

MAUREL BEHLING

**NUTRIÇÃO, PARTIÇÃO DE BIOMASSA E CRESCIMENTO DE
POVOAMENTOS DE TECA EM TANGARÁ DA SERRA-MT**

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
2009

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

T

B419n
2009

Behling, Maurel, 1977-

Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoa-
mentos de Teca em Tangará da Serra - MT / Maruel

Behling. - Viçosa, MG, 2009.

xviii, 156f.: il. (algumas col) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Júlio César Lima Neves.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Fertilidade do solo. 2. Teca (Árvore) - Nutrição.
3. Teca (Árvore) - Crescimento - Modelos matemáticos.
4. Plantas e solo. 5. Modelo 3-PG. 6. Nutrientes. 7. Teca
(Árvore) - Populações. 8. Adubação. 9. Teca (Árvore) -
Raízes - Teor de nutrientes. 10. Biomassa florestal. I.
Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.42

MAUREL BEHLING

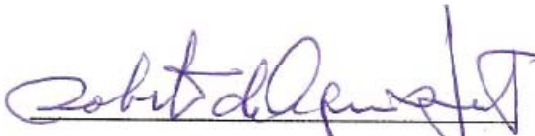
**NUTRIÇÃO, PARTIÇÃO DE BIOMASSA E CRESCIMENTO DE
POVOAMENTOS DE TECA EM TANGARÁ DA SERRA-MT**

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*.

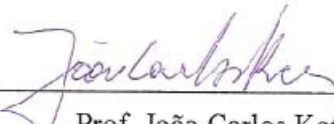
APROVADA: 26 de fevereiro de 2009



Prof. Mélio Garcia Leite
(Co-orientador)



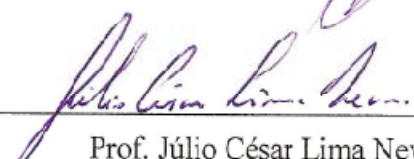
Prof. Roberto de Aquino Leite
(Co-orientador)



Prof. João Carlos Ker



Prof. Lafayette G. Campelo Martins



Prof. Júlio César Lima Neves
(Orientador)

A toda a minha família, pelo incentivo e pela confiança durante todos esses anos.

À minha mãe Elari e ao meu pai Edemar, pelo exemplo de vida.

As minhas irmãs Adriane e Luciana, pelo apoio e carinho em todos os momentos de minha vida.

À minha filha Maria Eduarda, pela nova perspectiva de vida.

Aos meus sobrinhos Ana Carolina e João Vitor, pela alegria e renovação.

À minha querida Rafaella, pelo incentivo, companheirismo e acima de tudo, o amor desses anos.

Dedico este trabalho com muito carinho

“Todas as religiões foram verdadeiras, para o seu tempo. Quem for capaz de reconhecer o aspecto não perceptível da sua verdade e separá-lo do que é circunstancial, terá apreendido isso” (Joseph Campbell).

“Entretanto, se descobrirmos de fato uma teoria completa (unificação da física).. Então devemos todos, filósofos, cientistas, e mesmos leigos, ser capazes de fazer parte das discussões sobre a questão de por que nós e o universo existimos. Se encontrarmos a resposta para isto teremos o triunfo definitivo da razão humana; porque, então, teremos atingido o conhecimento da mente de Deus.” (Stephen W. Hawking).

“Deus não criou o homem a sua imagem e semelhança. O homem é que o inventou a sua imagem e semelhança. Deus é a menor partícula subatômica, a menor porção de matéria-energia, a base de tudo o que existe no universo. Deus é o próprio universo em micro e macro escala. Se cabe a mim acreditar ou não em Deus, também cabe a mim acreditar na minha existência” (Maurel Behling).

Namastê: “O Deus que há em mim saúda o Deus que há em você”.

AGRADECIMENTOS

À “Deus”, por tudo, pela vida, por seu sopro e pelo seu espírito. Descobrimos que não devemos ficar esperando por Deus para solucionar nossos problemas, pois cabe a nós a liberdade de tomar as decisões que nos são pertinentes, no entanto também nos cabe a responsabilidade por elas, Deus apenas nos guia, não nos proíbe de nada.

À minha família pelo apoio e pela confiança em mim depositada. Obrigado, não por ter me apontado o caminho, mas por ter-me dado à liberdade de seguir pelo caminho que achava ser meu. Apesar da grande distância, vocês sempre estão presentes ao meu lado, dando-me muita força e coragem a todo instante. Sem vocês, seria impossível esta caminhada, uma pessoa bem acompanhada, nunca está só.

À minha amada, minha parceira, Rafaella, pelo amor, carinho e compreensão aos momentos de ausência. Por todos os momentos agradáveis ao seu lado, que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, principalmente ao Departamento de Solos e ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela orientação durante esses anos.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

Ao José Luiz Teixeira pelas orientações e boas gargalhadas durante o trabalho de campo.

À Tectona Agroflorestal pelo apoio financiamento. Agradeço ao Sr. Luit Smith, Selton, João, Márcio, Juliano e todos os funcionários que trabalharam nas coletas de campo.

À estudante de graduação em Agronomia Caroline Barbizan Kischimoto que muito me ajudou nos trabalhos de laboratório.

À Luciana Duque, à “Lu”, pela grande amizade e presença constante em minha vida, que mesmo distante sempre me apoiou.

Aos amigos de república “Os Pirigozo”: Claudinei (“Bad”), Edson Márcio (Smith), Eduardo Matos (Pirigozo), Roniscley (Gambazão), José Dioenis (Diou), Jocimar (Manesthein), Salim, Jorge (Japa), Vitor (Chinês), Ricardo, Eric (House) e as respectivas “Pirigozas”, especialmente Roberta e Luciana, pela amizade e convivência.

À Zita pelo carinho e cuidado com todos na república “Os Pirigozo”, no seu papel de mãe, amiga e conselheira.

À Erly, Natália, Diogo e Julimar pela amizade e carinho com que sempre me receberam em Rio Verde-GO.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, principalmente ao Departamento de Solos e ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. Especialmente aos professores: Nelson Moura Brasil, Nelson Mazur, Clarice de Oliveira, Lucia Helena dos Anjos, Marcos Gervasio Pereira, Everaldo Zonta, Eduardo Lima e Alexandre Raveli, pela minha formação como engenheiro agrônomo e mestre, por me apresentarem a pesquisa e a ciência e pela amizade e apoio durante os anos que passei na UFRRJ.

Agradeço também a todos que direta ou indiretamente colaboraram para realização deste trabalho, por meio de suas palavras de apoio, incentivo, críticas e sugestões.

Muitíssimo obrigado!!!...

BIOGRAFIA

Maurel Behling, filho de Edeimar Behling e Elari Behling, nasceu em 30 de março de 1977, na cidade de Campo-Erê - SC.

Ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Cuiabá-MT em 1993, concluindo o curso de Técnico em Agropecuária no ano de 1995. No ano de 1996 concluiu o curso de Pós-Técnico em Zootecnia pela Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa-ES.

Graduou-se em Agronomia no ano de 2002, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, sendo bolsista de iniciação científica do CNPq na área de Química e Poluição do Solo, no período de agosto de 1999 a fevereiro de 2003.

Em março de 2003 ingressou no Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo na UFRRJ, onde foi bolsista da CAPES no primeiro ano, e do programa bolsa nota 10, da FAPERJ, no segundo ano, defendendo tese em 18 de fevereiro de 2005 (Tese: Nitrogênio e Metais Pesados em Área de Planossolo da UFRRJ Cultivada com Soja (Cv. Celeste) Após Aplicação de Resíduos Industriais).

Em março de 2005 iniciou o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em 26 de fevereiro de 2009 (Tese: Nutrição, Partição de Biomassa e Crescimento de Povoamentos de Teca em Tangará da Serra-MT).

Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em manejo, conservação e fertilidade do solo, adubação e nutrição de plantas, atuando principalmente nos seguintes temas: balanço nutricional, nutrição florestal, aptidão e manejo do solo, modelos de balanço de nutrientes, modelagem ecofisiológica, recomendação de adubação, sustentabilidade da produção de florestas plantadas e biorremediação de solos contaminados por metais pesados.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	6
CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM PLANTIOS DE TECA AOS 17 E 90 MESES DE IDADE EM TANGARÁ DA SERRA-MT.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
3.1 Exame de Trincheira.....	14
3.2 Textura e Umidade do Solo.....	16
3.3 Densidade do Solo.....	19
3.4 Curva Característica de Retenção de Água no Solo.....	22
3.5 Nutrientes no Solo.....	27
4 CONCLUSÕES.....	36
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
CAPÍTULO 2: BIOMASSA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM RAÍZES E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES PARA A FORMAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE RAÍZES FINAS E MÉDIAS EM POVOAMENTOS DE TECA.....	39
1 INTRODUÇÃO.....	41
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4 CONCLUSÕES.....	53
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
CAPÍTULO 3: RELAÇÕES ENTRE AS SUPERFÍCIES DE AQUISIÇÃO DOS RECURSOS RADIAÇÃO SOLAR, ÁGUA E NUTRIENTES MINERAIS EM POVOAMENTOS DE TECA COM 7,5 ANOS.....	56
1 INTRODUÇÃO.....	58
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4 CONCLUSÕES.....	72
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
CAPÍTULO 4: BIOMASSA, CONTEÚDO, PARTIÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE TECA NO MUNICÍPIO DE TANGARÁ DA SERRA-MT.....	74
1 INTRODUÇÃO.....	76
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	77
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
4 CONCLUSÕES.....	91
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

CAPÍTULO 5: PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO DE CRESCIMENTO 3-PG PARA PLANTIOS DE TECA NA REGIÃO SUDOESTE DE MATO GROSSO	95
1 INTRODUÇÃO	97
2 MATERIAL E MÉTODOS	98
2.1 Coleta de dados para parametrização do modelo 3-PG.....	102
2.2 Calibração do Modelo 3-PG	103
2.3 Análises estatísticas para avaliação do Modelo 3-PG.....	104
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
4 CONCLUSÕES	109
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
CAPÍTULO 6: AVALIAÇÃO DO SISTEMA PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO DE POVOAMENTOS DE TECA	112
1 INTRODUÇÃO	114
2 MATERIAL E MÉTODOS	116
2.1 Variáveis calculadas.....	117
2.2 FERTITECA	118
2.3 Avaliação do subsistema planta do FERTITECA.....	120
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	120
3.1 Produção e partição de biomassa	120
3.2 Conteúdos e partição de nutrientes	121
3.3 Eficiência de utilização de nutrientes (CUB).....	133
3.4 Balanço de nutrientes nos plantios.....	135
3.5 Informações utilizadas para a parametrização do subsistema planta	137
3.6 Aplicação do sistema	138
3.7 Avaliação do FERTITECA.....	145
4 CONCLUSÕES	146
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
CONCLUSÕES GERAIS	149
ANEXO	150

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Identificação das áreas com condições favoráveis para o estabelecimento de plantios de teca no Brasil (Torres, 1999) e localização do município de Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso.12
- Figura 2.** Solos predominantes da região do município de Tangará da Serra-MT. Fonte: Mapa A001. Mapa de solos do Estado de Mato Grosso, SEPLAN, 2001.....12
- Figura 3.** Trincheiras das parcelas A01 a A05 e mata para a coleta de amostras de solo indeformadas (Ds) e observação da distribuição das raízes ao longo do perfil e identificação dos pontos de compactação do solo.....15
- Figura 4.** Prática de sub-solagem: (a) prática de subsolagem com aplicação de fosfato e cama de aviário no sulco, (b) e (c) incidência de raízes no local sulcado e (c) ponto de deposição de fosfato natural no fundo do sulco em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.....16
- Figura 5.** Variação da textura do solo em profundidade em parcelas de teca, em pastagem e mata próxima às parcelas.17
- Figura 6.** Problemas relacionados ao solo dos povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT: (a) e (b) rachaduras na superfície do solo, (c) raízes pouco profundas e mortas devido às condições inóspitas do solo (compactação e excesso de água) e (d) detalhe da raiz morta dentro do torrão de solo.18
- Figura 7.** Variação da umidade do solo (m^3/m^3) em profundidade nas parcelas de teca, pastagem e mata próxima as parcelas.....20
- Figura 8.** Variação dos valores da densidade do solo (Ds) na linha de plantio e na linha do pneu do trator e densidade de partículas (Dp) em profundidade nas parcelas com teca, em pastagem e mata.21
- Figura 9.** Retenção estimada de umidade a diferentes tensões, em perfis sob plantios de teca (*Tectona grandis*) e mata na região de Tangará da Serra-MT.....24
- Figura 10.** Quantidades de água disponível, não disponível e drenada no solo das parcelas de A01 a A05 de teca e mata.....25
- Figura 11.** Ocorrência de árvores mortas em pontos isolados associados às condições de drenagem imperfeita em povoamento de teca com 90 meses de idade, no município de Tangará da Serra-MT.26
- Figura 12.** Teores de macronutrientes em razão da profundidade e do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.28
- Figura 13.** Propriedades químicas do solo em razão da profundidade e do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.....29
- Figura 14.** Teores de micronutrientes em razão da profundidade e do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.....30

Figura 15. Box plot dos teores de Mg na camada de 0-10 cm de profundidade em razão do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.....	31
Figura 16. Teores de macronutrientes em diferentes profundidades observados em plantios de teca com 17 e 90 meses de idade e em uma área de mata, no município de Tangará da Serra-MT.....	33
Figura 17. Propriedades químicas do solo em diferentes profundidades observados em plantios de teca com 17 e 90 meses de idade e em uma área de mata, no município de Tangará da Serra-MT.....	34
Figura 18. Teores de micronutrientes em diferentes profundidades observados em plantios de teca com 17 e 90 meses de idade e em uma área de mata, no município de Tangará da Serra-MT.....	35

CAPÍTULO 2

Figura 1. Esquema utilizado na coleta das raízes de teca, sendo: L pontos de coleta equidistantes na linha de plantio, E na entre linha e D na diagonal a linha de plantio, posicionados em relação a uma árvore média abatida na parcela.....	43
Figura 2. Atributos morfométricos: (a) Densidade (g/dm^3), (b) densidade de comprimento radicular (m/dm^3), (c) densidade de superfície radicular (m^2/m^3) e (d) área radicular específica ($\text{ARE} = \text{m}^2/\text{kg}$ de MS) de raízes finas e médias, em profundidade, para <i>Tectona grandis</i> aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT.....	49
Figura 3. Distribuição dos teores de macronutrientes de raízes grossas, médias e finas em profundidade para <i>Tectona grandis</i> , aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT.....	50
Figura 4. Distribuição dos conteúdos de macronutrientes de raízes grossas, médias e finas em profundidade para <i>Tectona grandis</i> , aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT.....	51
Figura 5. Eficiência na utilização de macronutrientes para formação de superfícies radiculares (EUN_{AR}) de raízes finas e médias em profundidade para <i>Tectona grandis</i> , aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT.....	53

CAPÍTULO 3

Figura 1. Área foliar individual (cm^2/folha) (a), área foliar específica (AFE) em m^2/kg de massa seca de folhas (b) e índice de área foliar (IAF) em m^2/m^2 de solo (c) em plantios de teca com 17 e 90 meses nas diferentes classes de diâmetro.....	64
Figura 2. Área radicular específica (ARE) em m^2/kg de massa seca de raízes (a) e índice de área radicular (IAR) em m^2/m^2 de solo (b) em raízes finas e médias de árvores de teca.....	66
Figura 3. Relações alométricas entre biomassa da parte aérea (a) e de raízes (b), área foliar (c) e área radicular de raízes finas (d) e médias (e) com o diâmetro a altura do peito (DAP) de árvores de teca.....	67
Figura 4. Relações entre a área radicular específica (ARE) e área foliar específica (AFE) (a), do índice de área radicular (IAR) com o índice de área foliar (IAF) (b), da superfície de raízes finas com a área foliar (c) e entre superfície de raízes médias com área foliar (d) de árvores de teca.....	69
Figura 5. Relações entre biomassa de raízes finas e biomassa de folhas (a), da biomassa de raízes finas com a biomassa da parte aérea (b), da biomassa de raízes médias com a	

biomassa de folhas (c) e da biomassa de raízes médias com a biomassa da parte aérea (d) de árvores de teca.....71

Figura 6. Relações entre a biomassa total de raízes com a área foliar e a biomassa total da parte aérea de árvores de teca.....71

CAPÍTULO 4

Figura 1. Avaliações dendrométricas das classes de diâmetro inferior ($\leq X - S$), média ($X - S > X < X + S$) e superior ($\geq X + S$) em plantios de *Tectona grandis*, aos 7,5 anos de idade, localizados em Tangará da Serra-MT.....81

CAPÍTULO 5

Figura 1. Estrutura básica do 3-PG. IAF é o índice de área foliar; α_C é a eficiência no uso da luz; η_R , η_T e η_F são coeficientes de partição da biomassa para raízes, tronco e folhas, respectivamente; PPB e PPL a produtividade primária bruta e líquida (adaptado de Landsberg & Waring, 1997 por Flores e Allen, 2004).....100

Figura 2. Relações alométricas para biomassa de fuste (tronco + galhos), altura, volume de lenho e matéria seca (MS) de folhas acumulada em função do DAP de árvores de teca, para a região sudoeste do Mato Grosso.....106

Figura 3. Estimativas da biomassa de folhas, índice de área foliar, biomassa de fuste (tronco + galhos), diâmetro à altura do peito, volume de lenho e incremento médio anual, obtidas pelo modelo 3-PG, nas idades de 1,42 a 7,37 anos, para a região sudoeste do Mato Grosso.107

CAPÍTULO 6

Figura 1. Desvio percentual entre os valores estimados pelo FERTITECA e observados em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT, para algumas variáveis de crescimento e produção de biomassa, bem como para os conteúdos de macro e de micronutrientes no tronco (TR) e no lenho (LH).146

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros do modelo de Van Genuchten ajustados com dados obtidos em plantios de teca (*Tectona grandis*) e mata, na região de Tangará da Serra-MT.....22

Tabela 2. Comparação dos teores de nutrientes nas folhas de árvores de teca com sintomas de deficiência de Mg com a média dos teores das plantas normais.....31

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Biomassa seca, comprimento e superfície de raízes finas (< 2 mm Φ) e médias (2 a 5 mm Φ), em diferentes profundidades do solo, para *Tectona grandis* aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT.....46

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Teores de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de *Tectona grandis* com 7,5 anos de idade em Tangará da Serra-MT.....83

Tabela 2. Biomassa, conteúdo de nutrientes e partição nos diferentes compartimentos das árvores de povoamentos de teca, com 7,5 anos de idade, localizados no município de Tangará da Serra-MT.....88

Tabela 3. Eficiência de utilização de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de *Tectona grandis* com 7,5 anos de idade em Tangará da Serra-MT.....90

CAPÍTULO 5

Tabela 1. Descrição dos principais dados de entrada e de saída e unidades utilizados pelo modelo 3-PG.....101

Tabela 2. Parametrização do Modelo 3-PG com base nas características fisiológicas do sistema de produção da teca para a região de Tangará da Serra - Mato Grosso.....104

Tabela 3. Parâmetros da relação linear entre valores estimados (P_i) e observados (O_i), raiz quadrada do erro médio (RQEM), eficiência (EF) do modelo 3-PG, teste F (F_{H0}) e teste t do erro médio (t_{ϵ}) para estimativa da biomassa de folhas, fuste (tronco+galhos), DAP, volume e IMA.....109

CAPÍTULO 6

Tabela 1. Valores de taxa de recuperação de nutrientes (TR_{ext}), ou equações que a estimam, pelos extratores utilizados na análise de solo.....118

Tabela 2. Valores de taxa de recuperação de nutrientes pela planta (TR_{pl}), ou equações que a estimam, utilizados no FERTITECA.....119

Tabela 3. Biomassa, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....121

Tabela 4. Conteúdo médio de nitrogênio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....123

Tabela 5. Conteúdo médio de fósforo, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....124

Tabela 6. Conteúdo médio de potássio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	125
Tabela 7. Conteúdo médio de cálcio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.	126
Tabela 8. Conteúdo médio de magnésio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	127
Tabela 9. Conteúdo médio de enxofre, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	128
Tabela 10. Conteúdo médio de zinco, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	129
Tabela 11. Conteúdo médio de ferro, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.	130
Tabela 12. Conteúdo médio de manganês, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	131
Tabela 13. Conteúdo médio de cobre, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	132
Tabela 14. Conteúdo médio de boro, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.	133
Tabela 15. Coeficiente de utilização biológico (CUB) de nutrientes para produção de lenho (matéria seca de lenho/conteúdo no lenho), em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	134
Tabela 16. Coeficiente de utilização biológico (CUB) de nutrientes para produção de tronco (matéria seca de tronco/conteúdo no tronco), em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	135
Tabela 17. Balanço de P, K, Ca e Mg em plantios de teca com diferentes idades no Estado do Mato Grosso.....	136
Tabela 18. Coeficientes da equação $y = aebx$ para a relação casca/tronco, copa + raiz + serapilheira/tronco e copa + raiz/tronco em função da idade (meses) de plantios de teca, aplicáveis a biomassa e conteúdos de nutrientes.....	138
Tabela 19. Coeficientes da equação $y = aebx$ para a relação casca/lenho, copa + raiz + serapilheira/lenho e copa + raiz/lenho em função da idade (meses) de plantios de teca, aplicáveis a biomassa e conteúdos de nutrientes.	138
Tabela 20. Resultados de análises de solo sob plantios de teca com 90 meses.....	139
Tabela 21. Valores de taxa de recuperação de nutrientes pelo extrator e respectivo suprimento de macronutrientes e micronutrientes (kg/ha) por camadas de solo sob povoamento de teca com 90 meses de idades.....	140
Tabela 22. Taxa de recuperação de nutrientes (TR_{pi}) pelas árvores de teca, aos 90 meses, e respectivas quantidades requeridas.	144
Tabela 23. Balanço de P, K, Ca, Mg e Zn para plantios de teca com 90 meses em Tangará da Serra-MT.....	144

ANEXO

Tabela 1. Idade, intensidade dos desbastes e histórico das adubações realizadas em sete parcelas instaladas em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.	151
Tabela 2. Valores da soma de quadrados de micro e macronutrientes da análise de variância e X^2 do teste de Friedman para o efeito do local de coleta (linha de plantio com árvores (LP) na entre linha com árvores (EL) e linha de plantio entre desbastes (LD)) nas parcelas com plantas de 90 meses.	152
Tabela 3. Valores da soma de quadrados de características químicas do solo da análise de variância X^2 do teste de Friedman para o efeito do local de coleta (linha de plantio com árvores (A) na entre linha com árvores (E) e linha de plantio entre desbastes (N)) nas parcelas com plantas de 90 meses.	153
Tabela 4. Valores calculados da estatística “t” e sua significância (p) para avaliar o efeito da classe de DAP sobre os teores de nutrientes nas plantas das parcelas de teca com de 90 meses.	154
Tabela 5. Valores calculados da estatística “t” e sua significância (p) para avaliar o efeito da classe de DAP sobre o CUB nas parcelas de teca com de 90 meses.	155
Tabela 6. Resultados de análises químicas do solo sob plantios de teca, aos 17, 29 e 90 meses, em Tangará da Serra-MT	156

RESUMO

BEHLING, Maurel, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009.

Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT. Orientador: Júlio César Lima Neves. Co-orientadores: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite e Roberto de Aquino Leite.

A *Tectona grandis*, popularmente conhecida como teca, originária do sudoeste asiático, é cultivada no Mato Grosso com sucesso, com a obtenção de madeira para serraria de ótima qualidade. O adequado manejo nutricional é condição necessária à obtenção de altas produtividades, bem como à sustentabilidade da produção. Este trabalho teve como objetivos: 1) quantificar a biomassa, o conteúdo de macronutrientes e sua distribuição nos diferentes compartimentos de árvores de teca e avaliar a eficiência de uso desses nutrientes para formação dos diferentes compartimentos e superfícies de aquisição dos recursos luz, água e nutrientes; 2) parametrizar o modelo de crescimento, baseado em processos, 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth) para plantios de teca na região Sudoeste de Mato Grosso; e 3) aprimorar o subsistema planta do sistema para recomendação de adubação para teca (FERTTECA). O trabalho foi desenvolvido em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT onde foram avaliadas sete parcelas com 132 árvores/parcela. Destas, duas eram parcelas com árvores jovens (17 meses) e cinco com árvores adultas (90 meses), três das quais também já avaliadas aos 29 meses por Oliveira (2003) e outras duas foram adicionadas e avaliadas em 2004 pela própria empresa proprietária da área. Em conjunto, foram assim obtidas quatro épocas diferentes de avaliação 17, 29, 64 e 90 meses. Foi abatida a árvore média em cada parcela aos 17, 29 e 64 meses, já aos 90 meses estratificou-se em três classes de diâmetro (DAP), representando o grau de dominância. Foram individualizados os componentes: folhas, galhos, casca, lenho,

raízes e serapilheira, visando à determinação da matéria seca, teores e conteúdo de nutrientes, além da área foliar específica (AFE) e área específica de raízes finas ($< 2 \text{ mm } \phi$) e médias ($2 \text{ a } 5 \text{ mm } \phi$). No solo, foram determinados os teores de nutrientes, densidade do solo e de partículas, as frações areia grossa, fina, silte e argila e curvas de retenção de água em diferentes camadas. Os teores de argila do solo são superiores a 60 % na superfície, sempre ultrapassando este valor em profundidade. Em média, a densidade do solo foi de $1,2 \text{ kg/dm}^3$ e densidade de partículas de $2,9 \text{ kg/dm}^3$ ao longo do perfil do solo. A água disponível, variou de $0,086$ a $0,134 \text{ m}^3/\text{m}^3$ na camada de 0-20 cm e de $0,116$ a $0,171 \text{ m}^3/\text{m}^3$ na camada de 40-60 cm. A biomassa total de raízes finas e médias foi de 1.335 e 1.258 kg/ha, respectivamente, com 56,2 % das raízes finas e 44,4 % das raízes médias concentradas na camada 0-20 cm. O comprimento total de raízes finas foi de 8.237 km/ha com 57,4 % nos primeiros 20 cm de profundidade. A quantidade total de nutrientes nas raízes, na camada de solo estudada (40-60 cm), em ordem decrescente foi $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, sendo o P e S os nutrientes utilizados com maior eficiência para a formação de superfície radicular. A teca apresentou, em média, área foliar específica (AFE) de $13,1 \text{ m}^2/\text{kg}$ e ARE (raízes finas) de $13,9 \text{ m}^2/\text{kg}$, indicando eficiência de mesma ordem de magnitude quanto à utilização do C na produção de superfícies para aquisição dos recursos radiação solar, água e nutrientes. O índice de área foliar (IAF) médio foi $1,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ nas plantas jovens e de $8,3 \text{ m}^2/\text{m}^2$ nas plantas adultas. A biomassa total do povoamento aos 90 meses foi de 133 t/ha, particionada na seguinte seqüência: lenho (51 %), raízes (17 %), galhos (13 %), casca (7 %) e folhas (5 %). A eficiência de utilização dos nutrientes para produção de parte aérea apresentou a seqüência $\text{S} > \text{P} > \text{Mg} > \text{N} > \text{K} > \text{Ca}$ enquanto que para o lenho $\text{S} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Ca} > \text{N} > \text{K}$, não havendo diferenças apreciáveis de eficiência em função do grau de dominância das árvores. A parametrização do 3-PG proporcionou boas estimativas para biomassa de folhas, índice da área foliar, biomassa de fuste (tronco + galhos), DAP, volume de lenho e incremento médio anual, variáveis que refletem o crescimento da floresta. A partição de carbono e de macronutrientes minerais para a copa decresceu com a idade das árvores, aumentando no tronco. O sistema FERTTECA mostrou-se satisfatório quanto às estimativas de produção volumétrica e de biomassa, bem como quanto aos conteúdos estimados de nutrientes no lenho ou no tronco.

