unidade taxonômica em nível categórico mais baixo.

5. CONCLUSÕES

- A utilização de modelos baseados em processos pode estimar a capacidade produtiva do sítio e assim subsidiar e priorizar as técnicas a serem utilizadas visando aumentar a produtividade, ou mantê-la se em níveis já satisfatórios.
- Na avaliação do relacionamento entre a produtividade da cultura do eucalipto e características do solo, pelo método solo-local, os melhores modelos incluíram as características matéria orgânica e P-remanescente, que refletem a extensão e a qualidade da superfície adsorvente da fase sólida, e o teor de potássio no solo estimado para a fase inicial de crescimento da cultura. Assim, no método solo-local, para solos de regiões tropicais, devem ser considerados os teores de nutrientes no solo na fase inicial de crescimento da cultura, que podem ser estimados pelo acréscimo dos teores no solo derivados dos conteúdos de nutrientes nas árvores aos teores de nutrientes no solo medidos ao final do ciclo ou por ocasião do monitoramento.
- A classe de solo definida nos níveis categóricos mais baixos, pelo menos no 4º, aliada às feições fisiográficas, é indicadora de produtividade de eucalipto.

- O índice de qualidade de solo foi sensível às regiões, indicando maior qualidade para os solos da região de Virginópolis, comparativamente à de Belo Oriente. Esse índice foi também sensível às variações das características de solo dentro de cada unidade taxonômica, e, na região de Virginópolis, relacionou-se estreitamente com a produtividade da cultura de eucalipto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, D.J.; KRUKER, J.M.; CALHEIROS, R. de O.; SILVA, C.A.S. da. **Determinação da evapotranspiração potencial e balanço hídrico climático da região da Grande Dourados, MS.** Dourados: EMBRAPA-UEPAE Dourados, 1986. 150p. Embrapa-UEPAE Dourados. Documentos, 21

ALMEIDA, A.C. de. & SOARES, J.V. **Análise da influência da variabilidade hidrometeorológica inter anual no crescimento de plantações de eucalipto.** EMBRAPA, IUFRO, Salvador. p.52-61. 1997.

ALMEIDA, F. F. M.; LITWINSKI, N. Província Mantiqueira – Setor Setentrional. In: ALMEIDA, F. F. M. e HASUI, Y. **O pré-cambriano do Brasil.** São Paulo, Edgard Blucher, 1984. 282-307p

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, v. 20, p.319-326, 1996.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; DIAS, L. E. OLIVEIRA, J. A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. **SBCS**, v.25, p.27-32, 2000 (Boletim Informativo)

AMARAL, G. **Influência de características químicas e físicas de cinco diferentes solos da zona metalúrgica mineira na produtividade de eucalipto.** Viçosa, MG: UFV, 1999, 111 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

AMÉZQUITA, E.; FRIESEN, D.; SANZ, J. I. Indicadores de sustentabilidad: parámetros edafoclimáticos y diagnóstico del perfil cultural. In: GUIMARÃES, E. P.; SANZ, J. I. RAO, I. M.; AMÉZQUITA, M.C.; AMÉZQUITA, E. (Eds). **Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de America Latina**. Cali: CIAT, 1999. p.49-64.

ANDRADE, A. G. de. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Rio de Janeiro, RJ: UFRRJ, 1997.106p Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997

ARACRUZ CELULOSE S.A. **Levantamento semi-detalhado de solos da Aracruz Celulose**, 1998.

ARACRUZ CELULOSE S.A. **Solos do município de Aracruz (ES)**. Relatório Interno, 1971.

BARNES, B. V.; ZAK, D. R.; DENTON, S. R.; SPURR, S. H. **Forest Ecology**. 4th. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1998.

BARROS, N. F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região Tropical. In: ALVAREZ V, V. H. et al eds. **Tópicos em Ciência do Solo**, 2 Viçosa, SBCS, 2002. p.487-592

BARROS, N. F. de & NOVAIS, R. F. de. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: Attiwill, P. M & ADMS, M. A. **Nutrition of eucalypts**. Australia, CSIRO, 1996.