ABSTRACT

BEHLING, Maurel, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february 2009. **Nutrition, biomass partition and growth of teak stands in Tangará da Serra-MT.**
Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-advisers: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite and Roberto de Aquino Leite.

Tectona grandis, popularly known as teak, originated in the Southwest Asia, is being successfully cultivated in Mato Grosso State, Brazil, providing high-quality wood for sawmill. Appropriate nutritional management is necessary to the obtain of high productivity, as well as the sustainability of the production. This work had as objectives: 1) quantify the biomass, the macronutrients content and their distribution in the different compartments of teak trees, in order to evaluate the use efficiency of those nutrients for the formation of different compartments and surfaces of acquisition of resources: light, water and nutrient; 2) parameterization of the processes-based growth model 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth) for teak plantations cultivated in the Southwest region of Mato Grosso; and 3) improve the plant subsystem of the system for using in fertilizer recommendations for teak plantations (FERTTECA). The work was developed in teak plantations located in Tangará da Serra-MT, a municipality in which seven plots with 132 trees each were assessed. Two of these plots were with young trees (17 months) and five with adult trees (90 months). Three of these adult plots were already evaluated at 29 months by Oliveira (2003) and two more were added and evaluated in 2004 by the company owning the area. Together, four different times of evaluation 17, 29, 64 and 90 months were obtained. The average tree was cut down in each plot at 17, 29 and 64 months, however, at 90 months, the stands were divided into three 1.3 m-diameter (DBH) classes (lower, middle and upper class). The sample trees were those with the DBH values closest to the average of each class. The trees were

separated into: leaves, branches, bark, stemwood, roots and litter, aiming the determination of dried matter and nutrients content besides the specific leaf area (SLA) and specific root area (SRA) for fine roots ($< 2 \text{ mm } \phi$) and middle roots ($2\text{-}5 \text{ mm } \phi$). In the soil, the nutrients content, the soil density and particles density, the thick sand, fine sand, silt, clay fractions and water retention curves in different layers were determined. The clay content was higher than 60% in the surface, decreasing with depth. On average, the soil density was 1.2 kg/dm^3 and the particles density was 2.9 kg/dm^3 along the soil profile. The available water varied between 0.086 and $0.134 \text{ m}^3/\text{m}^3$ in the 0-20 cm layer and 0.116 and $0.171 \text{ m}^3/\text{m}^3$ in the 40-60 cm layer. The total biomass of fine and medium roots was 1.335 and 1.258 kg/ha , respectively, with 56.2% of the fine roots and 44.4% of the medium roots concentrated in the 0-20 cm layer. The total fine roots length was 8.237 km/ha , with 57.4% in the first 20 cm of depth. The total amount of roots nutrients, in the soil layer studied (40-60 cm), in decreasing order was $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, being P and S the nutrients used with the highest efficiency for the formation of root surface. The teak presented, on average, specific leaf area (SLA) of $13.1 \text{ m}^2/\text{kg}$ and SRA (fine roots) of $13.9 \text{ m}^2/\text{kg}$, indicating similar C use efficiency in the production of surfaces for acquisition of resources (solar radiation, water and nutrients) and suggesting synchrony in the C allocation for leaves and roots. The leaf area index (LAI) was $1.2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ in young plants and $8.3 \text{ m}^2/\text{m}^2$ in adult plants. The total biomass determined at 90 months was 133 t/ha with the following partition: stemwood (51%), roots (17%), branches (13%), bark (7%) and leaves (5%). The nutrients use efficiency for aboveground biomass production, in decreasing order, was $\text{S} > \text{P} > \text{Mg} > \text{N} > \text{K} > \text{Ca}$, while for stemwood production was $\text{S} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Ca} > \text{N} > \text{K}$, having no appreciable differences of efficiency in function of the dominance degree of the trees. The 3-PG parameterization provided good estimates for leaves biomass, SLA, stem biomass (trunk + branches), DBH, stemwood volume and annual average increment, variables that reflect the forest growth. The partition of mineral macronutrients and carbon to the canopy decreased with the age of the trees, increasing in the trunk. The FERTTECA system showed satisfactory estimates of volumetric production and biomass, as well as nutrients contents in stemwood and trunk.

INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda mundial por produtos florestais tem levado a um progressivo aumento da área de florestas plantadas. A região de cerrado em Mato Grosso apresenta um grande potencial para o reflorestamento, em função, principalmente, do baixo preço da terra e de sua topografia plana que favorece a mecanização e tratos culturais. No entanto, existem também alguns fatores limitantes, tais como a baixa fertilidade de seus solos, com acidez elevada e déficit hídrico acentuado, concentrado de 4 a 6 meses durante o ano. O sucesso de empreendimentos florestais na região depende, principalmente, da escolha correta de espécies florestais que apresentam grande potencial de adaptação e produção e da otimização de todos os fatores de produção disponíveis e ou limitantes neste ecossistema.

A *Tectona grandis*, popularmente conhecida como teca, é uma espécie arbórea de grande porte, de rápido crescimento, produtora de madeira nobre, natural do Sudoeste Asiático. É uma planta de tronco retilíneo, fácil de cultivar, pouco sujeita a pragas e doenças e muito resistente ao fogo. Sua madeira nobre, de excelente qualidade, é valorizada pela beleza, resistência e durabilidade. Tem grande procura no mercado mundial, podendo alcançar preços até três vezes superiores aos do mogno, sendo utilizada na produção de móveis, esquadrias de alto padrão, embarcações e decoração (Lamprecht, 1990). Em âmbito mundial, a área plantada com teca é estimada em três milhões de hectares, o que é extremamente baixa pela demanda atual dessa espécie no mercado exterior (Finger et al., 2001). Na Ásia, onde estão os maiores produtores de teca (Indonésia, Tailândia, Myanmar e Sri Lanka) o seu ciclo de rotação é variável de 60 a 100 anos.

Em Mato Grosso, na região de Cáceres, esta espécie é cultivada com sucesso, obtendo-se uma redução do ciclo para apenas 25 a 30 anos, com obtenção de madeira

para serraria. A empresa Cáceres Florestal S.A. constatou que a região oferece excelentes condições para o seu cultivo, demonstrando bom crescimento, boa adaptação às condições climáticas locais, além de produzir uma madeira que alcança bons preços no mercado internacional. Como renda adicional à produção de madeira, existe a possibilidade de valoração econômica dos reflorestamentos de teca na mitigação climática, através da fixação e armazenamento do carbono no ecossistema terrestre, porém a garantia de armazenamento de carbono depende da permanência desse empreendimento, a qual é vinculado à sua viabilidade econômica (Gouveia, 2003). O somatório destas características e a busca de novas alternativas florestais atrativas estimularam a expansão da teca para outras regiões do estado. Atualmente, estima-se que a área plantada com teca seja de aproximadamente 50.000 ha, no Estado do Mato Grosso (ABRAF, 2009).

A teca se desenvolve bem em clima tropical úmido e quente, embora possa crescer sob ampla diversidade de condições climáticas e edáficas, havendo registros de seu cultivo em regiões com precipitação anual em torno de 600 mm e até acima de 5.000 mm, bem como em áreas com temperaturas que variam de 2° a 48° C. No entanto, o seu melhor crescimento é verificado em regiões cuja precipitação pluviométrica varia entre 1.240 e 3.750 mm, e não sejam sujeitas a geadas (Mascarenhas e Muralidharan, 1993). Também, a literatura registra que para produzir madeira de boa qualidade a teca requer um período marcadamente seco, de três a cinco meses ao ano, no qual a precipitação pluviométrica deve ser menor que 50 mm/mês (Kaosa-Ard, 1986).

No Estado de Mato Grosso, a teca é cultivada em locais em que a precipitação varia de 1.500 a 2.750 mm ao ano, em temperatura máxima de 35 a 40 °C, temperatura mínima de 15 a 20 °C, e média é de 25° C e com três a quatro meses de período seco, ou seja, em condições excelentes para o seu desenvolvimento.

Um dos fatores que devem limitar o crescimento e a produtividade da teca é a nutrição mineral, cabendo ressaltar a carência de trabalhos nessa área para as condições de cultivo dessa espécie no Brasil. Foram encontrados três trabalhos (Oliveira, 2003; Silva, 2000; Serigatto, 2000), ambos desenvolvidos no Estado de Mato Grosso, em que o estado nutricional e o crescimento de plantios de teca foram relacionados com fatores do solo.

Nesse Estado, os plantios foram estabelecidos nos mais diferentes tipos de solos, em áreas que se estendem desde a região amazônica até os cerrados; estes, embora sejam dotados de melhores características físicas, são geralmente de baixa fertilidade. Desta forma, era de se esperar que os problemas relacionados à nutrição fossem

surgindo ao longo do tempo, visto que as empresas e os produtores rurais buscam, cada vez mais, elevadas produtividades em tempo relativamente curto, além de um produto de boa qualidade (Oliveira, 2003).

A disponibilidade de nutrientes é um dos principais fatores para o crescimento das plantas, embora nem sempre se consiga equivalência entre teores no solo e quantidade absorvida pela planta. A exportação de elevadas quantidades de nutrientes pela colheita florestal, ao longo das rotações, pode levar à redução da capacidade produtiva do local. Por isso, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários locais, particularmente naquilo que diz respeito às características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal (Santana et al., 1999).

Assim, é cada vez maior a necessidade de conhecimento mais acurado da quantidade de nutrientes que devem ser adicionados ao solo, bem como da época e da maneira mais adequada de aplicação, de modo a satisfazer as necessidades nutricionais da teca e também para que haja sustentabilidade de sua produção.

Essa adição ou reposição de nutrientes pode ser quantificada mediante sistemas baseados no de balanço nutricional entre a demanda pelas árvores para uma produtividade esperada e o suprimento pelo solo (Neves, 2000). Para plantios de eucalipto, um exemplo desse tipo de sistema é o NUTRICALC (Barros *et al.*, 1995), que vêm sendo utilizado por várias empresas do setor, no Brasil. Para o bom desempenho desse sistema e de outros, é fundamental que se obtenham boas estimativas da demanda de nutrientes pelas plantas, sendo necessário dispor de dados sobre a eficiência de utilização de nutrientes para a produção de lenho e de tronco, e da partição de biomassa e de nutrientes para os demais componentes das árvores, levando também em conta a serapilheira (Barros et al., 2000). É necessário também conhecer o efeito das condições climáticas e sua interação com alguns fatores do solo (por exemplo: capacidade de armazenamento de água) na produção de madeira. Embora não seja possível manejar as condições climáticas, é possível determinar climas mais favoráveis para o crescimento de teca, permitindo estimar classes de produtividade potencial desta espécie em diferentes locais.

O modelo de crescimento 3-PG (acrônimo da expressão *Physiological Principles in Predicting Growth*), baseado em processos ecofisiológicos (Landsberg & Waring, 1997), utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade florestal em povoamentos equiâneos e monoespecíficos. Tem sido utilizado em diversas zonas geográficas, como Austrália, Nova Zelândia, Reino Unido, Sudoeste e Noroeste dos Estados Unidos, Suécia, Chile e o Brasil, e aplicado a uma grande variedade de

espécies, como *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, *Pinus taeda*, *Picea abies*, *Picea sitchensis* e *Pseudotsuga menziesii*, entre outras (Flores & Allen, 2004; Landsberg et al., 2003; Tickle *et al.*, 2001; Coops, 1999).

O 3-PG pode ser facilmente parametrizado para um tipo definido de floresta plantada, sendo bastante adequado para fins de determinação do desenvolvimento florestal. Este modelo estima a quantidade de energia radiante absorvida pelo dossel, sua conversão em carboidratos e alocação nos diferentes componentes da árvore e descreve o crescimento. O crescimento do povoamento não se modela diretamente como função do tempo, sendo resultante da interação de distintos processos fisiológicos com as condições climáticas locais em um período de tempo determinado. A idéia é incluir de forma explícita, relações causa-efeito entre variáveis climáticas e de solo e os processos fisiológicos que regulam o crescimento das árvores. Para ajustar este modelo, é necessário medir a resposta dos processos fisiológicos em relação as condições do clima e do solo. Em seu estágio de desenvolvimento atual, é utilizado principalmente como ferramenta de investigação destinada a entender e sintetizar o conhecimento atual sobre os fatores que determinam o crescimento, junto com a identificação de áreas que requerem maiores investigações (Flores & Allen, 2004).

O presente estudo foi conduzido considerando que a adição ou reposição de nutrientes em plantios de teca pode ser quantificada mediante sistemas baseados no balanço nutricional entre a demanda das árvores para uma dada produtividade esperada e o suprimento pelo solo. Assim, a produtividade da teca pode ser modelada mediante modelos baseados em processos servindo como variável de entrada no sistema para recomendação de adubação para a cultura da teca (FERTITECA) e, o modelo 3-PG, devidamente parametrizado e calibrado, proporciona estimativas satisfatórias do crescimento e produção de plantios de teca.

Considerando estas pressuposições foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- o caracterizar física e quimicamente o solo de parcelas experimentais instaladas em plantios de teca;
- o avaliar a biomassa, o conteúdo de nutrientes de raízes finas, médias e grossas, o comprimento e superfície de raízes finas ($< 2 \text{ mm } \Phi$) e médias (2 a 5 mm Φ) e a eficiência de utilização de nutrientes para formação de área radicular (EUN_{AR}) de raízes finas e médias;
- o determinar as áreas foliar específica (AFE) e radicular específica (ARE), os índices de área foliar (IAF) e radicular (IAR) e a suas relações com a biomassa de árvores de teca;

- quantificar a biomassa, o conteúdo de macronutrientes e sua distribuição nos diferentes componentes da biomassa e avaliar a eficiência de uso desses nutrientes para formação dos diferentes componentes da biomassa de teca em diferentes classes de DAP, aos 7,5 anos de idade;
- parametrizar o modelo 3-PG para plantios de teca na região Sudoeste de Mato Grosso;
- aprimorar o subsistema planta do sistema para recomendação de adubação para a cultura da teca (FERTITECA), por meio do ajuste das relações de biomassa e do conteúdo de nutrientes entre os diferentes compartimentos da planta em uma seqüência de idades de um mesmo site.

O trabalho está dividido em seis capítulos, no capítulo um é abordado à caracterização do solo das parcelas experimentais avaliadas, no capítulo dois foi feita uma abordagem do sistema radicular da teca e a eficiência de utilização de nutrientes para a formação de superfície de aquisição dos recursos água e nutrientes. No capítulo 3 são apresentadas as características da folha e do dossel de plantios de teca e as relações com características do sistema radicular e biomassa dos demais compartimentos da planta. No capítulo quatro avaliou-se a biomassa, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes para a formação de diferentes compartimentos das árvores de teca com 90 meses. A parametrização do modelo 3-PG para teca é apresentada no capítulo cinco e a aplicação do sistema para recomendação de adubação para a cultura da teca, o FERTITECA, é feita no capítulo seis.

REFERÊNCIAS

- ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2008/ABRAF – Brasília, 2009, 120p.
- BARROS, N. F., NEVES, J. C. L., NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: Gonçalves, J. L. M. e Benedetti, W. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba. IPEF, p.269-286, 2000.
- BARROS, N. F., NOVAIS, R. F., TEIXEIRA, J. L., FERNANDES FILHO, E. I. NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, n.16, p.129-131, 1995.
- COOPS, N. C. Improvement in predicting stand growth of *Pinus radiata* (D. Don) across landscapes using NOAA AVHRR and Landsat MSS imagery combined with a forest growth process model (3-PGS). **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 65, p. 1149-1156, 1999.
- FINGER, Z; FINGER, F. A.; DRESCHER, R. Teca (*Tectona grandis* L.f.): plante esta idéia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001, Santa Maria-RS. Anais... Santa Maria: UFSM, 2001. CD-Rom.
- FLORES, F. J., H.; ALLEN, L. Efectos del clima y capacidad de almacenamiento de água del suelo en la productividad de rodales de pino radiata em Chile: un análisis utilizando el modelo 3-PG. **Bosque**, v. 25(3), p.11-24, 2004.
- GOUVEIA, V. M.; ÂNGELO, H. Valoração Econômica do Serviço Ambiental de Fixação e Armazenamento de Carbono em um Reflorestamento de *Tectona grandis* L. f. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, **CDRom**... Fortaleza, 2003.
- KAOSA-ARD, A. **Teak, *Tectona grandis* Linn. f.** Virginia: Forestry Institute, Arlington, Nursery Tech Winrock International, USA, 1986. p.106-118.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eachborn. República Federal da Alemanha. 1990. 343p.
- LANDSBERG, J. J., R. H. WARING, N. C. COOPS. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. **Forest Ecology and Management**, v. 172, p. 199-214, 2003.
- LANDSBERG, J. J., R. H. WARING, A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, v. 95, p. 209-228, 1997.
- MASCARENHAS, A. F., MURALIDHARAN, E.M. Clonal forestry with tropical hardwoods. In: **Clonal forestry II, conservation and application**. Germany: Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1993. p.169-187.
- 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: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.
- OLIVEIRA, J. R. V. de. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca – NUTRITECA**. Viçosa: UFV, 2003. 76p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. (1999) Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. *Scientia Forestalis*, n.56, p.155-169.

- SERIGATTO, E. M. **Fatores do solo, estado nutricional e crescimento de plantios de teca (*Tectona grandis* L. f.) no norte de Mato Grosso**. Manaus: INPA, 2003. 108p. Tese (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas, 2003.
- SILVA, L. F. C. **Necessidade de adubação pós-desbaste, baseada no balanço nutricional de povoamentos de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1999. 62p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- TICKLE, P. K.; COOPS, N. C.; HAFNER, S. D. Assessing forest productivity at local scales across a native eucalypt forest using the spatial model, 3PG-SPATIAL. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 275-291, 2001.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM PLANTIOS DE TECA AOS 17 E 90 MESES DE IDADE EM TANGARÁ DA SERRA-MT

RESUMO

Os fatores mais importantes do meio ambiente que expressam a produtividade em plantios de *Tectona grandis* (teca) são as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos, características climáticas, fisiográficas e fatores bióticos. Das condições do solo, destaca-se a profundidade do perfil, a classe textural, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a atividade química da fração coloidal e a presença de camadas compactadas que podem restringir o crescimento das raízes e a percolação de água. O objetivo deste estudo foi caracterizar física e quimicamente solos de parcelas de teca cultivadas com 17 e 90 meses, no município de Tangará da Serra-MT. Foram realizadas análises dos teores de nutrientes, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-100 cm na linha de plantio entre árvores (LP), na entre linha destas mesmas árvores (EL) e linha de plantio entre desbastes (LD). A partir das amostras indeformadas de terra foram determinadas a densidade do solo, a umidade atual, a densidade de partículas, porosidade, areia grossa, areia fina, silte e argila. A retenção de água foi calculada com base volumétrica, utilizando o extrator de placa porosa nas pressões de 10, 30, 100, 500 e 1500 kPa pelo período de 72 h. As curvas de retenção de água foram ajustadas através da equação de Van Genuchten. Os teores de argila encontrados no solo foram superiores a 60 % na superfície, sempre ultrapassando este valor em profundidade. Em média, a densidade do solo foi de 1,2 kg/dm³ e a densidade de partículas de 2,9 kg/dm³ ao longo do perfil do solo. A água disponível, variou de 0,086 a 0,134 m³/m³ na camada de 0-20 cm e de 0,116 a 0,171 m³/m³ na camada de 40-60 cm. O povoamento estudado pertence a um local de alta fertilidade natural e não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre pontos de coleta de solo (LP, EL e LD), para as diferentes profundidades e variáveis analisadas, exceto para o Mg, na camada de 0 a 10 cm de profundidade ($p < 0,05$), evidenciando uma possível depleção deste elemento na camada superficial aos 90 meses. Os demais teores de macro e micronutrientes e outras características químicas do solo apresentam boas condições de fertilidade, exceto P com disponibilidade muito baixa.

Palavras-Chave: *Tectona grandis*, água, nutrientes e fertilidade natural.

CHAPTER 1

SOIL CHARACTERIZATION OF 17 AND 90-MONTH-OLD TEAK PLANTATIONS IN TANGARÁ DA SERRA-MT

ABSTRACT

The most important factors of the environment that express the productivity in teak plantations (*Tectona grandis*) are the physical, chemical and mineralogical characteristics of the soils, climatic characteristics, and physiographic and biotic factors. The most important soil conditions are: profile depth, textural class, nutrient level, organic matter content, chemical activity of the colloidal fraction and the presence of compressed layers that can restrict the roots growth and water infiltration. The objective of this study was to characterize, physically and chemically, soils of cultivated teak plots with 17 and 90 months of age, in Tangará da Serra, Mato Grosso State, Brazil. Analysis of the nutrients contents were made in the 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 and 60-100 cm layers of the planting row between trees (LP), the side rows of these same trees (EL) and the planting row between thinning (LD). Starting with the no distorted soil samples, the soil density, current humidity, particles density, porosity and thick sand, fine sand, silt and clay fractions were determined. The water retention was calculated in volumetric base, using porous plate extractor in 10, 30, 100, 500 and 1500 kPa pressures within a 72 h period. The water retention curves were adjusted through Van Genuchten's equation. The clay content was higher than 60 % in the surface, decreasing with depth. On average, the soil density was 1.2 kg/dm³ and particles density was 2.9 kg/dm³ along the soil profile. The available water varied from 0.086 to 0.134 m³/m³ in the 0-20 cm layer and from 0.116 to 0.171 m³/m³ in the 40-60 cm layer. The stand studied belongs to a site of high natural fertility and there was not significant difference ($p > 0,05$) among points of soil samples (LP, EL and LD) for the different depths variables analyzed, except for Mg, in the 0-10 cm layer ($p \leq 0,09$), evidencing a possible nutrient depletion in the superficial layer of 90-month-old stands. The other macro and micronutrient contents and other soil chemical characteristics presented good fertility conditions, except for P, with very low availability.

key words: *Tectona grandis*, water, nutrient and natural fertility.

1 INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis*) é considerada uma das espécies mais importantes do mundo, a combinação de beleza, resistência e durabilidade tornou sua madeira uma das mais valiosas no mercado internacional. A madeira é utilizada na carpintaria, na marcenaria, na produção de móveis finos e na construção naval, onde é praticamente insubstituível, pelo fato de resistir ao sol, ao calor, ao frio e à água de chuvas e do mar (Matricardi, 1989; Rondon Neto et al., 1998; Lamprecht, 1990).

Os reflorestamentos com esta espécie são realizados, em grande escala, há mais de cem anos. Atualmente, a área plantada é estimada em 2,5 milhões de hectares e inclui plantios estabelecidos na Ásia, Oceania, África e América. O preço da madeira de teca varia de US\$ 180,00/m³ a US\$ 3.500,00/m³, dependendo do porte da árvore e da coloração da madeira (CTFT, 1990). O desequilíbrio entre a oferta e a procura determinou a continuada valorização da madeira de teca, cujo preço registrou um ganho médio de 8,32 % a.a., em dólar norte americano, entre 1970 e 1999. (Veit, 2000).

A madeira de teca é uma alternativa para substituição de espécies nativas de grande valor econômico, como o Mogno (*Swetenia macrophylla* G. King) e a Cerejeira (*Torresia acreana* Ducke), por exemplo, aliviando a pressão de exploração as florestas nativas que ainda resistem às investidas da pecuária, agricultura e dos madeireiros. Oferece excelentes perspectivas ao mercado madeireiro, proporcionando segurança no atendimento da reposição florestal por ser vigorosa e de resultados comprovados e, ao mesmo tempo, apresentando-se como uma alternativa para a possibilidade de suprimento sustentável da indústria florestal.

Para produzir madeira de qualidade, com dimensões para serraria e laminação, no prazo de cerca de 25 anos, é preciso avaliar aspectos climáticos, edáficos e topográficos. Chaves e Fonseca (1991) relatam que a teca requer um mínimo de 1000 mm por ano de chuva para produzir madeira e 760 mm por ano para produtos secundários, como carvão e lenha. O solo deve apresentar-se com textura média, com predominância de areia sobre argila, pois não se desenvolve bem em solos muito úmidos, nem muito secos. Deve apresentar também nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de forma disponível às plantas, a saturação de bases deve ser maior que 50 %, pH igual ou maior que 5,5 e com baixa presença de alumínio (Cáceres Florestal, 1997).

Os principais fatores, que expressam a produtividade de um povoamento florestal, são: características físicas, químicas e mineralógicas dos solos, características climáticas, fisiográficas e fatores bióticos. Das condições do solo, destaca-se a

profundidade efetiva do perfil, a classe textural, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a atividade química da fração coloidal e a presença de camadas compactadas que podem restringir o crescimento das raízes e a percolação de água.

As propriedades físicas do solo têm se relacionado, com maior frequência, à capacidade produtiva dos povoamentos do que as químicas, principalmente quanto a capacidade de retenção e armazenamento de água do solo (Gonçalves et al., 1990). A estrutura do solo, a consistência, a capacidade de retenção de água, a drenagem e as reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal são diretamente dependentes da textura. Esta pode ser considerada, individualmente, como a característica que mais influencia na capacidade produtiva dos povoamentos florestais (Petersen et al., 1968; Zobel et al., 1987).

Além das propriedades físicas do solo, a fertilidade do solo tem grande importância na produtividade. Dessa forma, a reserva e a disponibilidade de nutrientes para as plantas se tornam de grande importância, principalmente para cultivos de ciclo longo, como a teca, podendo ser avaliadas por meio da análise mineralógica e química dos solos e da sua interpretação para as condições locais.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de caracterizar, física e quimicamente, o solo de um povoamento de teca, aos 17 e 90 meses, localizado no município de Tangará da Serra-MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de campo estudadas situam-se em uma região favorável ao cultivo da teca, no município de Tangará da Serra (Figura 1), região localizada no sudoeste do estado do Mato Grosso, a 230 km de Cuiabá, pertencentes à empresa Tectona Agroflorestal Ltda. Situa-se na latitude 14° 44' 47" S e longitude 57° 52' 23" W. Localiza-se entre as serras de Tapirapuã e dos Parecis, que por sua vez delimitam dois ecossistemas importantes no território brasileiro: o Pantanal (Sul) e o Chapadão dos Parecis (Norte). A Serra dos Parecis é o divisor de águas entre as bacias do Amazonas (Norte) e do Paraguai-Paraná (Sul). A altitude média da área é de 387 m, com clima tropical (Ami), quente e subúmido, conforme a classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica anual é de 1.750 mm, sendo janeiro, fevereiro e março os meses mais chuvosos com quatro meses secos, de junho a setembro. A temperatura média anual é de 24° C. A área apresenta topografia suave ondulada e a classe de solo predominante é o Argissolo Vermelho (Figura 2). A vegetação é composta de mata de transição entre floresta amazônica e cerrado.

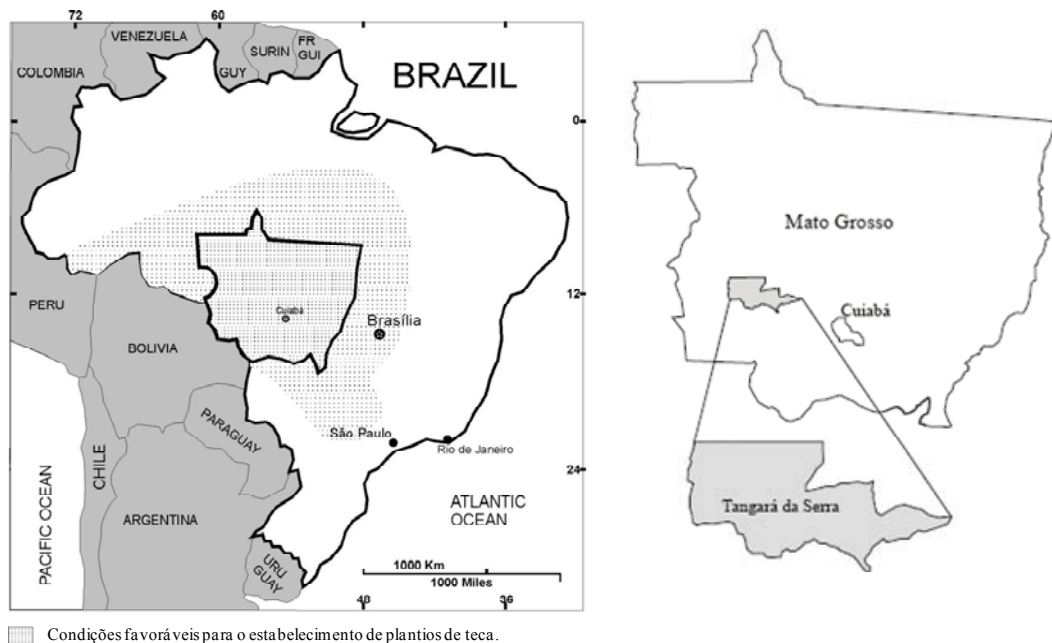


Figura 1. Identificação das áreas com condições favoráveis para o estabelecimento de plantios de teca no Brasil (Torres, 1999) e localização do município de Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso.

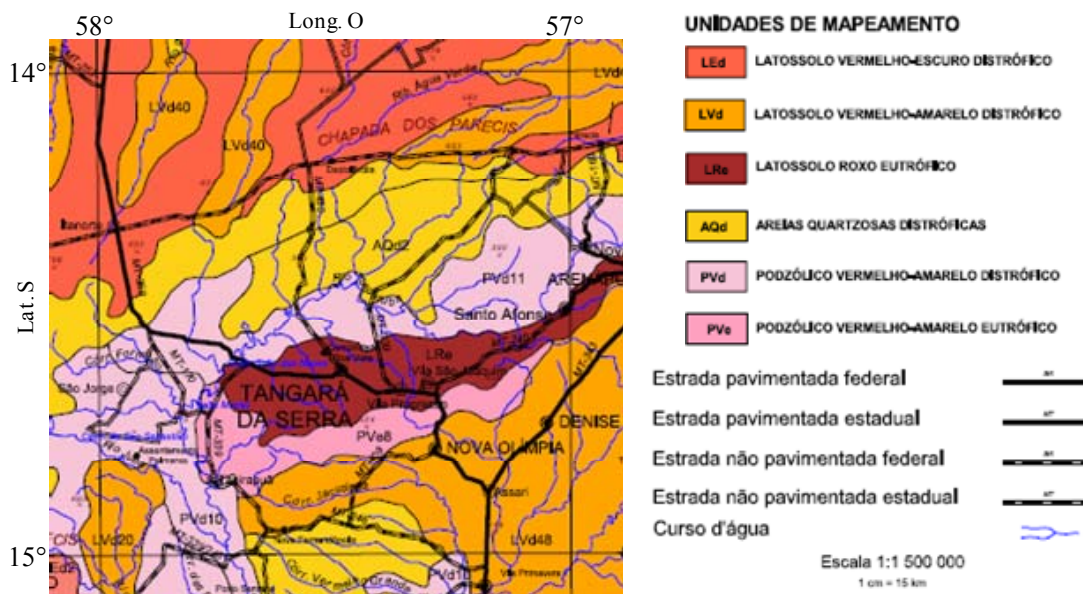


Figura 2. Solos predominantes da região do município de Tangará da Serra-MT. Fonte: Mapa A001. Mapa de solos do Estado de Mato Grosso, SEPLAN, 2001.

Os dados utilizados no estudo foram obtidos em sete parcelas com 132 árvores cada uma (densidade de plantio), sendo cinco parcelas em áreas já desbastadas com cerca de 90 meses, cujo plantio foi realizado no espaçamento de 3 x 2,4 m (950,4 m²/parcela) e duas parcelas não desbastadas com 17 meses plantadas no espaçamento 3 x 3 m (1.188 m²/parcela). Os desbastes foram realizados, em média, aos 50 e 70 meses, tendo sido removido entre 22 e 33 % das árvores remanescentes, sendo considerado

como um desbaste leve. Outras informações sobre o manejo realizado nas parcelas encontram-se no anexo (Tabela 1).

Em cada parcela foram coletadas amostras compostas de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-100 cm, a partir de 15 amostras simples por área representativa da linha de plantio entre árvores (LP), na entre linha destas mesmas árvores (EL) e na linha de plantio entre os desbastes (LD). Para efeito de comparação também foram coletadas amostras de uma área de mata próxima às parcelas 6 e 7, e de pastagem (somente amostras indeformadas).

Na TFSA foram feitas análises químicas de rotina, determinando-se pH em água, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, zinco, ferro, manganês, cobre, acidez trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), carbono orgânico e P-remanescente. Os métodos utilizados foram: N: Kjeldahl; P, K, Zn, Fe, Mn e Cu: Mehlich-1; B: Extrator água quente; S: Fosfato monocálcico em ácido acético; Ca, Mg e Al: KCl 1mol/L; H+Al: acetato de cálcio 0,5 mol/L pH 7,0; MO: Walkley e Black; P-rem: Alvarez V et al. (1993).

Em trincheiras com 1,0 m de profundidade, localizadas entre duas plantas e estendendo-se até o meio da entrelinha, sendo delimitada a área com presença de camada compactada e presença e ausência de raízes, foram coletadas amostras indeformadas de terra com um martelo AMS e anéis metálicos de 50,8 mm (2") de diâmetro por 50,8 mm (2") de altura, na linha de plantio e na linha do rastro do pneu do trator. Para cada parcela foram obtidas 11 amostras compostas para densidade, sendo sete na linha de plantio e quatro no rastro do trator, com quatro amostras simples por camada: de 0 a 5 cm, 7,5 a 12,5 cm, 17,5 a 22,5 cm, 27,5 a 32,5 cm, 37,5 a 42,5 cm, 57,5 a 62,5 cm e 97,5 a 102,5 cm de profundidade na linha de plantio e quatro amostras simples por camada: de 0 a 5 cm, 7,5 a 12,5 cm, 17,5 a 22,5 cm, 27,5 a 32,5 cm, 37,5 a 42,5 no rastro do pneu do trator.

A partir das amostras indeformadas de terra foram determinadas a densidade do solo, a umidade atual, a densidade de partículas e porosidade total (Embrapa, 1997). As determinações de areia grossa, areia fina, silte e argila, foram realizadas segundo Ruiz (2005). A retenção de água das amostras foi realizada, utilizando o aparelho extrator de placa porosa, nas pressões de 10, 30, 100, 500 e 1500 kPa pelo período de 72 h e calculada com base volumétrica.

As curvas de retenção de água foram ajustadas através da equação de Van Genuchten (Genuchten, 1980; Libardi, 2004), que relaciona a umidade atual do solo com a sua tensão da água. Elas foram ajustadas utilizando-se o software SWRC (Soil

Water Retention Curve versão Beta 3.0), que emprega o método iterativo de Newton-Raphson (Dourado Neto et al., 2001).

A equação ajustada foi: $\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n]^m} + \epsilon$ em que: θ_a – umidade atual (cm^3/cm^3); θ_r – umidade residual (cm^3/cm^3); θ_s – umidade de saturação (cm^3/cm^3); Ψ_m – potencial matricial (1 mca = 9,809 kPa) e α , m , n os coeficientes empíricos obtidos por regressão; $m = 1 - (1/n)$ e $n > 1$.

Em função da obtenção dos dados não seguir um delineamento experimental clássico, pois não há casualização dos pontos de coleta (LP, EL e LD), optou-se por realizar o teste não paramétrico de Friedman que leva em consideração o efeito da parcela (bloco) nas variáveis dependentes analisadas para cada profundidade amostrada (Campos, 1983).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O povoamento de teca estudado encontra-se em um local de alta fertilidade natural, localizado no domínio de diabásios e gabros presentes na Suíte Intrusiva do Guapé (Brasil, 1982), rochas denominadas localmente de “pedra ferro”. O predomínio de rochas máficas foi confirmado pela observação de afloramento de rochas e acúmulo de limalhas de ferro nos sulcos laterais da estrada e durante análise textural das amostras.

Anterior à atividade florestal, a área foi desmatada na década de 70 e utilizada com lavoura de café. Posteriormente a área foi utilizada com plantios sucessivos de banana, milho, algodão e, mais recentemente, para pastagem de uso extensivo.

3.1 Exame de Trincheira

O exame de trincheiras pode ser utilizado para diagnosticar o perfil de um solo cultivado com determinadas culturas, principalmente as perenes e semi-perenes, como teca, eucalipto, citros, café e cana-de-açúcar (Camargo & Alleoni, 2006). Sua avaliação permite o estudo mais detalhado da evolução estrutural do solo, e da nocividade de determinado estado de compactação, para o desenvolvimento da teca.

Nas parcelas A01 a A05 foram observados pontos do solo mais adensados correspondendo a área de tráfego do pneu do trator. Na parcela A03 foi observado durante as tradagens para coleta de solo (mais de 60 cm de profundidade) e coleta de raízes, na profundidade de 40-60 cm, a presença de pedras em subsuperfície o que se constitui em um impedimento físico para o desenvolvimento das raízes, futuramente. A mata apresentou uma camada superficial mais escura e úmida com uma menor

resistência a penetração da faca na identificação de diferenças entre as camadas do solo (Figura 3).

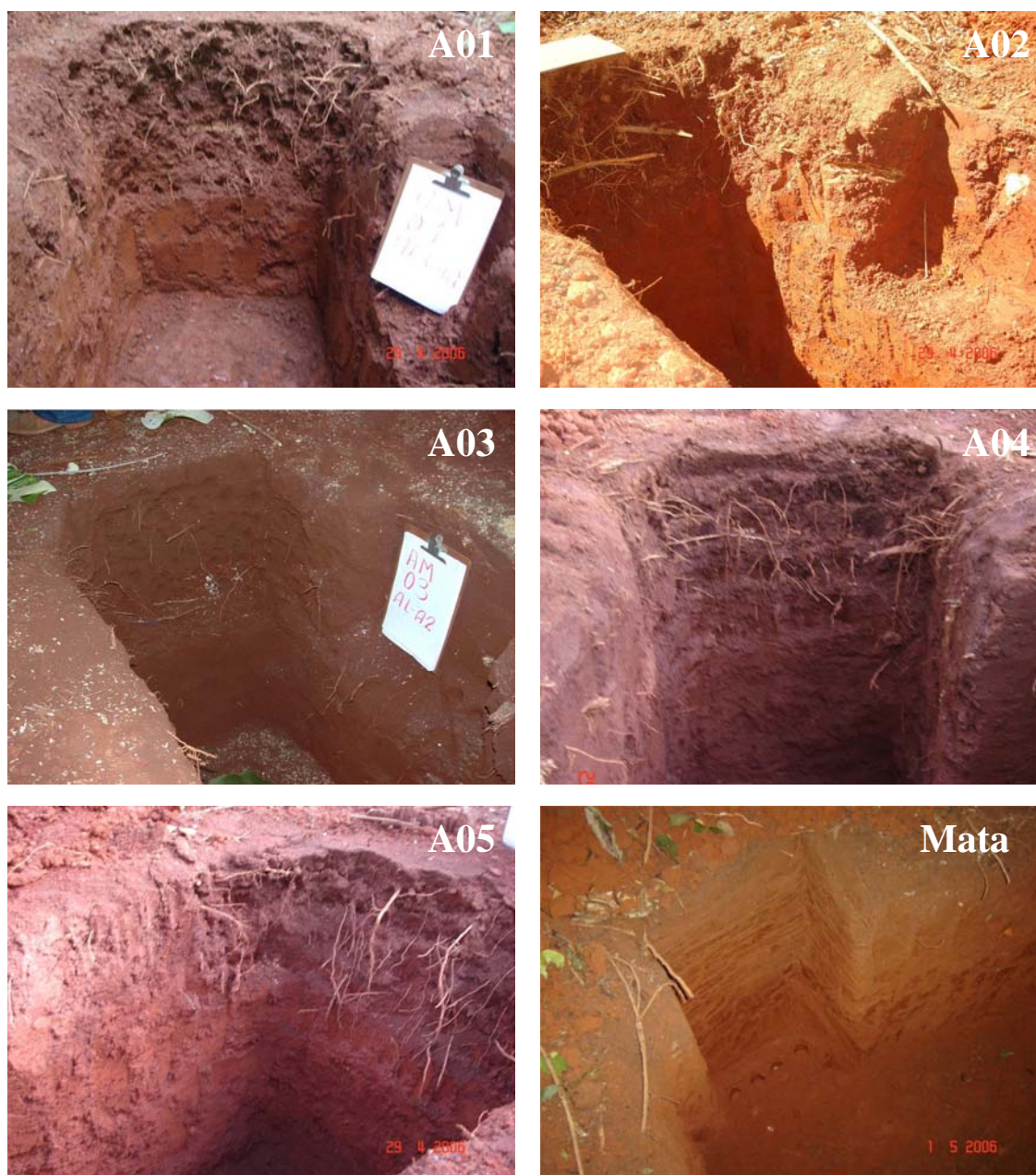


Figura 3. Trincheiras das parcelas A01 a A05 e mata para a coleta de amostras de solo indeformadas (Ds) e observação da distribuição das raízes ao longo do perfil e identificação dos pontos de compactação do solo.

Observa-se nitidamente pontos de maior incidência de raízes, nas trincheiras das diferentes parcelas (Figura 3), tais pontos correspondem ao sulco aberto pelo subsolador, observando-se melhora nas condições físicas (Figura 4a). Quando o perfil apresenta maior proporção de estruturas fragmentadas, há um favorecimento no desenvolvimento das raízes, principalmente nas camadas superficiais do solo, pois esse apresenta-se mais macio conforme o constatado mediante perfuração com faca ao longo do perfil. Melhora

nas condições químicas também podem ser apontadas já que o solo apresenta-se mais escuro no sulco, resultado da aplicação da cama de aviário (Tabela 1 do anexo). As regiões do perfil com estruturas maciças dificultam a distribuição do sistema radicular, promovendo queda no crescimento das árvores de teca (Ralish et al., 1991).

A prática utilizada, nos povoamentos de teca, de sub-solagem com aplicação de cama de aviário e fonte de fósforo (Figura 4a), tem apresentado melhorias nas condições físicas e na disponibilidade de nutrientes, o que pode ser observado através do aumento na densidade de raízes no sulco aberto pelo subsolador e pela deposição de fosfato natural no fundo do sulco (Figura 4b, 4c e 4d).



Figura 4. Prática de sub-solagem: (a) prática de subsolagem com aplicação de fosfato e cama de aviário no sulco, (b) e (c) incidência de raízes no local sulcado e (c) ponto de deposição de fosfato natural no fundo do sulco em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.

3.2 Textura e Umidade do Solo

É amplo o predomínio de Argissolos e Nitossolos nas áreas da Tectona Agroflorestal, ambos eutróficos, com teores de argila maiores que 60 % (textura muito argilosa), não sendo raros os casos onde esses teores atingem próximo de 80 % com o aumento da profundidade (parcelas A-02, A-04, A-05, A-07 e mata). Com exceção da

parcela A-03, com aproximadamente 35 % de argila, todas as demais parcelas apresentam-se na classe textural argila chegando a muito argilosa em profundidade (Figura 5).

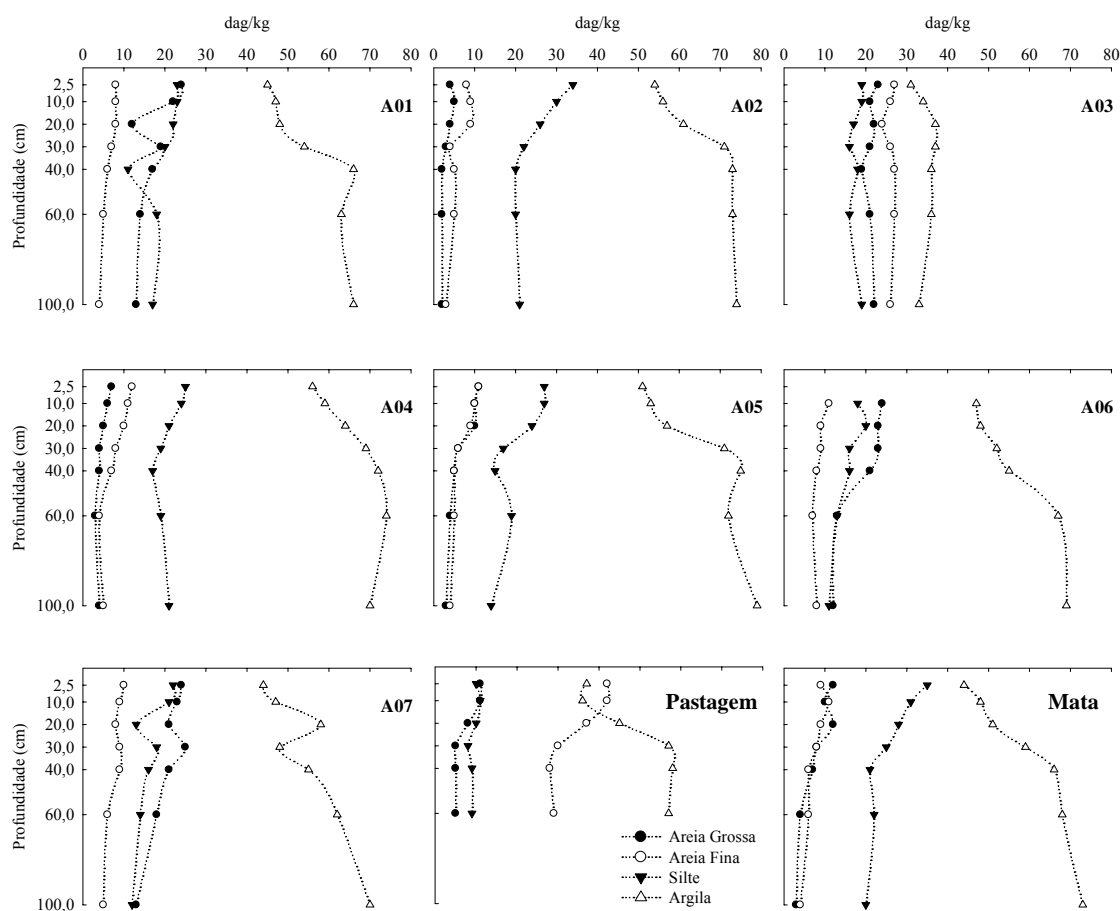


Figura 5. Variação da textura do solo em profundidade em parcelas de teca, em pastagem e mata próximas às parcelas.

Os solos de textura argilosa (“solos pesados”), com teores de argila superiores a 35%, como os das parcelas estudadas, possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água. Esses solos apresentam maior força de coesão entre as partículas, o que pode dificultar a penetração e facilitar a aderência do solo aos implementos, dificultando a mecanização. Embora sejam mais resistentes à erosão, são altamente susceptíveis à compactação, o que merece cuidado especial no seu preparo, principalmente no que diz respeito ao teor de umidade, no qual o solo deve estar com consistência friável. Esses solos apresentam restrições relacionadas a precipitações intensas devido a velocidade de infiltração básica ser muito baixa, ocasionando escorrimentos superficiais o que é problemático em áreas suavemente inclinadas (rampa alongada) a inclinadas (Tognon et al., 1998; Dias Junior & Miranda, 2000; Anghinoni & Meurer, 2004; Ribon & Tavares Filho, 2004;).

Com teores de argila tão elevados é comum observar, principalmente no período seco, rachaduras já na superfície sobretudo dos Nitossolos Vermelhos mais argilosos sem que isto esteja associado à presença de minerais de argila 2:1 expansíveis (do grupo das esmectitas) (Figura 6a e 6b).