BARROS, N.F. **Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com a altura de *Eucalyptus alba*, na Região de Santa Bárbara, MG**. Viçosa, MG: UFV, 1974. 89 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1974.

BARROS, N.F. NOVAIS, R.F, CARMO, D.N. et al. Classificação nutricional de sítios florestais descrição de uma metodologia. **Rev. Árvore**, v.10, p.112-120, 1986.

BENNIE, A. T. P. Growth under mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A; KAFKAFI, U. eds. **Plant roots: the hidden half**. New York, USA, Marcel Dekker, Inc. 1991. p. 393-414.

BOUMA, J. The land use systems approach to planning sustainable land management at several scales. **ITC J.**, v.3, p.237-242, 1997.

BRAGA, F. A. **Uso da análise discriminante na identificação das características ambientais determinantes da capacidade produtiva de povoamento de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1996, 65p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

BUOL, S. W. HOLE, F. D. McCracken R. J. SOUTHORD, R. J. **Soil genesis and classification**. 4ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1997.

BURGUER, J. A. & KELTING, D. L. Soil quality monitoring for assessing sustainable forest management. In: **THE CONTRIBUTION of soil science to the development of and implementation of criteria and indicators of sustainable forest management**. Madison, Soil Science Society of America, 1998. P 17-52 (SSSA Special Publication, 53)

BURGUER, J. A. & KELTING, D. L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **For. Ecol. Manage.**, v.122, p.155-166, 1999.

CAMPOS, J. C. C & LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa, UFV, 202. 407p.

CARMEAN, W. H. Tree-growth patterns in relation to soil and site. In: **Tree growth and forest soils**. Oregon State University, USA, 1970. 527p.

CARMEAN, W.H. Soil refinements for predicting black oak site quality in southeastern Ohio. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.31, p.805-810, 1967.

CARMEAN, W. H. Forest site quality evaluation in the United States. **Advances in Agronomy**, v.27, p.209-269, 1975.

CARMO, D. N.; RESENDE, M. e SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F. e NOVAIS, R. F. de. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, Editora Folha, 1990. 330p.

CENIBRA NIPO CELULOS S.A. **Levantamento semi-detalhado de solos** 2004.

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Viçosa, MG: UFV, 2001, 89p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. U.; BRISTER, G. H. et al. **Timber management: a quantitative approach**. New York, John Wiley & Sons, 1983. 333p.

COILE, T. S. Soil and growth of forests. **Advances in Agronomy**, v.4, p.329-359, 1952.

DALLWIG, R.; KLEIN, H.; HOPPE, A. Ocorrência de granada-anfibolito e hornblenda-websterito na região de Guanhanes (leste de Minas Gerais). In: II Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1983. **Anais...**Belo Horizonte: SBG (115-127p), 1983.

DOOLITTLE, W. T. Site index of Scarlet na Black Oak in relation to Southern Appalachian soil na topography. **Forest Science**, v.3, p.114-124, 1957.

DREW, M. C. & STOLZY, L. H. Growth under oxygen stress. In: WASEL, Y.; ESHEL, A; KAFKAFI, U. eds. **Plant roots: the hidden half**. Marcel Dekker, Inc. New York, USA, 1991. p. 331-350.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA/CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de informação, 1999.

EMBRAPA/SNLCS. **Normas e critérios para levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro, 1995.

ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcView GIS**. The Geographic Information System for everyone. 1996.

ESTADOS UNIDOS. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. United States Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, 1994. 305p.

FABRES, A. S.; BARROS, N. F. NOVAIS, R. F. **Produtividade e exportação de nutrientes em eucaliptos e identificação de sítios visando o manejo de solo e o manejo florestal em áreas da CENIBRA**. Relatório Anual/ Programa 86-87. Viçosa (MG), 1987.

FACCO, A. G. **Modelagem e simulação geoespacial dos componentes do balanço hídrico para plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado**. Viçosa, MG: UFV, 2004, 87 p. Dissertação (Mestrado em Climatologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2004

FAO/International Society of Soil Science, **World reference base for soil resources**. Wageningen, Rome, 1994.