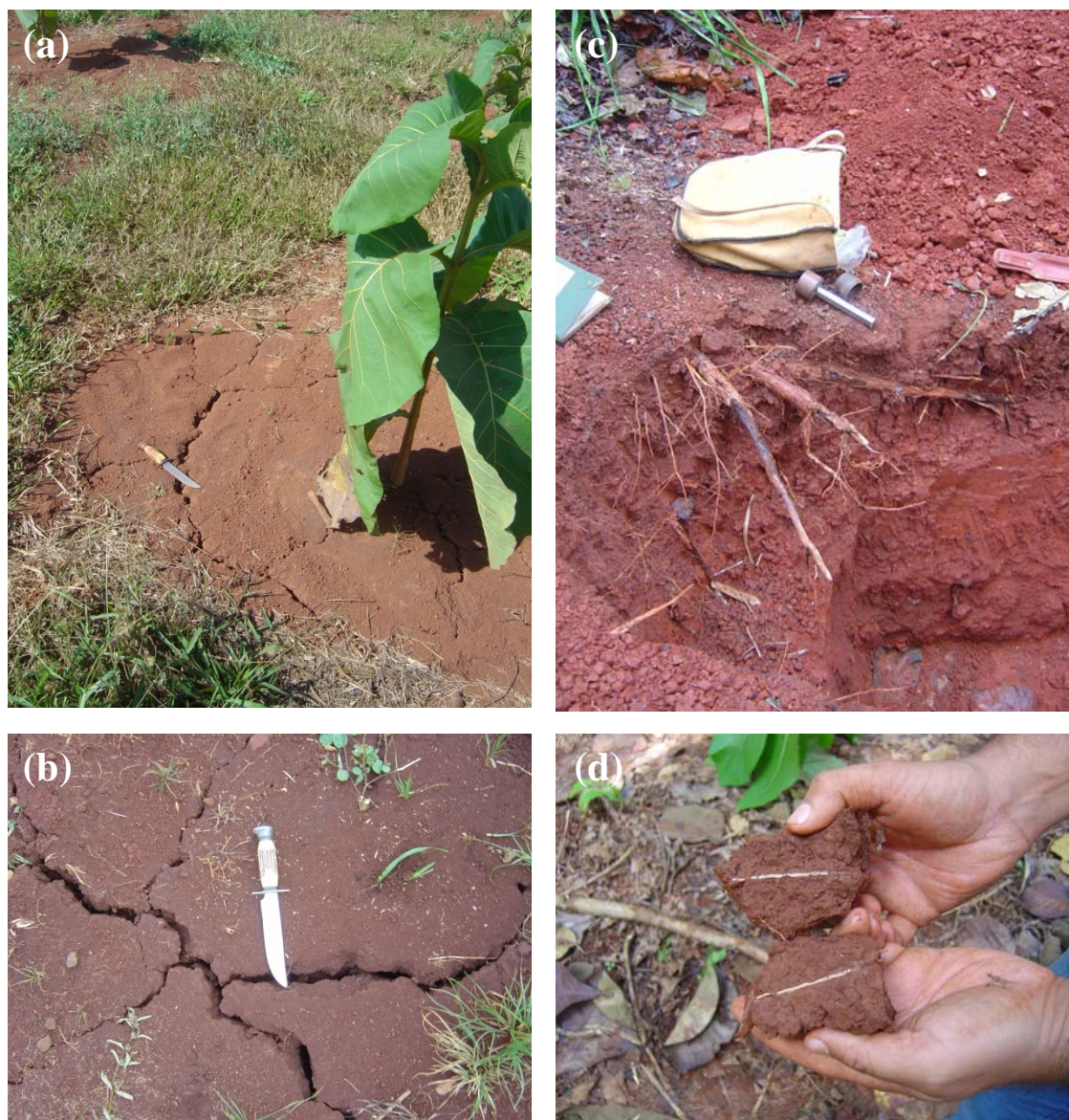


Figura 6. Problemas relacionados ao solo dos povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT: (a) e (b) rachaduras na superfície do solo, (c) raízes pouco profundas e mortas devido às condições inóspitas do solo (compactação e excesso de água) e (d) detalhe da raiz morta dentro do torrão de solo.

Os teores elevados de argila, aliados à estrutura em blocos de tamanho médio a grande e a valores muito elevados de densidade de solo (Ds) apontam, de forma clara, que esses são os principais fatores limitantes à exploração agrícola desses solos. Outra provável consequência negativa destes elevados teores de argila refere-se à disponibilidade de nutrientes, pelos efeitos negativos do maior teor de argila em relação

à maior adsorção de P, S e Zn e menor transporte destes nutrientes no solo, principalmente, pelo predomínio do dreno-solo sobre o dreno-planta limitando a produtividade (Muniz et al., 1985; Ruiz et al., 1990; Couto et al., 1992; Mello et al., 1993; Silva et al., 1998; Novais & Smyth, 1999). A pressão exercida sobre o sistema radicular na medida em que o solo seca, conforme constatado no campo, é suficiente para causar a morte de raízes (Figura 6c e 6d).

Os perfis de umidade (Figura 7), são representativos de um dado instante t referentes ao momento de coleta das amostras para determinação da densidade do solo (Ds). Havendo movimento de água no solo, adições por chuva e retiradas por evapotranspiração, esses perfis mudam de forma e, logicamente, o armazenamento de água é alterado. De grande importância para a análise do comportamento da teca, são as variações de umidade do solo e, conseqüentemente, armazenamento de água, sendo este mais importante atributo a ser levado em conta ao se tratar de compactação do solo. Além da pressão exercida pelas máquinas, a umidade do solo no momento das operações também atua como importante fator na distribuição da compactação no perfil. Portanto, é melhor operar o solo com umidade adequada (sempre mais seco do que úmido), pois nestas condições a resistência à compactação é maior.

O aumento dos teores de argila em profundidade (40-100 cm) condicionam uma participação mais expressiva dos microporos, o que de certa forma, restringe a drenagem livre da água, observando-se um aumento da umidade do solo com a profundidade (Figura 7). Este comportamento, por outro lado, tem como lado positivo o retardamento da senescência das folhas de teca, ou seja, com início da estação seca estes solos permitem um suprimento de água por um período de tempo maior. Com base em observações feitas *in loco*, os plantios de teca em Jangada-MT, localizados na depressão cuiabana, com solos rasos e menos argilosos, senescem suas folhas aproximadamente dois meses antes que os plantios na região de Tangará da Serra-MT.

3.3 Densidade do Solo

As diferenças nos valores de densidade do solo (Ds) entre as parcelas foram analisadas individualmente (Figura 8). No local do rastro do pneu do trator, o solo encontrava-se mais adensado indicando sua compactação (parcelas A-01 a A-04). Segundo Bill & Reaves (1956) a compactação resulta das forças horizontais causadas pelo deslocamento lateral do solo, bem como das forças verticais produzidas pela carga.

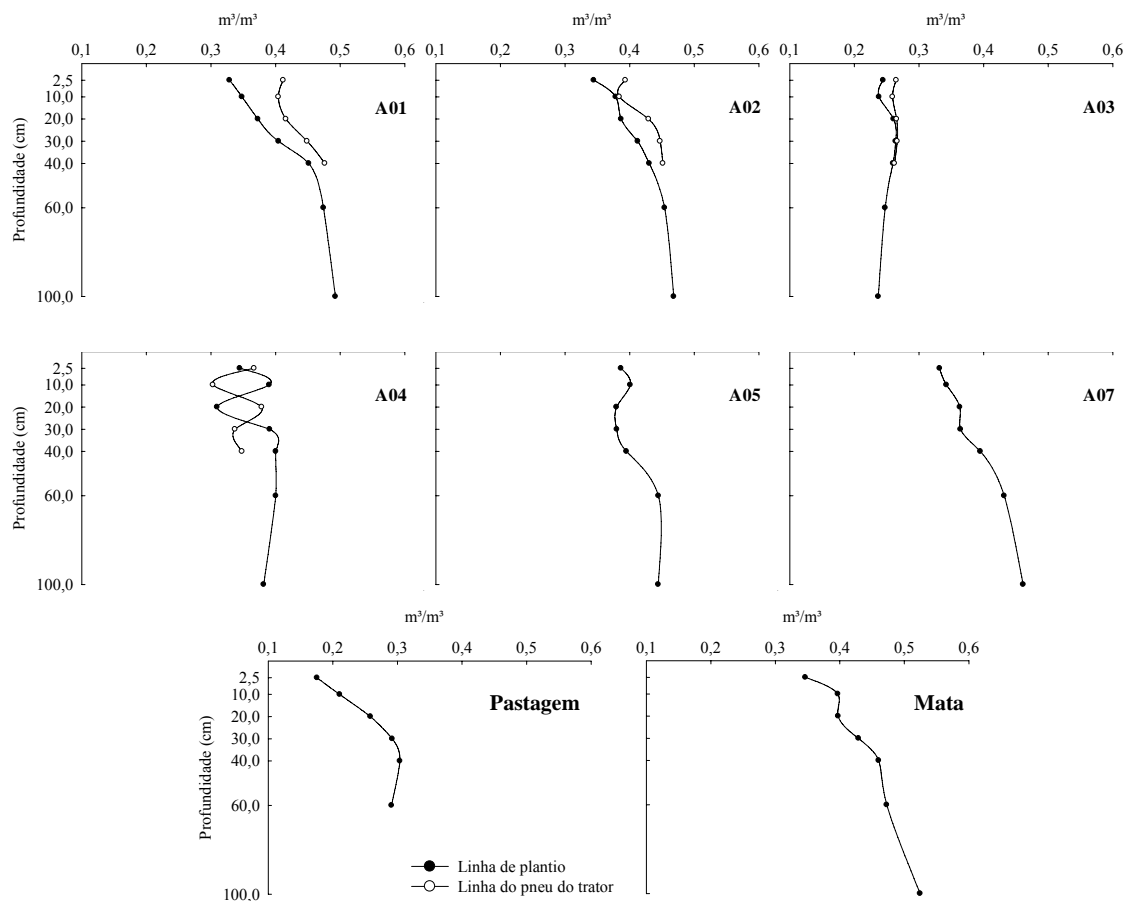


Figura 7. Variação da umidade do solo (m^3/m^3) em profundidade nas parcelas de teca, pastagem e mata próxima as parcelas.

Pode-se dizer, com certa restrição, que a densidade do solo é a medida quantitativa mais direta da compactação. Devido à forma, ao tamanho e ao arranjo diferenciado das partículas de areia e argila, os valores médios de densidade de solos arenosos ($1,2$ a $1,4 \text{ kg}/\text{dm}^3$) são maiores do que os de solos argilosos ($1,0$ a $1,2 \text{ kg}/\text{dm}^3$). Por isso, deve-se tomar muito cuidado ao considerar o valor absoluto como referência para concluir se um solo está ou não compactado. Devendo-se sempre ter uma área de referência para efeito de comparação, no caso da Tectona Agroflorestal a área de comparação é a Mata, cujas características do solo são semelhantes a maior parte das parcelas estudadas (Figura 8). Bowen (1981) considera críticos os valores $1,55$ para solos franco-argilosos a argilosos e $1,85 \text{ kg}/\text{dm}^3$ para solos arenosos a franco-arenosos, afirmando que, a partir daí, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes quando os solos estiverem na capacidade de campo.

A diferença entre os valores de densidade do solo entre a mata, pastagem e teca, é nitida. Na área de pastagem um maior adensamento ocorreu na camada subsuperficial (5-15 cm), reduzindo em profundidade, o que deve ser resultado do sistema de pastejo, ou seja, subsolo compactado por pisoteio de gado. Em relação a densidade de partículas,

tanto a mata quanto o povoamento de teca apresentaram resultados semelhantes, com valores de densidade de partículas superiores a $2,7 \text{ kg/dm}^3$, correspondendo ao predomínio da fração mineral com elevados teores de óxidos de ferro.

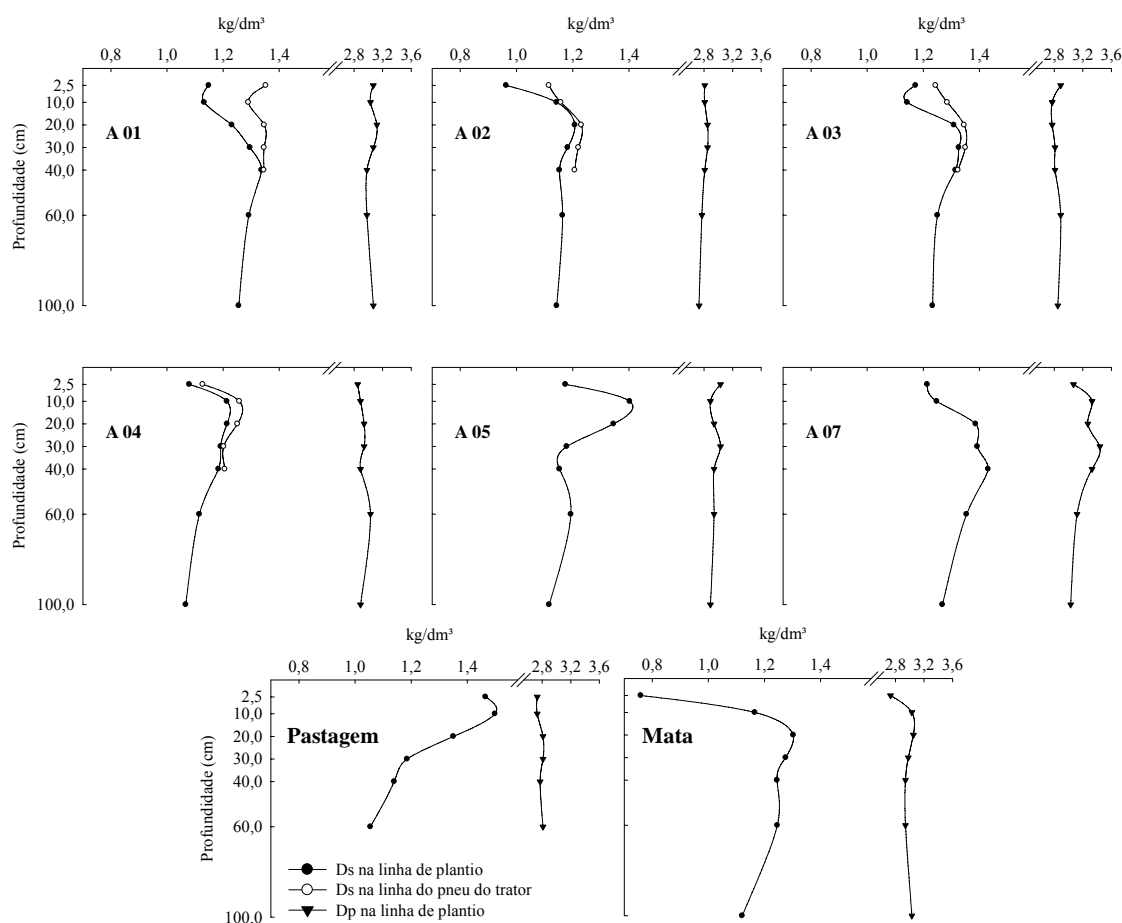


Figura 8. Variação dos valores da densidade do solo (Ds) na linha de plantio e na linha do pneu do trator e densidade de partículas (Dp) em profundidade nas parcelas com teca, em pastagem e mata.

Os baixos valores de densidade do solo em superfície observados na mata em relação as parcelas de teca e a pastagem podem ser justificados pelo teor de matéria orgânica (Figura 8). Um importante atributo que deve ser levado em conta ao avaliar o efeito da compactação no aumento da densidade, seu alto teor pode promover, por exemplo, aumento no limite de plasticidade dos solos, dificultando o aumento de sua densidade, mesmo após o trânsito de máquinas e implementos pesados (Camargo e Alleoni, 2006).

3.4 Curva Característica de Retenção de Água no Solo

Na Tabela 1 são apresentadas as estimativas dos parâmetros de ajuste da curva característica de retenção de água no solo pela equação de Van Genuchten (Genuchten, 1980; Libardi, 2004). Baseado nessa equação, foram determinados os valores do ponto de murcha permanente (1500 kPa) e da capacidade de campo (10 kPa). Foi considerado como água não disponível o volume de água retida abaixo do ponto de murcha permanente e água disponível como o volume de água retida entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo (Figura 10).

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros do modelo de Van Genuchten ajustados com dados obtidos em plantios de teca (*Tectona grandis*) e mata, na região de Tangará da Serra-MT.

Parcela	Prof.	Estimativa dos parâmetros ^{1/}					R ²
		θ_s	θ_r	α	n	m	
	cm	cm ³ /cm ³		kPa ⁻¹			
A01	0-20	0,724	0,162	66,184	1,173	0,147	0,998
	20-40	0,729	0,228	4,941	1,275	0,216	0,999
	40-60	0,734	0,273	1,284	1,362	0,266	0,999
A02	0-20	0,671	0,204	16,552	1,185	0,156	0,998
	20-40	0,674	0,200	4,233	1,208	0,172	0,998
	40-60	0,677	0,201	1,549	1,235	0,190	0,997
A03	0-20	0,689	0,141	36,472	1,267	0,211	0,999
	20-40	0,697	0,133	22,711	1,264	0,209	0,999
	40-60	0,705	0,121	16,742	1,254	0,202	0,999
A04	0-20	0,696	0,192	47,347	1,180	0,152	0,999
	20-40	0,700	0,121	25,938	1,137	0,121	0,999
	40-60	0,703	0,053	9,949	1,122	0,109	0,999
A05	0-20	0,728	0,254	3,573	1,307	0,235	0,999
	20-40	0,716	0,276	1,947	1,348	0,258	0,999
	40-60	0,704	0,298	1,044	1,407	0,289	0,995
Mata	0-20	0,683	0,139	24,577	1,151	0,131	0,994
	20-40	0,701	0,254	2,756	1,277	0,217	0,995
	40-60	0,719	0,326	0,867	1,400	0,286	0,997

^{1/} θ_s – umidade de saturação (cm³/cm³); θ_r – umidade residual (cm³/cm³); α , m, n – coeficientes empíricos obtidos por regressão.

A relação entre a sucção aplicada e a quantidade de água contida no solo foi expressa, graficamente, pela curva de retenção da água no solo (Figura 9). As curvas de retenção de água sob diferentes tensões diferiram em profundidades e entre as parcelas, destacando-se o solo da parcela A03 com menor disponibilidade de água. O armazenamento de água variou de 0,67 a 0,73 m³/m³ na condição de solo saturado (0

kPa). A quantidade de água presente no potencial de -10 kPa, referida na literatura como capacidade de campo para solos com textura franco-arenosa (Carlesso, 1995), variou de 0,25 a 0,41 m³/m³, na camada superficial (0-20 cm), e de 0,27 a 0,49 m³/m³, em subsuperfície. No potencial de -1.500 kPa, os teores de água variaram de 0,17 a 0,35 m³/m³ na camada estudada.

Em condições de saturação, a quantidade de água retida pelo solo diminui com a compactação, seguindo de perto a diminuição na porosidade total. Isto indica que, em baixas tensões, uma amostra compactada retém menos água do que uma não compactada. Essa relação se modifica em altas tensões, nas quais o solo compactado retém mais água. Nas parcelas A01 a A04 (Figura 7), onde a umidade no rastro do pneu do trator foi maior, houve maior retenção de água devido ao aumento da proporção de microporos em relação aos macroporos. Mas a porosidade total diminui e, com isso, diminui também a aeração e conseqüentemente a condutividade hidráulica e gasosa. Portanto, maior retenção de água no solo resultante de compactação não significa maior disponibilidade de água para a planta (Brady e Weil, 1999).

A quantidade de água retida pelo solo a tensões acima de 10 kPa é de grande interesse para o estudo de sua disponibilidade para as plantas de teca. A compactação, de maneira geral, aumenta a quantidade de água contida na faixa de disponibilidade para as plantas (aproximadamente entre 10 e 100 kPa, segundo Sanchez (1981). Entretanto, há casos em que isso não ocorre, como no trabalho de Stone et al. (1994). Esses autores avaliaram a evolução de alguns atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho textura argilosa, após sete cultivos sucessivos, sob pivô central com arroz e feijão constataram que a água disponível na camada superficial, 0-20 cm, diminuiu de 10,6 para 8,0 mm, enquanto na camada de 20-40 cm, o decréscimo foi de 9,0 para 7,2 mm. A interpretação da disponibilidade, contudo, não é simples, uma vez que a deficiência de aeração e a resistência mecânica do solo podem dificultá-la.

As variações observadas na curva de retenção em função das diferentes profundidades (0 a 20, 20-40 e 40 a 60 cm) do perfil relacionam-se com o aumento do teor de argila e com as diferenças na estrutura do solo (Figura 9). Conforme mencionado em Brady e Weil (1999), a estrutura do solo também influencia a relação entre água armazenada e tensão. Solos bem estruturados possuem maior porosidade e maior capacidade de armazenamento de água quando comparados a solos mal estruturados e, ou, compactados. A estrutura do solo influencia, predominantemente, a forma da curva de retenção de água na região em que as tensões estão entre 0 e 100 kPa. Já outros pontos da curva refletem a influência da textura do solo (Figura 9).

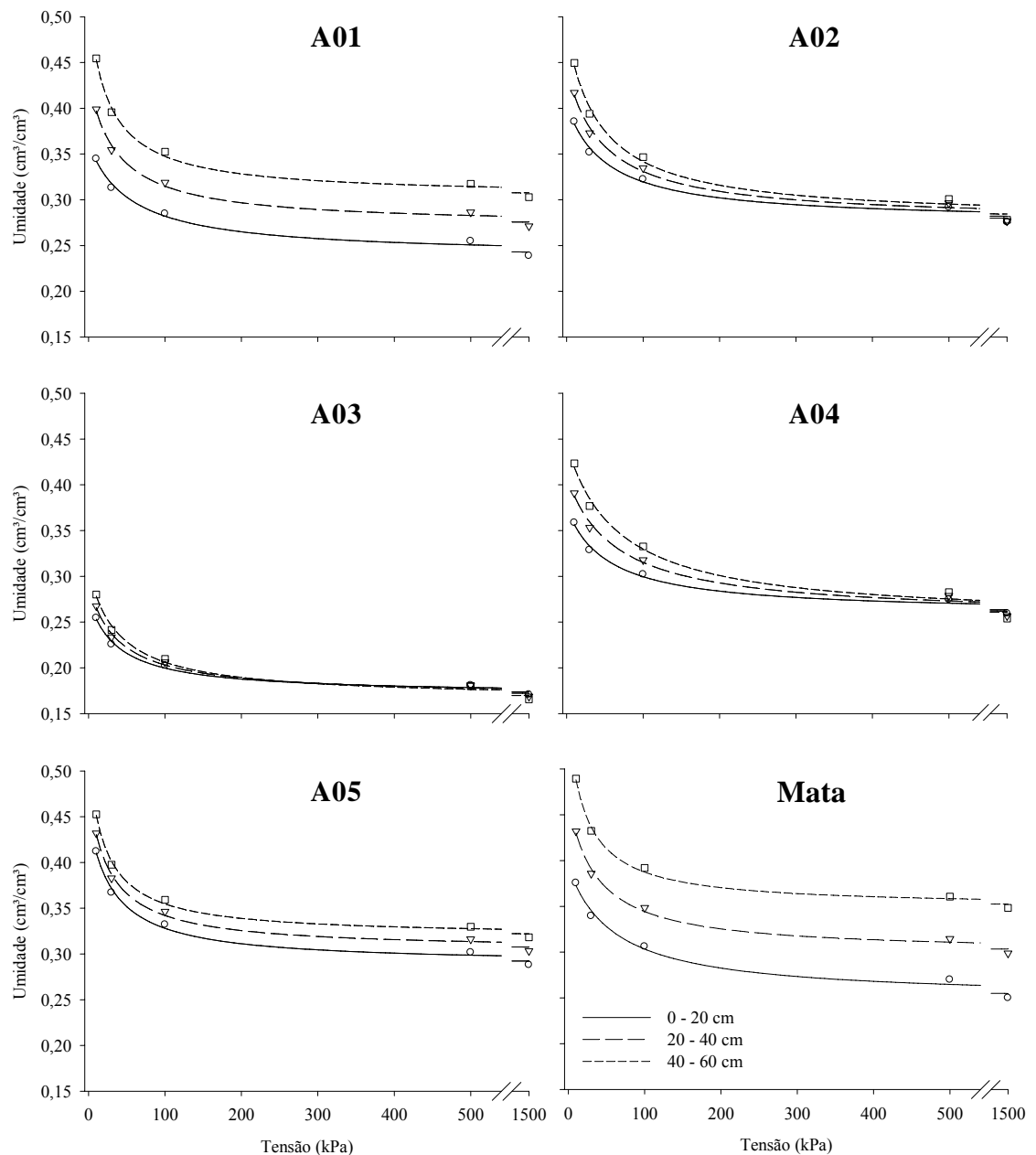


Figura 9. Retenção estimada de umidade a diferentes tensões, em perfis sob plantios de teca (*Tectona grandis*) e mata na região de Tangará da Serra-MT.

A água disponível, considerada como o volume entre capacidade de campo (-10 kPa) e o ponto de murcha permanente (-1.500 kPa) variou de 0,086 a 0,134 m³/m³ na camada de 0-20 cm e de 0,116 a 0,171 m³/m³ na camada de 40-60 cm (Figura 10), sendo o menor valor recorrente em ambas as camadas na parcela A03 (solo menos argiloso). Esses valores estão dentro da faixa da capacidade ideal de armazenamento de água no solo que, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), situa-se entre 0,15 e 0,20 m³/m³. Essa é uma propriedade do solo de vital importância na economia de água das plantas (Reichardt, 1996). O não revolvimento ou a mínima mobilização do solo, bem como a manutenção dos resíduos culturais na superfície ou sua incorporação

apenas parcial, podem contribuir para uma melhor condição físico-hídrica do solo, pela não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados devido ao acúmulo de matéria orgânica, estabelecimento de porosidade contínua (bioporos) pela atividade biológica da fauna edáfica e de raízes e o equilíbrio entre os valores de macro e microporosidade, que por sua vez podem contribuir para um maior volume de água disponível (Salton & Mielniczuk, 1995).

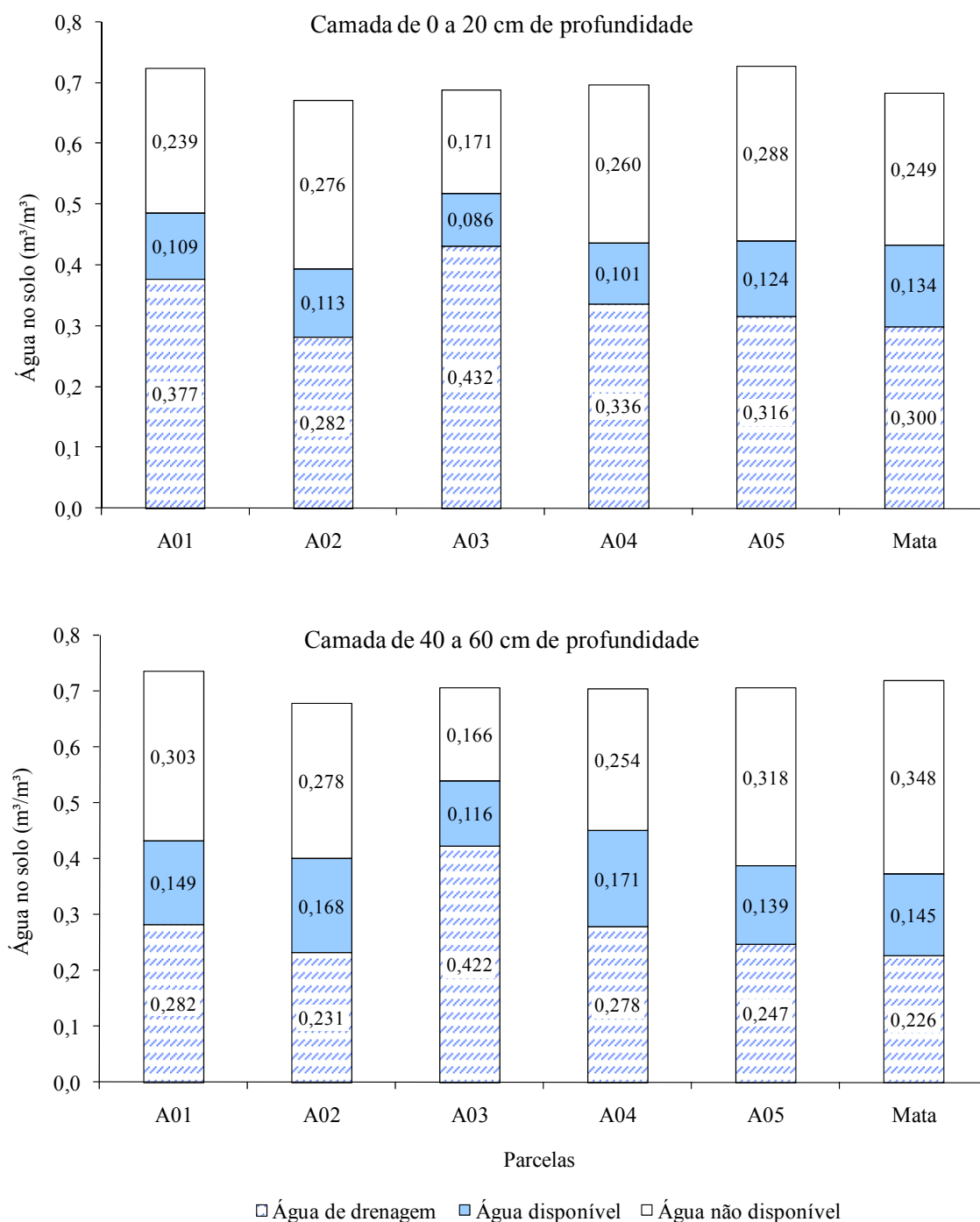


Figura 10. Quantidades de água disponível, não disponível e drenada no solo das parcelas de A01 a A05 de teca e mata.

A faixa ótima de conteúdo de água para o crescimento de plantas tem sido geralmente determinada com base na quantidade de água disponível, cujo limite superior é usualmente associado à capacidade de campo e o limite inferior é associado ao ponto de murcha permanente ou ao mais baixo conteúdo de água que não reduza o crescimento da planta. A faixa ótima de água não limitante (FANL) pode ser afetada pela aeração e/ou pela resistência mecânica, particularmente em solos com alta densidade e vazios pequenos (Letey, 1985).

A baixa aeração do solo dos povoamentos de teca pode limitar o crescimento das raízes já na capacidade de campo, sendo, então, exigido menor conteúdo de água do que o limite para aeração adequada. Por outro lado, uma alta resistência mecânica, provocada pela compactação, que restrinja o crescimento das raízes pode ocorrer num solo cujo conteúdo de água seja maior que o limite usado para determinação da água disponível. A faixa ótima de água não limitante (FANL) pode ser reduzida nesses solos pela pobre aeração e/ou pela alta resistência mecânica imposta a raiz, conforme observações feitas no campo (Figura 6c). Essa situação agrava-se em áreas de baixada, e/ou de acúmulo de água no terreno, cuja drenagem é dificultada, sendo relatado a morte de árvores em alguns pontos (Figura 11).



Figura 11. Ocorrência de árvores mortas em pontos isolados associados às condições de drenagem imperfeita em povoamento de teca com 90 meses de idade, no município de Tangará da Serra-MT.

3.5 Nutrientes no Solo

Realizou-se uma análise de comparação múltipla entre os pontos de coleta das parcelas com 90 meses para cada profundidade amostrada, quanto aos teores de macro e micronutrientes e demais propriedades químicas do solo, através do teste de Friedman (Tabela 2 e 3 do anexo). Pelo teste de Friedman não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras coletadas na linha de plantio com árvores (LP), na entre linha destas mesmas árvores (EL) e linha de plantio entre desbastes (LD) para as diferentes camadas do solo e variáveis analisadas (Figura 12, 13 e 14), exceto para o Mg, na camada de 0 a 10 cm de profundidade ($p < 0,05$). Os teores de Mg nesta camada são maiores no ponto EL e menores nos pontos LP e LD, indicando que houve uma depleção deste elemento na camada superficial, fato corroborado com sintomas de deficiência observados em algumas árvores dentro do povoamento (Figura 15).

No ano de 2001 foram observados sintomas de deficiência de magnésio sem alterações nos teores dos demais nutrientes nas folhas, com exceção do Fe, cuja variação nos teores pode ser atribuída a um ligeiro alagamento do solo, causando redução, e tornando-o pouco disponível, momentaneamente. Em análise realizada em plantas deficientes, folhas coletadas no mês de abril de 2006, constatou-se a mesma deficiência, com teores de Mg vinte vezes menores nas plantas deficientes que os teores das plantas normais. As variações nos teores de Fe, na presente data, não foram observadas o que pode estar associado a época de coleta (Tabela 2). De acordo com Matricardi (1989), a teca é uma espécie que exige poucas quantidades de magnésio. Tal deficiência pode estar associada ao cálcio, encontrado em elevada concentração no sítio, o que pode induzir uma maior demanda de Mg para manter a relação Ca:Mg interna estável.

No Brasil, a teca foi implantada comercialmente a partir da década de 70, existe pouco conhecimento de sua silvicultura, ecologia e também das exigências nutricionais, ficando sempre a dúvida se as condições do solo onde está implantada correspondem as suas necessidades. Através da análise das figuras 16, 17 e 18 é possível concluir que, pelos teores dos macro e micronutrientes, além das demais características químicas (pH, CTC, MO), o solo da área de estudo apresenta boas condições de fertilidade para plantas de teca.

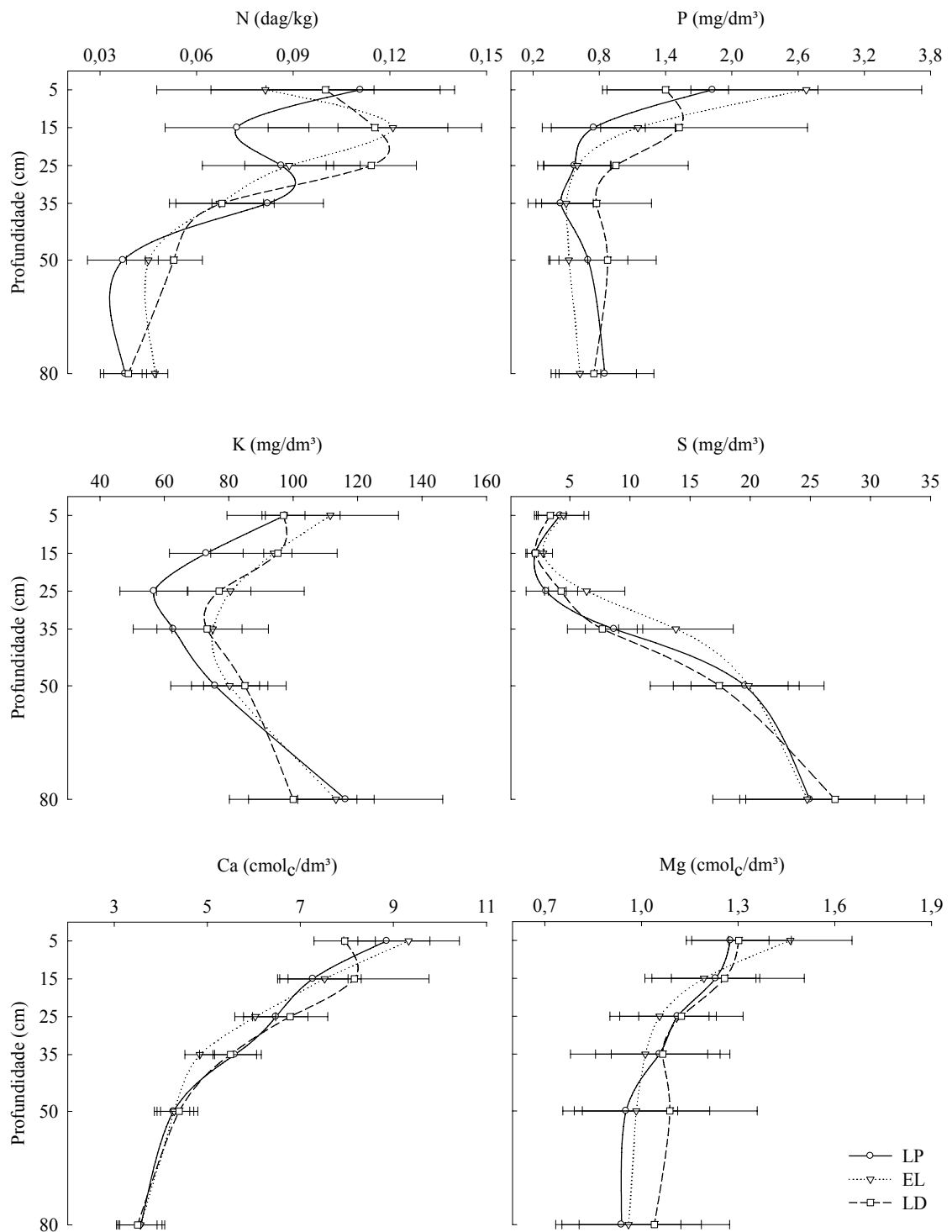


Figura 12. Teores de macronutrientes em razão da profundidade e do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoados de teca no município de Tangará da Serra-MT. Barras horizontais em cada ponto representam o erro padrão da média.

De uma maneira geral os teores de macronutrientes tem uma concentração em superfície maior na mata comparada aos plantio de teca com 17 e 90 meses. Com o aumento da profundidade essas diferenças diminuem. Isso pode ser um indicativo da

depleção dos nutrientes, devido aos anos de exploração a que foi submetido o solo das áreas estudadas, bem como pela grande demanda em nutrientes pelo cultivo de teca. Para o S observa-se comportamento inverso, maior concentração em profundidade na teca com 90 meses (Figura 12 e 16). Solos argilosos e com teores elevados de óxidos de ferro e maior quantidade de colóides inorgânicos apresentam alta capacidade de retenção de SO_4^{-2} , tornando a sua movimentação no perfil mais lenta, comparativamente a solos com menor quantidade desses grupos funcionais. As práticas de fertilização, associadas à presença de matéria orgânica, promovem a desorção e movimentação do SO_4^{-2} , que passa a se acumular na subsuperfície (Caires & Fonseca, 2000; Alvarez, V., et al., 2007).

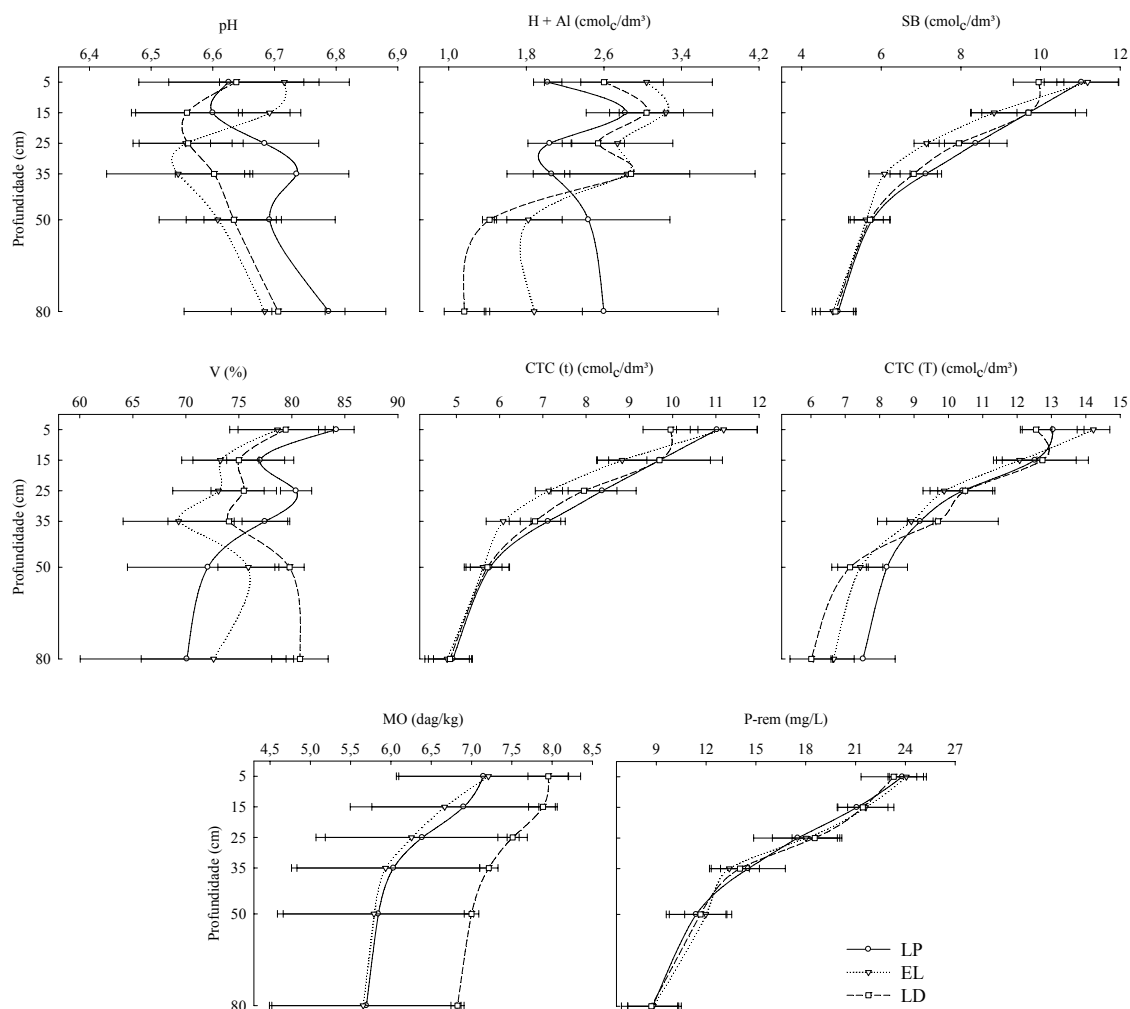


Figura 13. Propriedades químicas do solo em razão da profundidade e do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT. Barras horizontais em cada ponto representam o erro padrão da média.

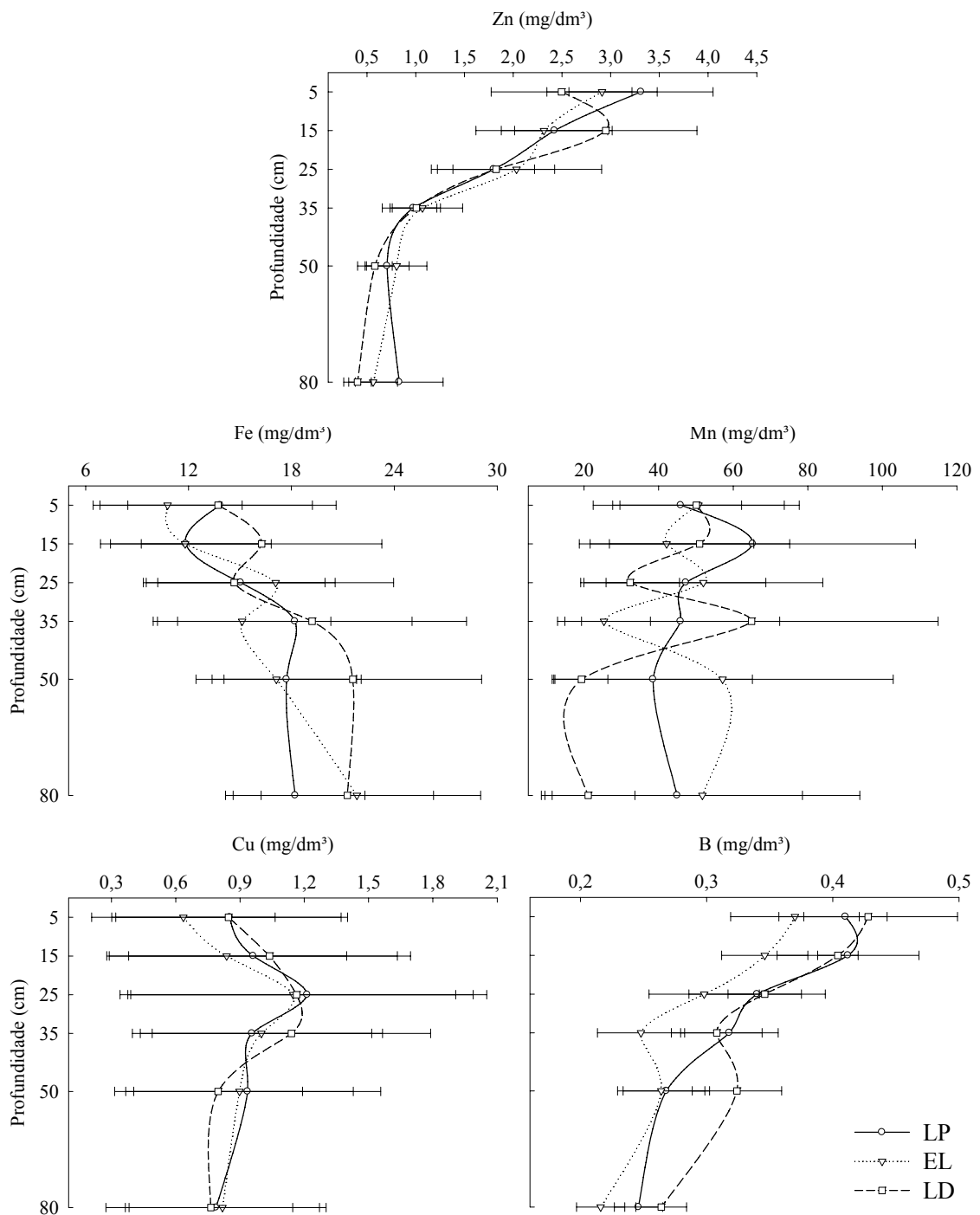


Figura 14. Teores de micronutrientes em razão da profundidade e do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoadamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT. Barras horizontais em cada ponto representam o erro padrão da média.

Os teores de matéria orgânica e N-total do solo são importantes no processo de mineralização de nutrientes no solo, pois quanto maior o potencial produtivo de biomassa do ecossistema, maior é o aporte de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, maior a quantidade de N (Gonçalves et al., 2001). Comparando os teores de N dos plantios de teca aos 90 meses, com aqueles aos 17 e a mata, ocorre redução dos valores da mata para os 90

meses (Figura 16). Devido às condições alcalinas do solo o nitrogênio é o principal nutriente que pode ser perdido por volatilização, pois o íon amônio passa para a forma de amônia, que é volátil. Perdas que ocorrem principalmente na camada superficial devido a elevada taxa de evaporação do solo, além das perdas que podem ocorrer por erosão.

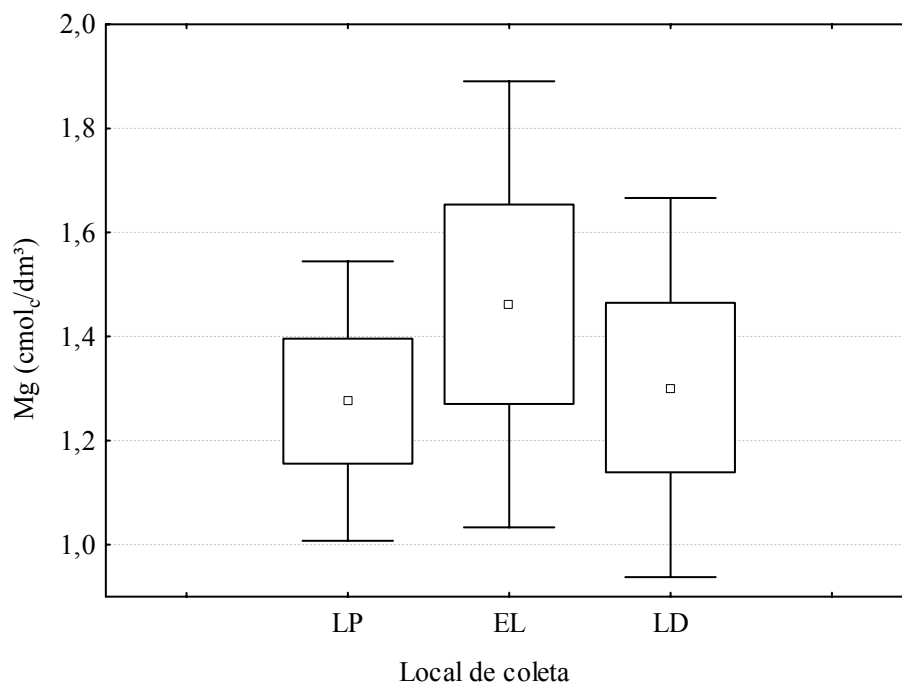


Figura 15. Box plot dos teores de Mg na camada de 0-10 cm de profundidade em razão do local de coleta, LP: linha de plantio com árvores, EL: entre linha destas mesmas árvores e LD: linha de plantio entre desbastes, em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.

Tabela 2. Comparação dos teores de nutrientes nas folhas de árvores de teca com sintomas de deficiência de Mg com a média dos teores das plantas normais.

Planta	N					P					K					S					Ca					Mg					Zn					Fe					Mn					Cu					B				
	dag/kg												mg/kg																																										
	Rep.												2006																																										
Deficiente	1	1,437	0,093	1,230	0,041	1,284	0,017	30,7	159,5	91,0	9,9	22,7	2	1,267	0,096	1,350	0,046	1,389	0,018	32,5	150,8	88,9	9,3	21,5	3	1,298	0,105	1,320	0,055	1,395	0,017	31,0	138,2	88,9	9,3	22,7																			
	Normal	1,895	0,162	1,275	0,068	3,219	0,323	31,7	167,3	54,1	11,0	27,6																																											
		2001																																																					
Deficiente	1,35	0,132	1,200	0,069	2,129	0,020	14,2	254,6	49,2	1,7	33,4																																												
Normal	1,71	0,193	0,900	0,069	2,577	0,126	16,2	503,4	51,9	2,7	30,6																																												

Os teores de P nas camadas mais profundas do perfil, nas parcelas jovens de teca aos 17 meses são menores que na mata e nas parcelas com 90 meses são mais elevados (em média 2,5 mg/dm³). Os plantios de teca, na camada superficial do solo, proporcionaram redução no teor de P. Espécies florestais, principalmente as de rápido

crescimento, apresentam maior taxa de absorção e retenção de nutrientes na fase juvenil, o que pode explicar a redução dos níveis de P e dos demais nutrientes no solo, comparando teca de 17 com 90 meses. Aos 90 meses há uma maior ciclagem de nutrientes (ciclo biogeoquímico) restabelecendo parte dos nutrientes ao solo.

Os valores de pH são menores na camada superficial nos plantios de teca aos 17 meses, nos plantios com 90 meses esses valores foram restabelecidos. Mesmo com essa redução, o pH encontra-se dentro da faixa de classificação agrônômica “alto” (Alvarez V. et al., 1999). No Brasil, muitas áreas apresentam solos de reação ácida e com baixa disponibilidade de nutrientes. O caso específico da área de estudo, é uma exceção, o pH é elevado, chegando a neutralidade em profundidade no caso da mata. Isto tem influência direta na disponibilidade dos nutrientes, especialmente o fósforo que, em função disto, fica fortemente fixado ao solo e pouco disponível para as plantas. Embora, com este valor de pH, elementos como N, K, S, B e Mo comecem a ser absorvidos com maior intensidade pelas plantas.

Considerando o P-remanescente e os teores P disponíveis, o solo enquadra-se na classe de disponibilidade de P muito baixo exceto a mata na camada de 0-10 cm, mesmo assim enquadra-se na classe de disponibilidade baixa. Já o K, enquadra-se na classe “bom” para teca e “muito bom” a mata (Alvarez V. et al., 1999).

O conteúdo de matéria orgânica do solo diminuiu com a profundidade, os valores são maiores nas parcelas de teca com 90 meses, com uma redução em profundidade menor que na mata (Figura 17). Na camada superficial do solo, a quantidade desses componentes é máxima porque a maioria do material orgânico se incorpora ao solo a partir da decomposição da serapilheira e das raízes finas que, principalmente nos solos tropicais, estão concentradas na superfície (Brady, 1999). O fato da teca ser uma espécie caducifólia, aportando ao solo anualmente todas as suas folhas, em torno de 1,5 t/ha para os plantios com 17 meses e 6,5 t/ha para os plantio com 90 meses, pode justificar os maiores teores de MO na teca em relação a mata. Quando comparado os valores de serapilheira da teca com 90 meses aos encontrados na mata, verifica-se que a teca acumulou mais biomassa na serapilheira, pois enquanto esta possuía 10,5 t/ha, a mata apresentou 7,4 t/ha.

Os valores de CTC efetiva são elevados, refletindo a concentração de matéria orgânica e, conseqüentemente, a alta retenção de nutrientes. Quanto à saturação por bases, os valores observados, mesmo aos 17 meses, com uma redução na camada superficial, estão acima de 60 %, valores classificados como altos (Meurer et al., 2000). Este comportamento é conseqüência, principalmente, dos teores de Ca^{2+} e K^+ , mas também dos níveis de matéria orgânica e argila, responsável pela retenção destes íons.