FELDMAN, J. L. Regulation of root development. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, p. 223-242, 1984.

GERDING, V.; SCHLATTER, J. E. Variables Y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D.Don en Chile. **Bosque**, v.16, p. 39-56, 1995.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P. & ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agric. Ecosys. Environ.**, v.80, p.29-45, 2000.

GONÇALVES J.L.M., MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: Gonçalves, J.L.M., Benedetti, V. (eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 221-267, 2000

GONÇALVES, J. L. M. **Interações genótipo-ambiente e relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 135p Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1990.

GONÇALVES, J. L. M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J. L. M & STAPE, J. P. L. eds. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, IPEF, 2002. p.1-45

GONÇALVES, J.L.M. **Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas**. Piracicaba: ESALQ, 1994. 84p.Tese (Livre Docência) -, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Universidade de São Paulo, 1994.

GONÇAVES, J. L. M.; COUTO, H. T. Z. do; DEMATTÊ, J. L. I. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **IPEF**, v.43, p.24-39, 1990.

GOWER S.T. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rica tropical wet forests. **Biotropica**, v.19, p.252-257, 1987.

GRESPLAN, S. L. **Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no norte do Espírito Santo e suas relações com características do solo**. Viçosa: UFV, 1997. 81p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

GREY, D. C. Site classification of forestry land. **Southern African Forestry Journal**, v.138, p.54-57, 1985.

GREY, D.C. The geomorphic approach to site delineation in exotic plantations. **South Afr. For. J.**, v.127, p.26-29, 1983.

HANNAH, P. R. Estimating site index for white and black oaks in Indiana from soil and topographical factors. **Journal of Forestry**, v.66, p. 412-417, 1968.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York, Academic Press, 1982. 264p

HINSINGER, P. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. **Advances in Agronomy**, v.64, p.225-265,1998.

KARLEN, D. L. & STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W., Coleman, D.C. Bezdicek, D. F., Stewart, B. A. (Eds), **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub.**, v.35, p.53-72, 1994

KARLEN, D. L.; WOLLENHAUPT, N. C.; ERBACH, D. C. BERRY, E. C.; SWAN, J. B. et al. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. **Soil Tillage Res.**, v.31, p.149-167, 1994.

KEMPER, W. D., STEENART, B. A., PORTER, L. K. Effects of compaction on soil nutrient status. In:Barnes, K. K. **Compaction of agricultural soils**. Michigan ASAE, 1971 p.178-189.

LANDSBERG, J. J. & WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **For. Ecol. Manage.**, v.95, p.209-228, 1997.

LANDSBERG, J. J. The biophysical environment. In: NAMBIAR, E.K.S. & BROWN, A.G. **Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests**. Canberra, ACIAR, 1997 (65-95p)

LARSON, W. E. & PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W., Coleman, D.C. Bezdicek, D. F., Stewart, B. A. (Eds), **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil. Sci. Soc. Am. Spec. Pub.**,v.35, p.37-52, 1994

LEITE, F.P., BARROS, N.F. NOVAIS, R.F. SANS, L.M.A. & FABRES, A.S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Rev. Árvore**, v. 21, p.313-322. 1997.

LEITE, H. G. & GARCIA, S. L. R. **Estudos de Inventário, Mensuração e Manejo Florestal na CENIBRA - Celulose Nipo Brasileira II**. VIÇOSA, DEF, SIF, 2001.

LEITE, H. G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando programação dinâmica**. Viçosa: UFV, 1994. 230p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)). - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

LEITE, N.B. **Reflorestamento industrial no Brasil: uma atividade sustentável**. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2002 (<http://sbs.org.br>, acessado em 17/12/2004)

LEMOS, R. C. & SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**, 4ed. Campinas, SBCS/EMBRAPA, 1995. 46p.