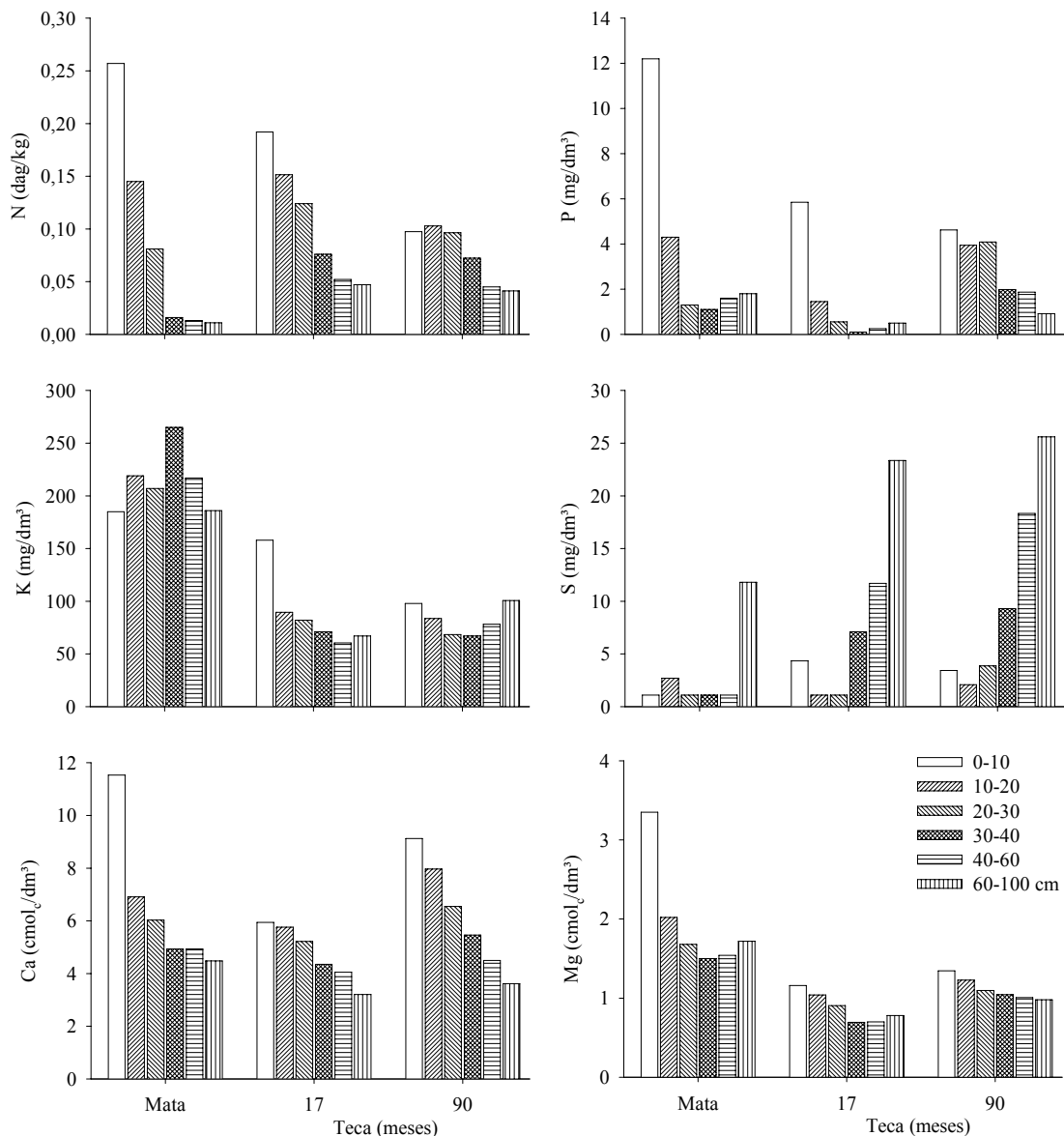


Figura 16. Teores de macronutrientes em diferentes profundidades observados em plantios de teca com 17 e 90 meses de idade e em uma área de mata, no município de Tangará da Serra-MT.

Os micronutrientes, embora apresentem comportamentos diferenciados entre a mata e os povoamentos de teca, de uma maneira geral, encontram-se dentro de uma faixa de teores considerada de média a alta, com boa disponibilidade devido ao pH e textura do solo que contribuem para a maior disponibilidade dos mesmos (Figura 18).

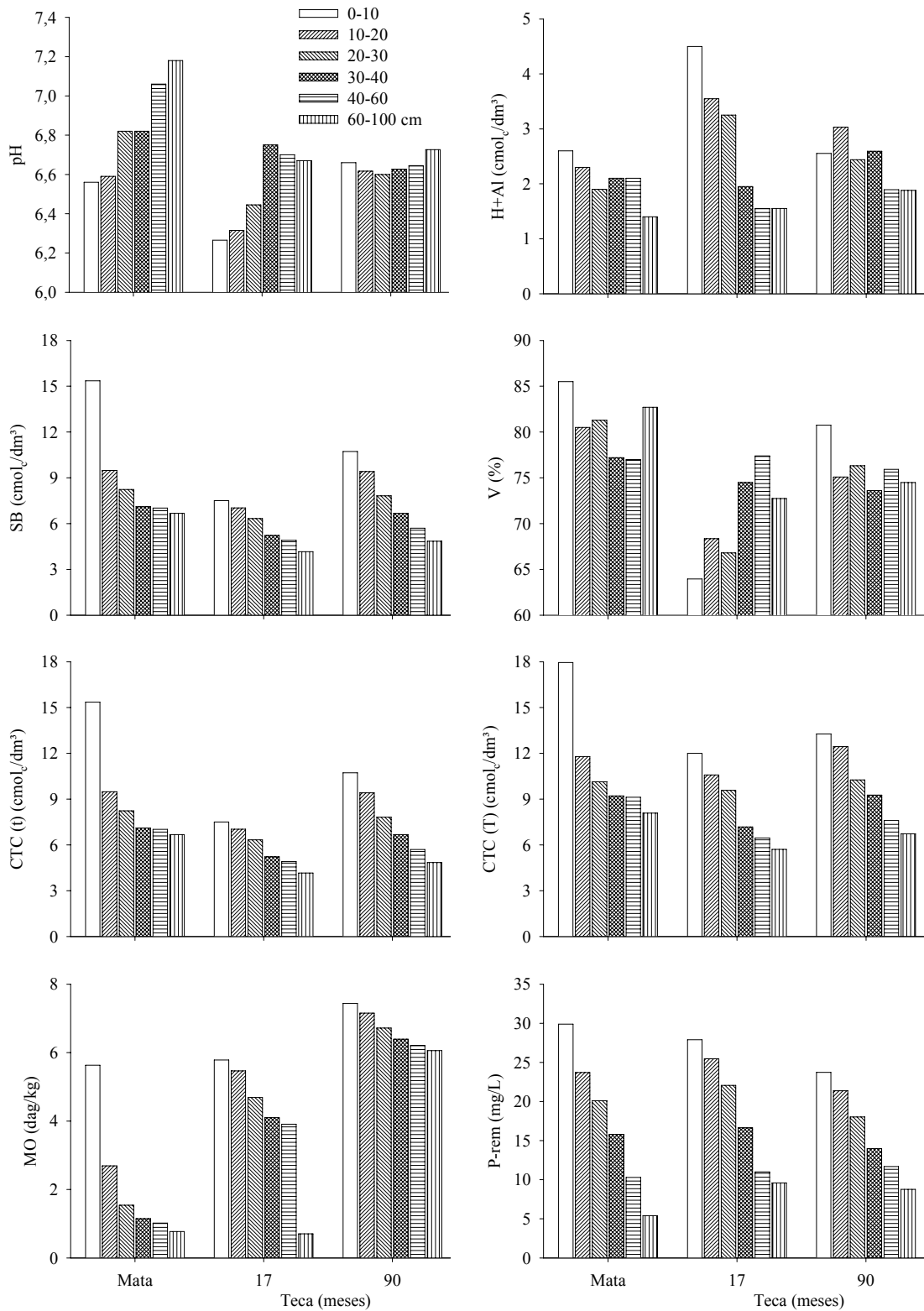


Figura 17. Propriedades químicas do solo em diferentes profundidades observados em plantios de teca com 17 e 90 meses de idade e em uma área de mata, no município de Tangará da Serra-MT.

As alterações ocorridas nos atributos químicos do solo indicaram que, até os 90 meses, os minerais foram absorvidos pelas plantas e que, certamente, a ciclagem pela serapilheira depositada contribui para elevação dos teores de nutrientes do solo. No

entanto, não é suficiente para manter a fertilidade inicial do solo. Este comportamento sugere que adubações de plantio e cobertura nos primeiros anos poderiam ter mantido a fertilidade do solo proporcionado melhor desempenho ao crescimento das plantas, mesmo considerando a boa fertilidade natural do solo utilizado para o plantio, ou seja, necessidade de recomendações de adubações com embasamento na sustentabilidade da exploração em termos de manutenção da fertilidade do solo em longo prazo.

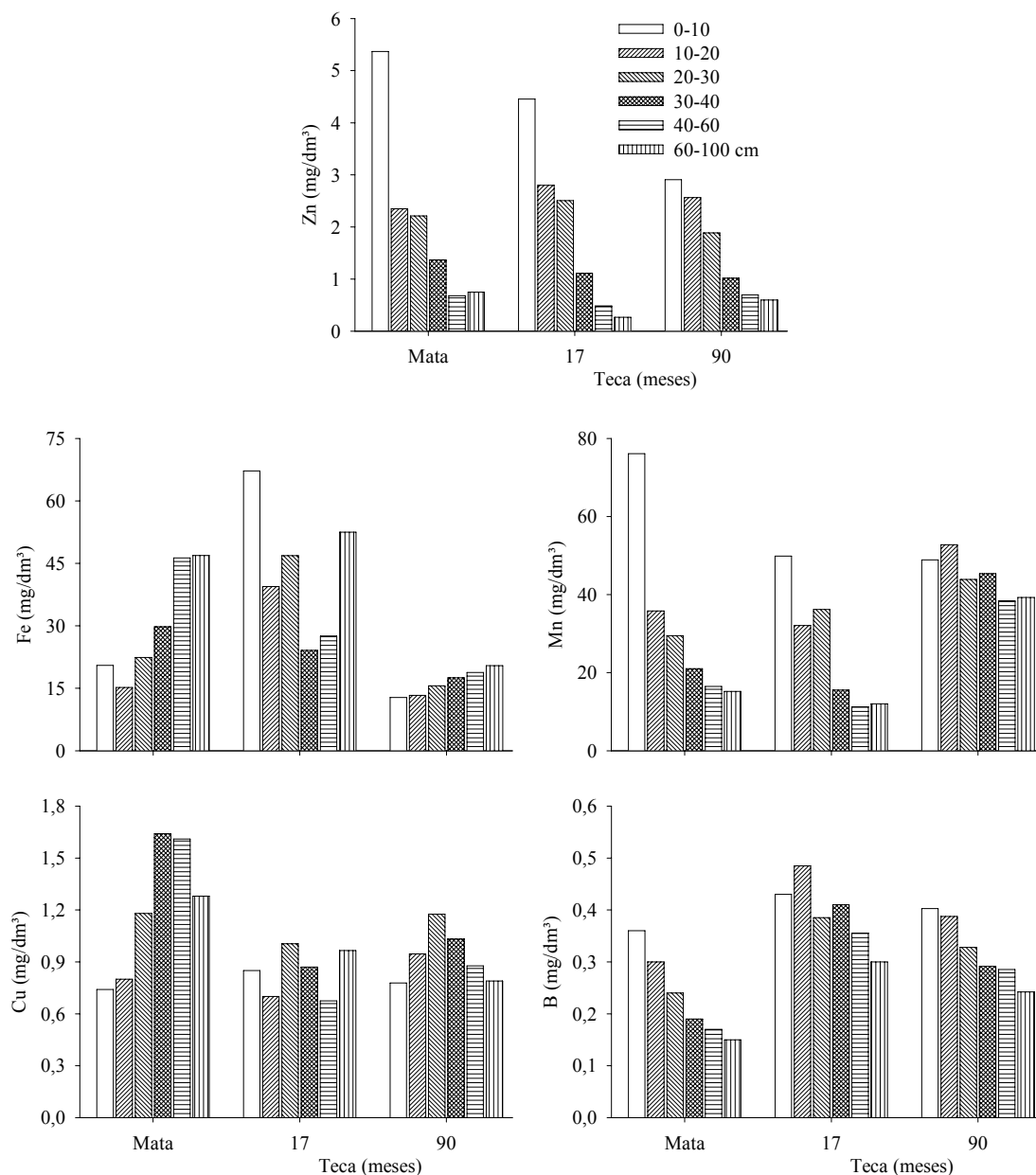


Figura 18. Teores de micronutrientes em diferentes profundidades observados em plantios de teca com 17 e 90 meses de idade e em uma área de mata, no município de Tangará da Serra-MT.

4 CONCLUSÕES

O tráfego de máquinas dentro das parcelas de teca influenciou as propriedades físicas do solo, resultando no aumento da densidade do solo em relação a linha de plantio sem tráfego e solo da mata.

O teor de argila, superior a 60 % com classe textural argila chegando a muito argilosa em profundidade, é a principal limitação para o desenvolvimento da teca devido às restrições imposta as raízes.

Os teores de nutrientes no solo não diferiram entre os pontos de coleta: linha de plantio entre árvores (LP), na entre linha destas mesmas árvores (EL) e linha de plantio entre os desbastes (LD), exceto para o Mg, na camada de 0 a 10 cm de profundidade sugerindo uma possível depleção deste elemento na camada superficial.

Os teores de macro e micronutrientes e outras características químicas do solo apresentam boas condições de fertilidade, exceto P com disponibilidade muito baixa.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v.1, p. 595-644.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.27-33, 2000.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- ANGHINONI, I.; MEURER, E. Suprimento de nutrientes pelo solo e sua absorção pelas plantas. In: BISSANI, C. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. 33-42 p.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In. BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- BOWEN, H.D. Alleviating mechanical impedance. IN: ARKIN, G.F. & TAYLOR, H.M., eds. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. 1981. p. 18-57. Michigan. (ASAE monograph, 4).
- BRADY, N. C.; WEIL, R. **The nature and properties of soils**. New Jersey. Prentice Hall, 1999. 881p.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-320, 2000.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/20062/C6/Index.htm>>. Acesso em: 19/12/2006.

- CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica. 4ª. ed. FEALQ, Piracicaba, SP, 1983, 349p.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.83-188, 1995.
- CHAVES, E., FONSECA, W. **Tectona grandis L.f. espécie arbol de uso multiple em América Central**. Turrialba, Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1991. (Série Técnica, n. 179).
- COUTO, C.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. Níveis críticos de Zn no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores de fator capacidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 79-87, 1992.
- CTFT. Teak. Bois et Forêts des Tropics, n.224, p.39-47, 1990.
- DIAS JUNIOR, M. de; MIRANDA, E. E. V. de. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência Agrotecnica**, Lavras. v.24. n. 2, p.337-346. 2000.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta). Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 2001.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos – EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.892-898, 1980.
- GONÇALVES, J. L. M. DEMATTÊ; J. L. I., COUTO, H. T. Z. 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, Piracicaba n.43/44, p.24-39. 1990.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eachborn. República Federal da Alemanha. 1990. 343p.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop reduction. **Adv. Soil Sci.**, New York, 1:277-294, 1985.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. 2.ed. Piracicaba: O próprio, 2004. 509p.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.F.) cultivada na grande Cáceres – Mato Grosso**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2989. 130p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, 1989.
- MELLO, J.W.V.; RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. concentrações críticas de fósforo em plantas de arroz cultivadas em solos inundados. **Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.211-216, 1993.
- MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de superfície. In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Gênese, 2000p. 77-108.
- MUNIZ, A. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.237-243, 1985
- NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. – níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 10, n. 1, p. 105 – 111, 1986.

- PETERSEN, G. W. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: I Moisture retention as related to texture. **Soil Sci. Am. Proc.**, Madison, v.32, p.271-275. 1968.
- RALISH, R.; GUIMARÃES, M. de F.; MEDINA, C. de C.; TAVARES FILHO, J.; DERSIGNY, C.G. & VIZENTIM, L.M.B. O método de perfil cultural para auxiliar na avaliação dos efeitos do preparo sobre a estrutura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., Londrina, 1991. Anais, Londrina, SBEA, 1991. v.2, p.1374-1382.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba : USP/ESALQ, Depto. De Física e Meteorologia, 1996. 513p.
- REYNOLDS, W.D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131- 146, 2002.
- RIBON, A. A. e TAVARES FILHO, J. Models for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Brazilian Archives Biology and Technology**, v. 47, n. 1, p. 25-31, mar. 2004.
- RONDON NETO, R. M.; MACEDO, R. L. G.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L. f. (Teca). **Boletim Técnico - Série Extensão**, v. 7, n. 33, p. 1-29, 1998.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, p.297-300, 2005.
- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Teor, acúmulo e distribuição de fósforo em plantas de soja em relação ao conteúdo de água do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.181-185, 1990.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.313-319, 1995.
- SANCHEZ, P.A. **Suelos dei trópico: características y manejo**. San José, Inst. Interam. Coop. Agric. 1981. 633p.
- SILVA, D. J.; ALVAREZ V., V. H. & RUIZ, H. A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.109-114, 1998.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. & ZIMMERMANN, F.J.P. Características físico-hídricas e químicas de um latossolo após adubação e cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob irrigação por aspersão. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 18:533-539,1994.
- TOGNON, A. A., DEMATTE, J. L. I. e DEMATTE, J. A. M. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil central. **Sci. agric.**, 1998, v. 55, n. 3, p. 343-354.
- TORES, F. S. **Teak Potential in Brazil**. Regional Seminar on “Site, Technology and Productivity of Teak Plantations”, Chiang Mai, Thailand, 1999.
- VEIT, L. F. Dinheiro não cresce em árvores. **Revista Silvicultura**, n. 83, p. 38-39, 2000.
- ZOBEL, B.J.; WYK, G. Van; STAHL, P. **Growing exotic forest**. New York, John Willey & Sons. Inc., 1987. 508p.

CAPÍTULO 2

BIOMASSA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM RAÍZES E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES PARA A FORMAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE RAÍZES FINAS E MÉDIAS EM POVOAMENTOS DE TECA

RESUMO

O conhecimento das características do sistema radicular auxilia na definição de práticas de preparo de solo e fertilização (local e época de aplicação). O objetivo do presente trabalho foi estimar a biomassa, o conteúdo de nutrientes em raízes, o comprimento e a área de raízes finas e médias e a eficiência de utilização de macronutrientes para formação de área radicular em diferentes profundidades do solo, para a espécie *Tectona grandis*, com 7,5 anos de idade, no município de Tangará da Serra-MT. Na determinação da distribuição das raízes e de sua biomassa foram utilizadas unidades amostrais circulares de 30 cm de diâmetro, nas camadas: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-60 cm de profundidade, distribuídos em coordenadas L (linha de plantio), E (entre linha) e D (diagonal) em um quarto da área útil das árvores amostradas. A separação das raízes do solo foi feita manualmente estratificando-as em três classes de diâmetro, grossas ($> 5 \text{ mm } \Phi$), médias (2 a 5 mm Φ) e finas ($< 2 \text{ mm } \Phi$). Sub-amostras foram moídas e mineralizadas para determinação de N, P, K, Ca, Mg e S, com os respectivos conteúdos calculados com base nos teores e na produção de biomassa seca. Sub-amostras das raízes médias e finas ($\pm 0,5 \text{ g}$) foram digitalizadas e quantificadas por intermédio do programa QuantRoot[®], gerando-se os atributos morfométricos utilizados no trabalho (diâmetro, área e comprimento). A biomassa total de raízes finas e médias foi de 1.335 e 1.258 kg/ha respectivamente, sendo que 56,2 % das raízes finas e 44,4 % das raízes médias estavam concentradas nos primeiros 20 cm do solo. O comprimento total de raízes finas foi de 8.237 km/ha e 57,4 % destes estavam nos primeiros 20 cm de profundidade. A superfície total de raízes finas foi de 18.441 m²/ha, com 57 % desta superfície nos primeiros 20 cm do solo. A quantidade total de nutrientes nas raízes, na camada de solo estudada (0-60 cm), em ordem decrescente foi K > Ca > N > Mg > P > S, sendo o P e S os nutrientes utilizados com maior eficiência para a formação de área radicular.

Palavras-Chave: *Tectona grandis*, sistema radicular, biomassa radicular, nutrição mineral e EUN.

CHAPTER 2

BIOMASS AND ROOTS NUTRIENT CONTENT AND NUTRIENT USE EFFICIENCY FOR THE FORMATION OF FINE AND MEDIUM ROOTS SURFACE IN TEAK STANDS

ABSTRACT

Knowing root system characteristics aids in the definition of practices of soil preparation and fertilization (place and application time). The objective of this work was to estimate the biomass, root nutrient content, fine and medium roots length and area and the nutrient use efficiency for the formation of roots area in different soil depths for the *Tectona grandis* species with 7.5 years of age in Tangará da Serra-MT. In the determination of root biomass and distribution circular sample units of 30 cm of diameter were used in the 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and 40-60 cm layers, distributed in the planting row (L), between rows (EL) and diagonally (D) in on fourth of the trees useful area. The separation of roots from the soil was made stratifying them in three diameter classes: thick (> 5 mm Φ), middle (2 to 5 mm Φ) and fine roots (< 2 mm Φ). Sub-samples were ground and mineralized for N, P, K, Ca, Mg and S determination with the respective contents calculated based on the dry biomass production. Sub-samples of medium and fine roots (± 0.5 g) were scanned and quantified by the QuantRoot[®] program, generating the diameter, area and length attributes used in this work. The total fine and medium roots biomass was of 1.335 and 1.258 kg/ha, respectively, with 56.2% of the fine roots and 44.4% of the medium roots concentrated in the 0-20 cm layer. The total fine roots length was 8.237 km/ha with 57.4% in the first 20 cm of depth. The total fine roots surface was 18.441 m²/ha, with 57% of this surface in the first 20 cm of soil. The 0-60 cm layer roots total nutrient accumulation, in decreasing order, was $K > Ca > N > Mg > P > S$ being P and S the nutrients with higher use efficiency to root area formation.

key words: *Tectona grandis*, root system, root biomass, mineral nutrition and nutrient use efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O interesse comercial pelo plantio da teca (*Tectona grandis*) no Brasil começou por volta de 1970. Nos últimos anos, esse interesse se consolidou devido ao esgotamento das áreas de matas nativas e pressões por órgãos ambientais contra a exploração ilegal de madeira. A teca se apresenta, hoje, como uma ótima alternativa para a produção de madeira nobre de alto valor agregado, tendo em vista as suas qualidades agronômicas, industriais e comerciais, tais como: tronco retilíneo, fácil de cultivar, pouco sujeita a pragas e doenças, madeira de excelente qualidade, valorizada pela beleza, resistência e durabilidade. No Estado do Mato Grosso, esta espécie é cultivada com sucesso, obtendo-se uma redução do ciclo para 25 a 30 anos, comparado aos 80 anos na região de origem (Ásia). A busca de novas alternativas florestais atrativas estimulou sua expansão no Estado e para outras regiões do país. Em 2009, estima-se uma área plantada com teca em cerca de 60.000 ha (ABRAF, 2009).

O aumento significativo dos plantios de teca no Estado do Mato Grosso se deve, em parte, às condições edafoclimáticas favoráveis da região. Apesar disso, é necessário conhecer as relações entre a água, o solo, a planta e a atmosfera para a obtenção de produtividades economicamente rentáveis que atendam às exigências dos mercados internos e externos. Nessas relações, é de grande importância a obtenção de informações complementares referentes ao desenvolvimento e à distribuição do sistema radicular.

É consenso que o fator que mais influencia a distribuição das raízes no solo é o material genético, embora ela possa ser também influenciada por outros fatores relativos ao solo, como matéria orgânica, fertilidade, densidade, aeração, textura, temperatura e, também, pelas condições em que a espécie se desenvolve, por exemplo, competição e espaçamento entre árvores (Gonçalves e Mello, 2000). Para a teca, pouco se tem estudado sobre o sistema radicular, pois a grande maioria dos estudos realizados neste compartimento da planta trata apenas do sistema radicular de sustentação, constituído pelas raízes mais grossas. Esta limitação está relacionada principalmente à complexidade de estudos desta natureza, que envolvem grande demanda de tempo, mão-de-obra e custo elevado.

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN), tanto para a formação de biomassa quanto para a formação de superfícies de aquisição de recursos (luz, água e nutrientes), pode variar dentro de uma espécie de planta, em função das diferenças genótípicas que podem ocorrer e da interação genótipo-ambiente. Essas diferenças podem alterar a capacidade de absorção, transporte e utilização dos nutrientes pelas

plantas (Steenbjerg e Jakobsen, 1963; Marschner, 1995). Do ponto vista nutricional, espécie eficiente, na utilização de nutrientes, é aquela capaz de sintetizar o máximo de biomassa e superfícies de aquisição de recursos por unidade de nutriente absorvido (Barros et al., 1995).

Além das informações a respeito do sistema radicular como biomassa, conteúdos de nutrientes, morfologia e distribuição no perfil de solo, a eficiência de utilização dos nutrientes para formação de superfícies de raízes também contribui para maior acurácia das estimativas do aporte de nutrientes, em sistemas baseados na filosofia do balanço nutricional entre a demanda pelas árvores para uma dada produtividade esperada e o aporte pelo solo, como é o caso do NUTRICALC (Barros et al., 1995). O conhecimento das características do sistema radicular, auxilia na definição de práticas de preparo de solo e fertilização (local e época de aplicação) e é fundamental para o entendimento e avaliação da magnitude de processos ecofisiológicos básicos, principalmente aqueles relacionados com a nutrição mineral e o balanço hídrico das árvores (Gonçalves & Mello, 2000).

Pelo fato da ausência de informações sobre as características do sistema radicular da teca em condições de cultivo no Estado de Mato Grosso, foi conduzido este estudo com objetivo de avaliar a biomassa, o conteúdo de nutrientes de raízes finas, médias e grossas, o comprimento e superfície de raízes finas e médias e a eficiência de utilização de nutrientes para formação de área radicular (EUN_{AR}), de raízes finas e médias, em diferentes camadas do perfil de solo, para a espécie *Tectona grandis* na região de Tangará da Serra-MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no município de Tangará da Serra-MT em área da empresa Tectona Agroflorestal-LTDA, o plantio foi realizado nos meses de outubro a dezembro de 1998, localizado a 14° 04' 38'' latitude Sul e 57° 03' 45'' longitude Oeste com altitude média de 387 m. O clima é do tipo Ami tropical, quente e subúmido, conforme a classificação de Köppen, com quatro meses secos, de junho a setembro. A precipitação pluviométrica anual é de 1.750 mm, sendo janeiro, fevereiro e março os meses mais chuvosos. A temperatura média anual é de 24° C. A área apresenta topografia suave ondulada e a classe de solo predominante é o Argissolo Vermelho. A vegetação é composta de mata de transição entre floresta amazônica e cerrado.

Na área de estudo, foram distribuídas aleatoriamente três parcelas com 132 árvores cada uma (950,4 m²), espaçamento 3 x 2,4 m, com idade média de 90 meses.

Em cada parcela foram medidas as circunferências a 1,30 m de altura (CAP) de todas as árvores. A determinação da distribuição das raízes e de sua biomassa foi realizada na árvore média de cada parcela, utilizando-se como unidades amostrais, cilindros de 30 cm de diâmetro, nas profundidades: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-60 cm, distribuídos em coordenadas L (linha de plantio), E (entre linha) e D (diagonal) em um quarto da área útil das árvores amostradas (Figura 1). A parcela total de avaliação foi constituída de uma área de 1,5 x 1,2 m, num total de 11 unidades amostrais para cada profundidade, totalizando 55 unidades por árvore (adaptado de Teixeira, 1996). O solo de cada unidade amostrada, em função de sua textura muito argilosa, foi colocado diretamente sobre uma mesa, onde foi feita a separação manual das raízes. Após a separação, as raízes foram estratificadas por classe de diâmetro (Φ) em grossas (> 5 mm Φ), médias (2 a 5 mm Φ) e finas (< 2 mm Φ), feita de maneira visual, utilizando-se gabaritos com diâmetros limites. Somente a biomassa de raízes vivas foi determinada e a raiz pivotante foi desconsiderada nessa amostragem.

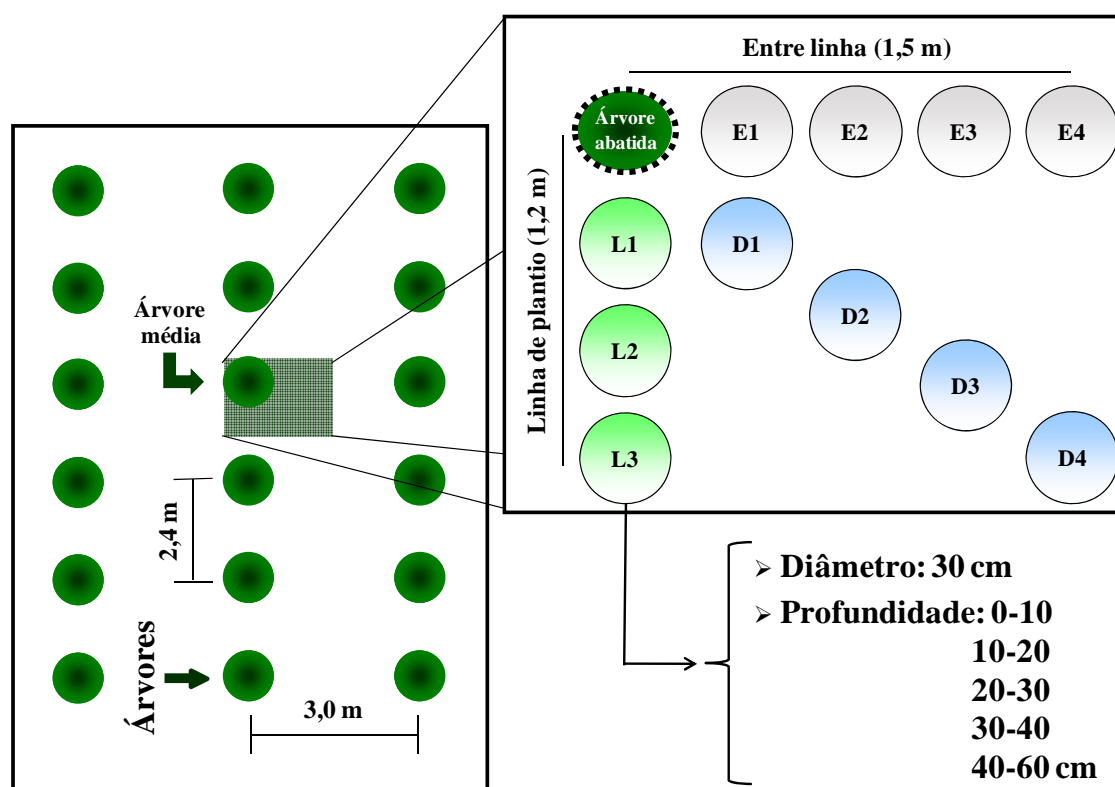


Figura 1. Esquema utilizado na coleta das raízes de teca, sendo: L pontos de coleta equidistantes na linha de plantio, E na entre linha e D na diagonal a linha de plantio, posicionados em relação a uma árvore média abatida na parcela.

As amostras das diferentes classes de raízes foram secas em estufa a 75°C até peso constante (± 96 horas) e depois pesadas. Com os valores de umidade e do peso de matéria fresca das amostras, foram obtidos os valores da biomassa seca. As raízes, antes

de submetidas à secagem, passaram por um tratamento prévio, sendo imersas inicialmente em uma solução de HCl 3 % por trinta segundos e, em seguida, em água destilada por mais trinta segundos (Bataglia, et al., 1978).

Subamostras foram moídas e mineralizadas. Nos extratos da mineralização nítrico-perclórica foram determinados P (colorimetria), K (fotometria de emissão de chama), S (turbidimetria de sulfatos), Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica). Nos extratos da mineralização sulfúrica foi determinado o N (Kjedahl). Os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e S, foram calculados com base nos teores e na produção de biomassa seca.

Sub-amostras das raízes médias e finas ($\pm 0,5$ g) foram colocadas sobre transparência e digitalizadas, sendo as raízes médias digitalizadas na resolução de 100 dpi e as finas com uma resolução de 200 dpi utilizando-se “scanner” HP Scanjet 8200. Para o processamento das imagens utilizou-se o programa QuantRoot[®] (Fernandes Filho, 2001), convertendo-se os valores de pixel das imagens em valores de preto e branco (imagens binárias), em seguida foi utilizado o filtro de “Mediana” para a redução de pixels isolados e, na seqüência, remoção manual de ruídos da imagem.

Com as imagens processadas, utilizou-se o programa QuantRoot[®] para a geração dos atributos morfométricos diâmetro, área e comprimento e com o auxílio do processador de planilhas Microsoft[®] Office Excel 2003 complementou-se o cálculo dos atributos: comprimento total e superfície radicular.

Após a digitalização, as raízes foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 75 °C até peso constante e pesadas em balança com 0,001g de precisão.

Os valores de área e comprimento de raízes obtidos foram relacionados com o volume de solo amostrado e com a biomassa seca de raízes e o resultado expresso em g/dm^3 , m/dm^3 e m^2/dm^3 de solo, e m^2/kg de biomassa, extrapolando-se para o volume de solo e biomassa de um hectare correspondente a cada camada amostrada.

A eficiência de utilização dos nutrientes para formação de área radicular (EUN_{AR}) foi obtida através da razão entre a área radicular específica ($\text{ARE} = \text{m}^2/\text{kg}$ de biomassa seca de raiz) e o teor de nutrientes na raiz (g/kg).

Os dados foram submetidos a uma análise estatística descritiva. A comparação das diferenças entre as classes de diâmetros das raízes sobre as variáveis estudadas em cada camada do solo, ou seja, estudo da variação em profundidade, foi feita através da barra de erro padrão da média.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A biomassa total de raízes foi de 21,9 t/ha. Deste total, 19,3 t/ha foram de raízes grossas, que variou na seguinte ordem: 6,81; 6,98; 3,16; 1,38 e 0,99 t/ha para as profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-60 cm, respectivamente. Ou seja, 88 % da biomassa de raízes grossas se encontram na camada superficial do solo (0-30 cm), e 88 % da biomassa de raízes finas e 77 % das raízes médias encontram-se na camada de 0-40 cm.

Os resultados obtidos para a biomassa total de raízes finas e médias, considerando todas as amostras coletadas na linha, entre linha e diagonal à linha de plantio (Tabela 1), podem ser comparados com aqueles encontrados por Luy et al. (1997), que obtiveram para *Eucalyptus grandis*, aos 5, 7 e 17 anos, 2,2; 2,8 e 2,9 t/ha, respectivamente, para raízes finas menores que 5 mm, até a profundidade de 50 cm no solo. Esses valores são mais elevados que o valor médio de 1,34 t/ha obtido no presente trabalho para raízes finas, mas deve ser considerado que as raízes finas foram classificadas com o diâmetro inferior a 5 mm, o que certamente influenciou tais resultados, mesmo que eles tenham trabalhado até os 50 cm de profundidade no solo. Quando se soma a biomassa de raízes finas (< 2 mm) com a biomassa de raízes médias (2 a 5 mm), esses valores se aproximam, obtendo-se uma média de 2,61 t/ha de raízes de teca < 5 mm Φ .

Schumacher (1995), trabalhando com *Eucalyptus bicostata*, observou que a biomassa de raízes finas (< 2,0 mm) diminuiu com o aumento da profundidade do solo, o mesmo comportamento é observado para teca (Tabela 1). A diferença na produção de biomassa radicular em relação a outros trabalhos ocorre em função da espécie, da idade, das condições edafoclimáticas, bem como da metodologia empregada. A comparação de resultados de biomassa radicular é dificultada em razão dos métodos usados para coletar as informações serem os mais variados possíveis, pelo fato deste tipo de levantamento ser bastante trabalhoso e na maioria das vezes requerer grande investimento financeiro (Schumacher, 1995).

Assim como para a biomassa, o comprimento de raízes finas (< 2 mm Φ) também apresentou seus maiores valores médios nas camadas mais superficiais do solo (Tabela 1). O comprimento médio de raízes finas até a profundidade de 60 cm do solo foi de 8.237 km/ha. Verifica-se que, em média, 72 % do comprimento das raízes finas encontram-se nos primeiros 30 cm de profundidade do solo. Estes dados estão de acordo com Mello et al. (1998), que encontraram, para três materiais genéticos (*Eucalyptus grandis*, propagado por semente e dois híbridos do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*

urophylla), 70 % das raízes (< 3 mm) nos primeiros 30 cm de profundidade do solo. De acordo com Fitter (1991), geralmente há correspondência entre a maior abundância de raízes nas camadas superficiais do perfil de solo e a maior disponibilidade de água e nutrientes nas camadas.

O comprimento de raiz varia em função da época de coleta e com a espécie. Mello et al. (1998), constataram que no verão o comprimento de raiz de eucalipto (< 1,0 mm Φ) variou de 5.500 a 25.200 km/ha na serapilheira e de 91.400 a 53.100 km/ha no perfil do solo, para o clone superior e propagado por semente, respectivamente. Os clones apresentaram suas maiores extensões de raízes no solo e a menor, na serapilheira. Segundo os autores, a extensão de raízes finas é uma característica intrínseca do genótipo, a qual é estreitamente relacionada com o seu comportamento nutricional, seu potencial produtivo e sua capacidade de adaptação às condições de estresse ambiental.

A superfície radicular apresentou o mesmo padrão de comportamento que a biomassa e o comprimento com um valor médio de 18.441 m²/ha, sendo que, em média, 72 % da superfície radicular encontra-se nos primeiros 30 cm de profundidade do solo para raízes finas. Nas raízes médias, 70 % dos 4.813 m²/ha, concentra-se nos primeiros 30 do solo.

Tabela 1. Biomassa seca, comprimento e superfície de raízes finas (< 2 mm Φ) e médias (2 a 5 mm Φ), em diferentes profundidades do solo, para *Tectona grandis* aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT.

Raízes	Prof.	Biomassa seca		Comprimento		Superfície	
	-cm-	—kg/ha—	%	—km/ha—	%	—m ² /ha—	%
Finas (< 2 mm)	0-10	472,68 (±36,86) ^{1/}	35,40 ^{2/}	3095,02 (±247,32)	37,58	6780,97 (±519,22)	36,77
	10-20	277,87 (±21,89)	20,81	1629,15 (±140,60)	19,78	3727,53 (±295,57)	20,21
	20-30	197,53 (±11,44)	14,79	1232,22 (±143,63)	14,96	2810,19 (±244,17)	15,24
	30-40	164,25 (±10,58)	12,30	975,66 (±83,43)	11,85	2218,24 (±162,71)	12,03
	40-60	222,91 (±28,61)	16,69	1304,82 (±178,37)	15,84	2904,03 (±350,83)	15,75
	Total	1335,23 (±100,91)	51,48^{3/}	8236,87 (±704,61)	94,04	18440,95 (±1454,34)	79,30
Médias (2 a 5 mm)	0-10	254,07 (±46,89)	20,19	117,26 (±14,19)	22,45	1078,38 (±145,02)	22,41
	10-20	304,15 (±40,19)	24,17	132,96 (±14,90)	25,46	1241,68 (±135,60)	25,80
	20-30	229,00 (±24,90)	18,20	99,44 (±10,36)	19,04	906,90 (±88,64)	18,84
	30-40	187,82 (±33,79)	14,93	77,39 (±8,36)	14,82	702,61 (±90,38)	14,60
	40-60	283,36 (±80,68)	22,52	95,28 (±17,57)	18,24	883,34 (±174,30)	18,35
	Total	1258,39 (±139,25)	48,52	522,33 (±41,82)	5,96	4812,92 (±401,93)	20,70
Total geral	2593,62 (±119,75)	100,00	8759,20 (±684,85)	100,00	23253,87 (±1356,21)	100,00	

^{1/}Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média. ^{2/} Percentual de cada classe de raízes por camada do solo. ^{3/} Percentual em relação a biomassa total de raízes finas e médias.

Refinando a abordagem sobre produção de biomassa, comprimento e superfície de raízes finas e médias por camada de solo, verifica-se, em geral, decréscimos destes

atributos com a profundidade (Tabela 1). No entanto, a espessura das camadas não é a mesma, exceto para as quatro primeiras camadas, sendo, o padrão de produção de biomassa, comprimento e superfície de raízes finas e médias ao longo do perfil de solo, melhor avaliado pelos valores de densidade radicular (g/dm^3), densidade de comprimento radicular (m/dm^3), densidade de superfície radicular (m^2/m^3) e área radicular específica (m^2/kg) em relação ao volume de solo (Figura 2).

A densidade de raízes finas diminuiu à medida que a profundidade do solo aumentou (Figura 2a), confirmando dados da literatura que revelam que a densidade de raízes é maior nas primeiras camadas do solo (Neves, 2000; Luy et al., 1997; Schumacher, 1995; Gonçalves, 1995). A densidade de raízes correlaciona-se com a taxa de crescimento de determinadas espécies. Estudo realizado com *Eucalyptus grandis*, com idade média de 5,6 anos, revelou que quanto mais elevada era a taxa de crescimento das árvores menor era a densidade de raízes finas (diâmetro $\leq 3,0$ mm) nas diferentes camadas do solo. As menores densidades de raízes foram encontradas nos sítios menos férteis e vice-versa (Gonçalves, 1995). A distribuição e a densidade de raiz dependem em primeiro lugar do tipo do sistema radicular e variam no decorrer do ano, devendo-se ressaltar que a propagação ocorre na primavera ou época de chuvas e a morte e diminuição, no final do período de crescimento (Larcher, 2000).

A densidade de raízes médias apresentou comportamento distinto ao das raízes finas (Figura 2a), com maior densidade na faixa de 10 a 20 cm, região de solo em que há adensamento do perfil. Isto evidencia a sensibilidade das raízes dessa classe de tamanho ao aumento de resistência do solo, fato observado por Neves (2000), em plantios clonais de eucalipto (“urograndis”) no perfil de um Argissolo Amarelo (PA), derivado do grupo Barreiras, na região litorânea do Espírito Santo, para esta mesma classe de tamanho de raízes. Este comportamento é observado, também, em solos arenosos, sem compactação, sugerindo que além da compactação, um dos motivos do maior adensamento das raízes médias, na camada de 10 a 20 cm, seja o fato das raízes terem pouco tempo para engrossar na camada superficial do solo (0-10 cm), ambiente inóspito com efeitos adversos da radiação solar sobre a superfície exposta do solo (Martins, 2004).

O maior valor de densidade de comprimento radicular, para as raízes finas, ocorreu nos primeiros 10 cm do solo, com um valor médio de $3,1 \text{ m}/\text{dm}^3$, reduzindo em profundidade, alcançando um valor médio de $0,7 \text{ m}/\text{dm}^3$ na camada de 40 a 60 cm. As raízes médias apresentaram uma variação em profundidade menor, com valores de

0,12 m/dm³ na camada superficial reduzindo para 0,05 m/dm³ na camada mais profunda (Figura 2b).

A maior densidade de superfície radicular para as raízes finas foi encontrada na camada superficial (0 a 10 cm), com média de 6,8 m²/m³ de solo reduzindo gradativamente em profundidade, chegando à média de 1,5 m²/m³ na camada de 40 a 60 cm (Figura 2c). Para as raízes médias essa variação em profundidade foi menos pronunciada variando de 1,1 m²/m³ na camada de 0 a 10 cm a 0,4 m²/m³ na camada de 40 a 60 cm. Esta distribuição da superfície específica acompanha o padrão de distribuição da densidade de raízes (Figura 2a). Comportamento semelhante foi observado por Berish e Ewel (1988) em estudos com raízes de espécies tropicais arbóreas da Costa Rica e por Schwengber et al. (1994) em raízes de seringueira (*Hevea spp*).

A área radicular específica (ARE), observada neste estudo, dá idéia da eficiência com que o carbono é usado para produzir superfície radicular. A ARE foi, em média, de 13,86 e 4,35 m²/kg para raízes finas e médias, respectivamente. Portanto, por unidade de massa, a área de raízes finas é aproximadamente 3,2 vezes maior que a área de raízes médias. A variação em profundidade é pouca, ocorrendo diminuição da ARE com o aumento da profundidade. Os valores de ARE variaram de 14,71 m²/kg em superfície a 13,65 m²/kg na camada mais profunda para raízes finas e de 4,86 m²/kg em superfície a 3,79 m²/kg na camada mais profunda para raízes médias (Figura 2d).

Os teores de N, K e S decresceram com o aumento da classe de diâmetro das raízes, ou seja, são inversamente proporcionais à classe de diâmetro, reflexo da maior atividade metabólica nas raízes finas (Taiz e Zeiger, 2004; Gordon e Jackson, 2000; Marschner, 1995). No entanto, para o P, contrário ao esperado, a maior concentração ocorreu nas raízes grossas (≥ 5 mm), já para o Ca e o Mg a maior concentração ocorreu nas raízes da classe de diâmetro médio (2 a 5 mm).

A concentração média, nas diferentes classes de raízes, de cada nutriente, permite representá-los na seguinte escala decrescente K > Ca > N > Mg > S ~ P (Figura 3).

Os menores teores de macronutrientes, nas raízes existentes nas camadas mais profundas de solo, não podem ser atribuídos ao efeito de diluição, uma vez que, como já comentado, a biomassa de raízes decresce com a profundidade (Tabela 1). Os decréscimos observados nos teores de nutrientes nas raízes finas podem indicar a existência de maior proporção de raízes jovens, com maior atividade metabólica, nas

camadas mais superficiais de solo, podendo também ser atribuídos à redução na disponibilidade dos nutrientes no solo com a profundidade (Neves, 2000).

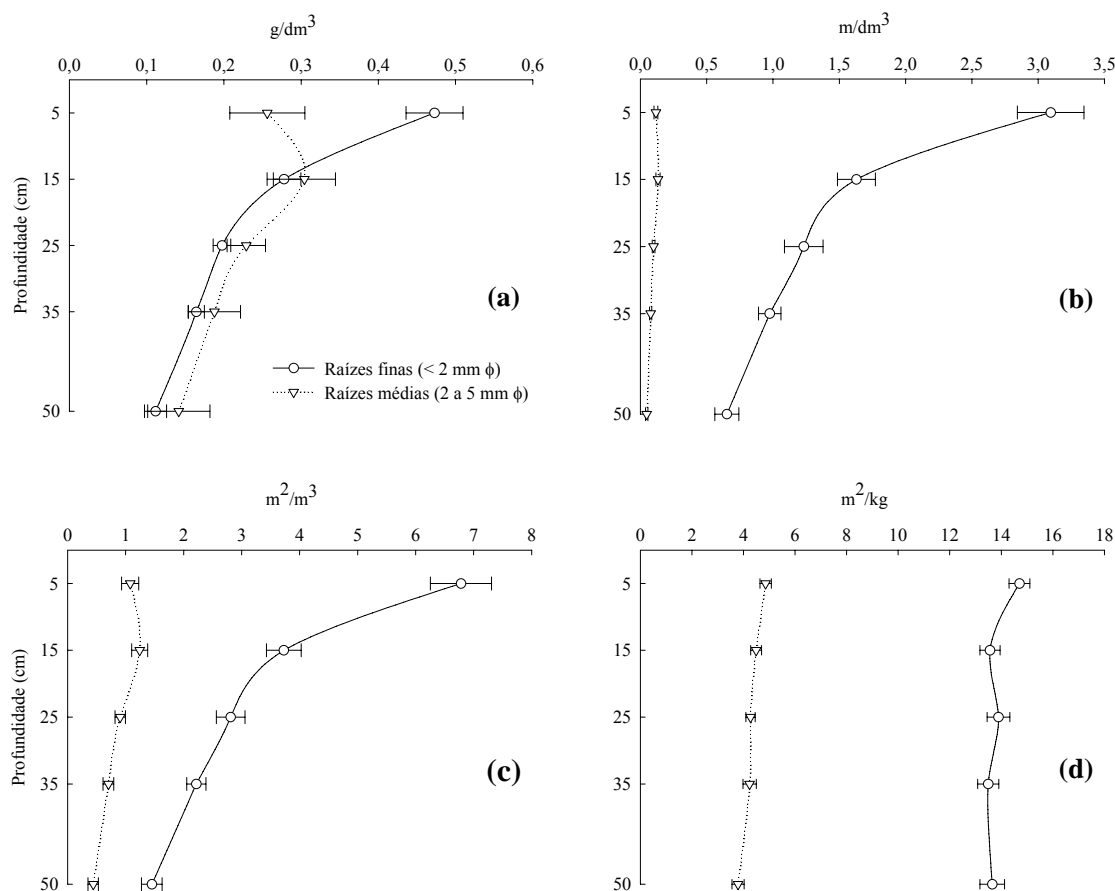


Figura 2. Atributos morfométricos: (a) Densidade (g/dm^3), (b) densidade de comprimento radicular (m/dm^3), (c) densidade de superfície radicular (m^2/m^3) e (d) área radicular específica ($\text{ARE} = \text{m}^2/\text{kg}$ de MS) de raízes finas e médias, em profundidade, para *Tectona grandis* aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT. Barras horizontais em cada ponto representam o erro padrão da média.

A distribuição do conteúdo dos nutrientes no perfil do solo segue a tendência da biomassa, que é maior na superfície, por conseguinte, o conteúdo de nutrientes é alto, reduzindo em profundidade. Para raízes grossas e finas, bem como para o total de raízes (grossas + médias + finas) há, quase sempre, decréscimo dos conteúdos, sendo que, em geral, o máximo conteúdo ocorre na camada correspondente a 10 a 20 cm do perfil de solo. Observou-se, que a maior quantidade dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S estão na camada superficial do solo de 0-20 cm de profundidade. A quantidade total de nutrientes, na camada de solo estudada (0-60 cm), em ordem decrescente foi $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ (Figura 4).