LIMA, P.C., BARROS, N.F., MOSQUIN, P.R. Alterações na produção e distribuição de açúcares solúveis e de amido em plantas de *Eucalyptus spp* submetidas ao déficit hídrico do solo. In: **IUFRO Conference on Silviculture an Improvement of Eucalypts, 1997, Proceedings, v.4**. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 46-51

MAGALHÃES, L. M. S. e BLUM, W. W. H. Distribuição radicular de espécies florestais plantadas na região de Manaus, Amazônia. **Floresta e Ambiente**, v.7, p.93-103, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ed. San Diego, USA, Academic Press Inc. 1995. 889p.

McNAB, W.H. A topographic index to quantify the effect os mesoscale landform on site productivity. **Can. J. For. Res.**, v.23, p.1100-1107, 1993.

MELO, V.F. **Relação entre a reserva mineral de solos e a produção e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith, no Rio Grande do Sul**. Viçosa, MG: UFV, 1994, 145 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil: Revisão de literatura. **R. Bras. Ci. Solo**, v.1 n.2-3, p.555-561, 1977.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, A. S.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica dos solos**. Porto Alegre: GENESIS, 1999. p.1-8.

NACHTIGALL, G.R., VAHL, L.C. Dinâmica de liberação de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. **R. bras. Ci. Solo**, v.15, p.43-47, 1991b.

NAMBIAR, E. K.S. Sustained productivity of Forest is a continuing challenge to Soil Science. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.60, p.1629-1642, 1996.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. Campos dos Goytacazes: UENF, 2000, 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.

NEVES, J.C.L. Sustentabilidade da produção e sua modelagem. . In: Simpósio sobre nutrição e adubação do eucalipto, 1, 2004, São Pedro, São Paulo, **CD-room...** São Pedro, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, A. A. K.; LEITE, A. da S. **Projeto Leste: Folha Ipatinga – SE.24-Z-D-II**, escala 1:100.000. v.20. Belo Horizonte, SEME/COMIG/CPRM, 2000. 58p

OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T. e CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para o seu reconhecimento**. 2ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992.

OREN, R., SHERIFF, D.W. Water and nutrient acquisition by roots and canopies. In: Smith, W.K. & Hinckley, T.M. (eds.) **Resource Physiology of Conifers: Acquisition, Allocation, and Utilization**. San Diego: Academic Press, p. 39-74, 1995.

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 202p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) -, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Universidade de São Paulo, 2003.

PADILHA, A. V.; VIEIRA, S. V.; HEINECK, C. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Itabira, Folha SE.23-Z-D-IV**. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Brasília, CPRM, 2000.

PATELA, J. F. Influência de quinze anos de adubação NPK sobre o rendimento do trio e algumas propriedades do solo. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, v.4, p.31-35, 1980.

PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

RALSTON, C. W. Evaluation of forest site productivity. In: ROMBERGER, T. A. & MIKOLA, P (eds). **International review of forest research**. New York, Academic Press, v.1, p.171-201, 1964

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1987. 188p.

REIS, M.G.F., KIMMINS, J.P., REZENDE, G.C., BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v.9, p.149-162, 1985.

RESCHUTZEGGER, G. M. **Relação entre características edáficas e a produtividade de eucalipto na região central do Uruguai**. Viçosa: UFV, 2003, 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2003

RESENDE, M. & REZENDE, S. B. Levantamento de solo: uma estratificação de ambientes. **Informe Agropecuário**, v.9, p.3-25, 1983.

RESENDE, M. BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M. Mineralogia de argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, v.11, p.17-23, 1987.

RESENDE, M., CURTI, N., REZENDE, S. B., CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.

RESENDE, M.; LANI, J. L.; REZENDE, S. B. de. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Rev. Árvore**, v.26, p.261-269. 2002a.

RESENDE, M; CURTI, N.; LANI, J. L. Reflexões sobre o uso dos solos Brasileiros. In: ALVAREZ V, V. H. et al eds. **Tópicos em Ciência do Solo**, vol.2 Viçosa, SBCS, 2002b. p. 593-643

RICCI, M.S.F., DEFELIPO, B.V. COSTA, L.M. REZENDE, S.B. As frações granulométricas do solo como reserva de potássio para as plantas. **R. bras. Ci. Solo**, n.13, v.2, p.181-186, 1989.

RICHARDS, N.A. & STONE, E.L. The application of soil survey to planting site selection: an example from the Allegheny uplands of New York. **J. Forestry**, v.62, p.475-480, 1964.

RUIZ, H. A. **Efeito do conteúdo de água no solo e transporte de fósforo em dois Latossolos**. Viçosa: UFV, 1985, 86 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1985

SACRAMENTO NETO, O. B. do. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente, MG**. Viçosa: UFV, 2001, 89p. Dissertação (Mestrado em Climatologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

SANDS, R., MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, v.30, p.91-111, 1990.

SANTANA, J. A. S. **Efeitos de propriedades dos solos na produtividade de duas espécies de eucalipto na região do Médio Rio Doce, MG**. Viçosa: UFV, 1986, 117p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1986.

SANTOS, C. A. P. **Qualidade de solos sob eucalipto fertirrigado no vale do Belo Oriente – MG**. Viçosa: UFV, 2004a. 61p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, 2004a.

SANTOS, F. C. S. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja**. Viçosa: UFV, 2002, 68p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SANTOS, R. D. dos. Unidades de manejo. In: Simpósio sobre nutrição e adubação do eucalipto, 1, 2004, São Pedro, São Paulo, **CD-room...**São Pedro, São Paulo, 2004b.

SBS, **Anuário Estatístico. Sociedade Brasileira de Silvicultura**, 2001. (<http://www.sbs.org.br>, acessado em 17/12/2004).

SCHONAU, A. P. G. & ALDWORTH, W. J. K. Site evaluation in black wattle with special reference to soil factors. **South African Forestry Journal**, v.156, p.35-43, 1991.

SCHONAU, A. P. G. Problems in using vegetation or soil classification in determining site quality. **South African Forestry Journal**, v.141, p.13-18, 1987.

SHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management** , v.13, p. 335-356, 2000.

SILVA, G. G. C. da. **Diagnose e nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND**. Viçosa: UFV, 2001, 132p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. New York, John Wiley & Sons, 1962. 78p.

SOLOS DO JARI, **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos sob floresta cultivada na área da Companhia Florestal Monte Dourado no Jarí**. Rio de Janeiro, Companhia Florestal Monte Dourado, 1989.

SPURR, S. H. & BARNES, B. V. **Forest Ecology**. 2 ed. New York: John Wiley, 1980.

STENGERG, R. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Acta Agric. Scand., B, Soil and Plant Sci.**, v.49, p.1-24. 1999.

TEIXEIRA, J. L. **Conteúdo de nutrientes e produção de eucalipto em diferentes ambientes do Rio Doce, MG**. Viçosa: UFV, 1987, 70 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1987

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. Publications in Climatology, v.8, n.1

TINKER, P. B. & NYE, P.H. **Solute movement in the rhizosphere**. New York, USA, Oxford University Press, 2000. 444p.

TORRENT, J; SCHWERTMANN, U; SCHULZE, D. G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. **Geoderma**, v.23, p.191-208,1980.

TÓTOLA, M. R. & CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V, V. H. et al eds. **Tópicos em Ciência do Solo**, vol.2 Viçosa, SBCS, 2002. p. 195-276

TURCO, R. F.; BLUME, H. Indicators of soil quality. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 23, Lavras. **Anais...** Sociedade brasileira de ciência do solo/Sociedade brasileira de microbiologia, 1998.

WILNDING, L. P. SMECK, N. E. and HALL, G. F. **Pedogeneis and soil taxonomy: II. The soil orders**. Elsevier Sci. Publishing Company ind. Amsterdam, 1983.

WYMORE, A. W. **Model-Based Systems Engineering. An Introduction to the Mathematical Theory of Discrete Systems and to the Tricotyledon Theory of System Design**. CRC, Boca Raton, FL, 1993.

ZAHNER, R. Site-quality relationships of pine forest in Southern Arkansas na Northern Louisiana. **Forest Science**, v.4, p.162-176, 1958.