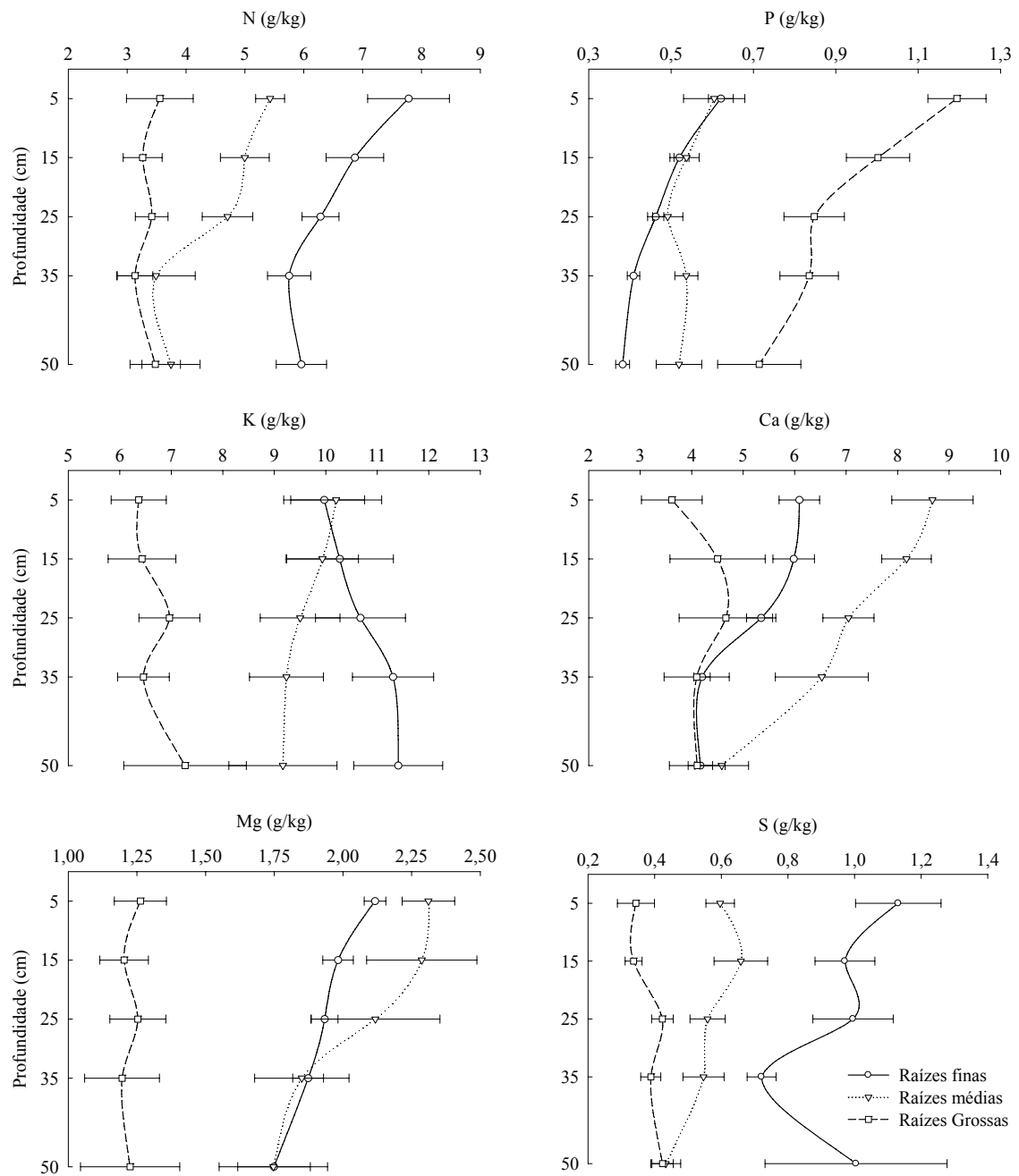


Figura 3. Distribuição dos teores de macronutrientes de raízes grossas, médias e finas em profundidade para *Tectona grandis*, aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT. Barras horizontais em cada ponto representam o erro padrão da média.

Como o conteúdo de nutrientes é consequência da concentração e da produção de biomassa, a maior quantidade de nutrientes encontra-se alocada nas raízes grossas. Isto se deve a grande diferença em termos da quantidade de biomassa produzida, ou seja, esta classe representa 88 % da biomassa total de raízes. A exceção é para o enxofre, na camada de 0-10 cm, cujo conteúdo foi maior nas raízes finas. Independente da profundidade, o K apresentou uma quantidade na raiz superior a todos os demais nutrientes, sendo 13,83 kg/ha na camada superficial do solo (0-20 cm) somente

considerando as raízes finas e médias. Quando considerado o total de raízes, este valor foi de 106 kg/ha.

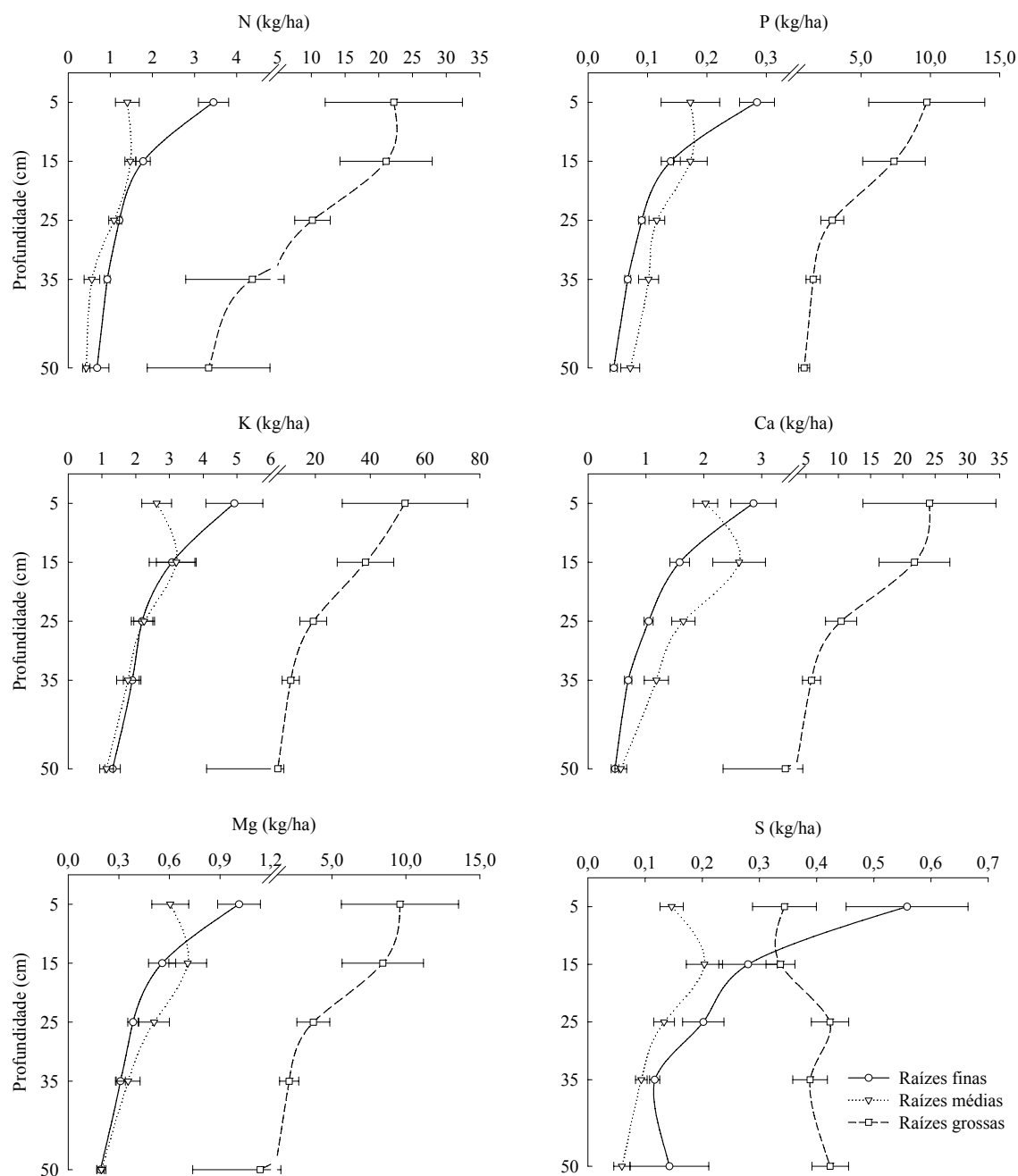


Figura 4. Distribuição dos conteúdos de macronutrientes de raízes grossas, médias e finas em profundidade para *Tectona grandis*, aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT. Barras horizontais em cada ponto representam o erro padrão da média.

Os maiores valores de eficiência de utilização dos nutrientes para formação de área radicular (EUN_{AR}) foram encontrados para o P, seguido do S, Mg, Ca, N e K para raízes finas. Isto indica que, dentre os nutrientes avaliados, o P e o S foram os nutrientes utilizados com maior eficiência para a produção de área radicular, enquanto que o N e o K foram os nutrientes utilizados com menor eficiência pela planta. Tais

resultados mostram que, para a produção de área radicular, a teca dependeria de maior quantidade de K no solo, em relação à quantidade de P e de maior quantidade de Ca no solo, do que de Mg (Figura 5). Esta maior demanda por Ca tem grande importância para fertilizações minerais. Em virtude das baixas concentrações e reservas de Ca na maioria dos solos usados para fins de reflorestamentos, as fertilizações devem prever, necessariamente, a aplicação de consideráveis quantidades de Ca, junto com as fontes de N, P e K ou por meio da calagem. No caso específico dos povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT, plantados em solos com teores elevados de Ca, a sua reposição ao solo, deve ser levado em consideração visando a sustentabilidade do sistema a longo prazo, devido ao ciclo prolongado (25 anos) e elevada exigência da espécie.

A maior eficiência no uso do P também foi observada em *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth por Moura et al. (2006), em três procedências de *Acacia mearnsii* De Wild. por Caldeira et al. (2002) e em *Eucalyptus saligna* Smith e *E. dunnii* (Maid) por Schumacher (1995). Vitousek (1984) constatou que o P é o único elemento que possui elevada eficiência de utilização nas florestas tropicais, principalmente em áreas onde ele se encontra em baixos teores. A elevada eficiência no uso do S pode ser atribuída aos elevados teores de argila e óxidos de ferro no solo, que resultam numa alta capacidade de retenção de SO_4^{-2} , tornando a sua disponibilidade para a planta e movimentação no perfil mais lenta, comparativamente a solos com menor quantidade desses grupos funcionais (Alvarez, V., et al., 2007).

Observa-se, para N, P, Ca, Mg e S aumento da EUN_{AR} em profundidade para as raízes finas, enquanto que para o K a eficiência diminui. Para as raízes médias, a variação em profundidade da EUN_{AR} é menor (Figura 5). Independente da classe de diâmetro da raiz, o K foi o nutriente que apresentou menor EUN_{AR} . Isso pode ter ocorrido em virtude da maior disponibilidade deste nutriente no solo, decorrente de uma ciclagem e liberação mais uniforme do mesmo. O N também apresentou eficiência baixa, comparado aos demais nutrientes, o que segundo Caldeira et al. (2002) isso deve-se aos altos teores nas folhas verdes e à retranslocação interna, voltando ao solo através da queda de serrapilheira, sendo assim novamente integrado ao ciclo biogeoquímico.

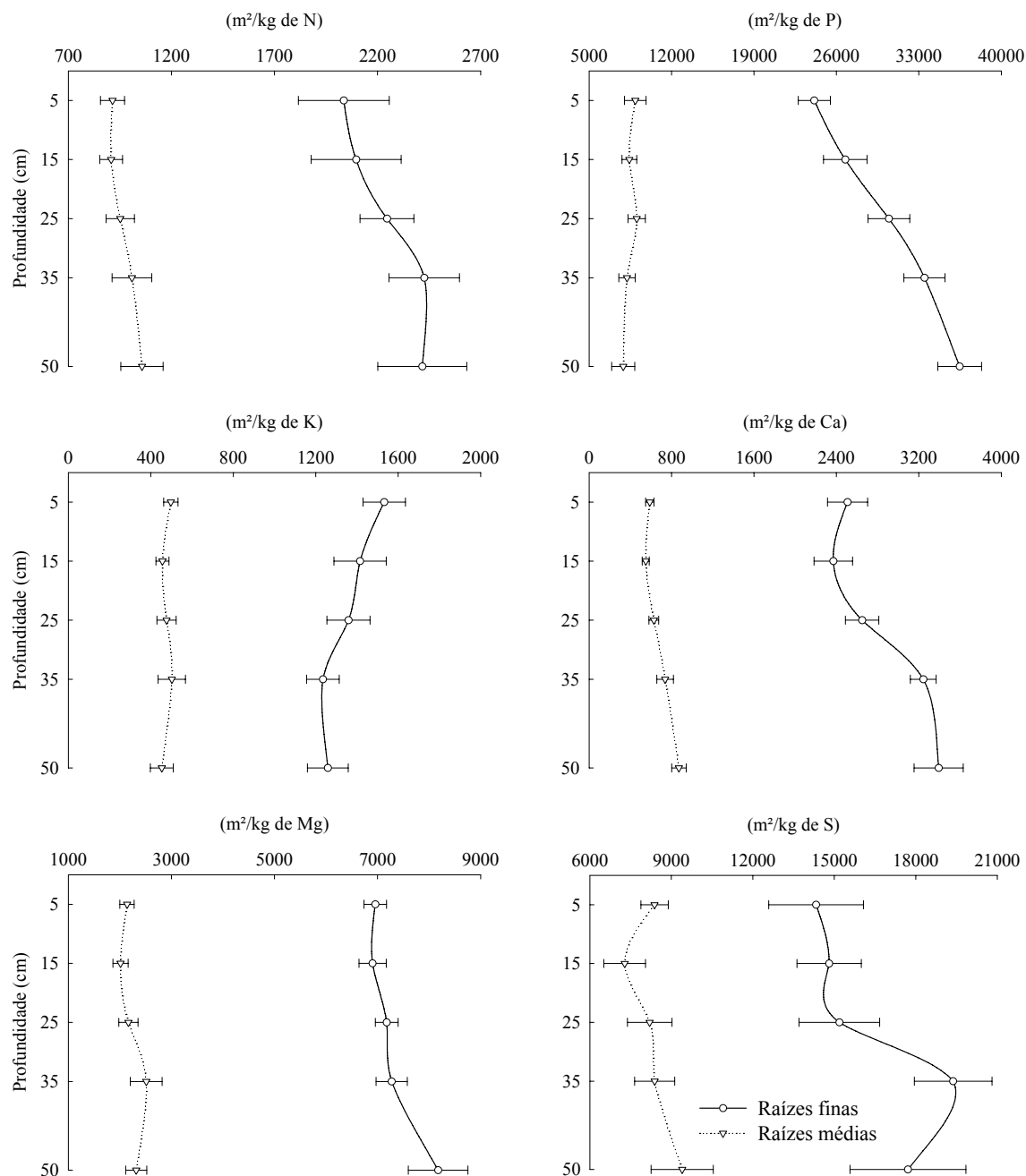


Figura 5. Eficiência na utilização de macronutrientes para formação de superfícies radiculares (EUN_{AR}) de raízes finas e médias em profundidade para *Tectona grandis*, aos 7,5 anos de idade, em Tangará da Serra-MT. Barras horizontais em cada ponto representam o erro padrão da média.

4 CONCLUSÕES

Nos primeiros 20 cm de solo concentra-se 56,2 % da biomassa seca, 57,4 % do comprimento total e 57 % da superfície das raízes finas de teca ($< 2 \text{ mm } \Phi$).

A densidade, o comprimento e a área radicular específica da teca diminuem com a profundidade do perfil e os maiores valores se concentram na camada de 0-20 cm.

A ordem decrescente da quantidade total de nutrientes nas raízes, na camada de solo estudada (0-60 cm), foi $K > Ca > N > Mg > P > S$.

O fósforo e o enxofre são os nutrientes com maior eficiência de utilização e nitrogênio e potássio os nutrientes com menor eficiência de utilização para formação de área radicular em plantios de teca, no município de Tangará da Serra-MT.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2008/ABRAF – Brasília, 2009, 120p.
- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v.1, p. 595-644.
- BARROS, N. F., NOVAIS, R. F., TEIXEIRA, J.L., FERNANDES FILHO, E. I. NUTRICALC 2.0 - Sistema para calculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, n.16, p.129-131, 1995.
- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F. FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. **Análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1978. 31p. (circular, 87).
- BERISH, C. W.; EWEL, J. J. Root development in simple and complex tropical successional ecosystems. **Plant and soil**, v. 108, p.73-84, 1988.
- CALDEIRA, M.V.W.; Rondon Neto R. M.; Schumacher, M.V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.5, p.615-620, 2002.
- FERNANDES FILHO, E. I. **QuantRoot – Um software para a quantificação de sistemas radiculares**. v. 1.0.0.22. 2001 (Não publicado).
- FITTER, A. H. (1991) Characteristics and function of root systems. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkaki, U. (eds.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. 948p.
- GORDON, W. S.; JACKSON, R. B. Nutrient concentration in fine roots. **Ecology**, v.81, n.1, p.275-280, 2000.
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. (org) **Nutrição e fertilização de florestas**. Piracicaba: IPEF, 2000. P.221-267.
- GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas: I Distribuição de raízes nas camadas de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 21., 1995, Viçosa. *Anais...* Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 876-878, 1995.
- HART, P. B. S.; CLINTON, P. W.; ALLEN, R. B.; NORDMEYER, A. H.; EVANS, G. Biomass and macro-nutrients (above- and below-ground) in a New Zealand beech (*Northofagus*) Forest ecosystem: implications for carbon storage and sustainable Forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 174, p. 281-294, 2002.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.
- LUY, A.; GOYA, J. F.; FRANGI, J. L. Distribución de la biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distintas edades en la región de Concordia, Entre Ríos (Argentina). In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO Y LATINO - AMERICANO. Forestar y crecer. 12., 1997, Posada-Misiones: Asociación Forestal Argentina, 1997. (CD-ROM).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

- MARTINS, L. G. C. **Método de recomendação de adubação para eucalipto com base no monitoramento nutricional** – Viçosa: UFV, 2004. 72p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2004
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L. E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. **Scientia Florestalis**, v. 54, p. 16-26, 1998.
- MOURA, O. N.; PASSOS, M. A. A., FERREIRA, L. C. R.; GONZAGA, S.; LIRA, M. A.; CUNHA, M. V. Conteúdo de nutrientes na parte aérea e eficiência nutricional em *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.1, s/n, p. 23–29, 2006.
- 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: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.
- SCHUMACHER, M.V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen Bestaeden von *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus dunnii* Maiden und *Eucalyptus globules* Labillardiere in Rio Grande do Sul, Brasilien**. Viena: Wien. 1995. 167 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Nutrição Florestal) - Universität für Bodenkultur, Wien, 1995.
- SCHWENGBER, D. R.; VENTURIN, N.; CARVALHO, J. G. Efeitos do gesso e calcário na relação raiz/parte aérea e em características das raízes de toças de seringueira (*Hevea spp*) recém implantadas em campo. **Cerne**. v.1, n.1, p. 38-44, 1994.
- STEENBJERG, F.; JAKOBSEN, S. T. Plant nutrition and yield curves. **Soil Science**, v. 95, p. 69-88, 1963.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Terceira edição. Porto Alegre: Artmed Editora, 2004. 719p.
- TEIXEIRA, P. C. **Dinâmica de crescimento radicular e suprimento de nutrientes pelas raízes e pelo solo em brotações de *Eucalyptus urophylla*** – Viçosa: UFV, 1996. 37p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- VITOUSEK, P. M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology**, Durham, v.65, n.1, p.285- 298, 1984.

CAPÍTULO 3

RELAÇÕES ENTRE AS SUPERFÍCIES DE AQUISIÇÃO DOS RECURSOS RADIAÇÃO SOLAR, ÁGUA E NUTRIENTES MINERAIS EM POVOAMENTOS DE TECA COM 7,5 ANOS

RESUMO

Na predição do potencial produtivo florestal, por meio de modelos baseados em processos (MBP), lida-se com a complexidade dos processos fisiológicos envolvidos na alocação de carbono (C) para os componentes das árvores, principalmente na formação de folhas e raízes finas (diâmetro < 2 mm), as superfícies de aquisição de radiação solar, água e nutrientes minerais, respectivamente. Este trabalho teve como objetivo determinar a área foliar específica (AFE), a área radicular específica (ARE) os índices de área foliar (IAF) e radicular (IAR) e a suas relações com a biomassa de árvores de teca. Na amostragem, realizada em árvores de teca, com 17 e 90 meses de idade, em parcelas estabelecidas em talhões comerciais em Tangará da Serra-MT, foram individualizados os componentes raízes, lenho, casca, galhos e folhas, determinando-se, posteriormente, suas biomassas secas, AFE e ARE. A teca apresentou, em média, AFE de 13,14 m²/kg, e ARE de 13,86 m²/kg, indicando eficiência semelhante quanto à utilização do C na produção de superfícies para aquisição de radiação solar, água e nutrientes e, ainda, que há sincronia na alocação de C entre folhas e raízes finas para formação de novos tecidos foliares e radiculares. O IAF, médio, foi 1,2 m²/m² nas plantas jovens e de 8,3 m²/m² nas plantas adultas. Existem fortes relações entre área foliar e biomassa da parte aérea com a área superficial e biomassa de raízes finas e médias. Estes resultados são discutidos com base na hipótese de equilíbrio funcional, devido ao fato dessas relações refletirem os padrões de alocação de carbono nas árvores até a idade que foram avaliadas e são úteis em MBP ao simplificarem o tratamento dos processos fisiológicos envolvidos. Equações alométricas associando raízes com parte aérea são importantes para predição da biomassa e área radicular simplificando o processo de obtenção destas variáveis.

Palavras-Chave: *Tectona grandis*, raízes finas, área radicular, área foliar e biomassa.

CHAPTER 3

RELATIONSHIPS BETWEEN SURFACES FOR ACQUISITION OF SUN RADIATION, WATER AND MINERAL NUTRIENTS IN 7.5-YEAR-OLD TEAK STANDS

ABSTRACT

In the prediction of forest growth and yield with processes-based models (PBM) it is necessary to work with the complexity of physiologic processes involved in the carbon (C) allocation for the parts of the trees. The specific leaf area (SLA), specific root area (SRA) and allometric relationships reflecting the C allocation by the trees components. The goals of this work were to obtain the SLA, SRA, leaf and root area indexes (LAI and RAI) and allometric relationships for teak (*Tectona grandis*) plantations cultivated in Mato Grosso State, Brazil. In the sampling, executed in 17 and 90-month-old teak trees established in commercial stands, the roots, stem, branches and leaves were separated to determine the dry biomass and SLA and SRA. In these stands, in average, SLA was 13.14 m²/kg and SRA 13.86 m²/kg, indicating similar C use efficiency in the production of surfaces for acquisition of resources (solar radiation, water and nutrients) and suggesting that there is synchrony in the C allocation for leaves and roots. LAI was 1.2 m²/m² in the young plants and 8.3 m²/m² in the adult plants. Leaf area and aboveground biomass have strong relationship with fine and middle roots area and roots biomass. These results are discussed based on the functional balance hypothesis due to the fact that those relationships reflect the trees carbon allocation patterns at the age that they were assessed, and are useful in PBMs by simplifying the treatment of physiologic processes involved. Allometric equations associating roots with aboveground component is important to the prediction of the roots area and biomass, simplifying the obtaining process of these variables.

key words: *Tectona grandis*, fine roots, roots area, leaf area and biomass.

1 INTRODUÇÃO

A interação entre as plantas (genótipos) e o ambiente (fatores climáticos e edáficos) condiciona a produção agrícola em determinada região. Pode-se afirmar que a produção vegetal está diretamente relacionada com o aproveitamento da energia solar, transformada em energia química durante o processo fotossintético, sendo as folhas as principais responsáveis por esta conversão e as raízes as responsáveis pela eficiência da planta na aquisição de água e nutrientes no solo, através da maior ou menor capacidade do sistema radicular explorar determinado volume de solo.

A eficiência fotossintética da copa de uma árvore é afetada pela taxa fotossintética por unidade de área foliar e pela forma como a radiação solar é interceptada. A interceptação da radiação depende das características da copa, como sua arquitetura e sua dimensão. O índice de área foliar (IAF) e a duração da área foliar são os fatores mais importantes na determinação de matéria seca e, conseqüentemente, do crescimento (Bernardes et al., 1996). O acúmulo de biomassa pode ser linearmente relacionado com a interceptação de radiação solar pelo dossel da cultura, sendo a última determinada pelo IAF (Loomis e Connor, 1992; Landsberg e Gower, 1997; Black e Ong, 2000).

São complexas as relações entre os dois principais compartimentos da planta (parte aérea e sistema radicular) e o solo, sendo este considerado mais do que um simples substrato para a fixação das plantas e o sistema radicular, mais do que um órgão especializado na absorção de água e nutrientes. Ambos devem ser vistos como meios naturais, complexos e dinâmicos, que interagem e influenciam-se mutuamente, pois a planta, através de seu sistema radicular, promove mudanças químicas, físicas e biológicas no solo, que também ocasiona mudanças no desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas.

No sistema radicular, as raízes finas desempenham uma função crucial nos fluxos de energia e matéria orgânica na biosfera, em conseqüência, sua produção e mortalidade são importantes componentes do balanço global de carbono. Embora a produção e a mortalidade das folhas não sejam geralmente um processo sincrônico, a produção e a mortalidade das raízes ocorrem simultaneamente (Majdi, 2001). As raízes são as estruturas primeiramente responsáveis pela aquisição de água e nutrientes (Farrish, 1991) e sob condições de menor umidade, as plantas podem alocar mais recursos para a construção de raízes finas (Magnani et al. 2002; Marschner, 1995).

Do ponto de vista de plantações, como as de teca (*Tectona grandis*), é importante quantificar o IAF bem como a área radicular específica (ARE), assim como a sua variação ao longo de seu ciclo produtivo. A quantificação torna possível sua utilização como variável de entrada em modelos de crescimento baseados em processos (MBP) que permitam simular o efeito de variações climáticas e da fertilidade do solo sobre o potencial produtivo dessas plantações. Para a predição deste potencial, por meio de MBP, há que se lidar com a complexidade dos processos fisiológicos envolvidos na alocação de carbono (C) para os componentes das árvores, principalmente na formação de folhas e raízes finas (diâmetro < 2 mm), as superfícies de aquisição dos recursos radiação solar, água e nutrientes minerais, respectivamente.

Trabalhos relacionados com teca nas condições do cerrado brasileiro são carentes de informações sobre as características do dossel e do sistema radicular em plantios comerciais. Portanto, o presente estudo teve por objetivo determinar a área foliar específica (AFE), a área radicular específica (ARE) o índice de área foliar (IAF) e radicular (IAR) e a suas relações com a biomassa de árvores de teca (*Tectona grandis*) plantadas em Tangará da Serra-MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido utilizando dados obtidos no município de Tangará da Serra-MT em plantios da empresa Tectona Agroflorestral-LTDA, localizada a 14° 04' 38'' latitude Sul e 57° 03' 45'' longitude Oeste, com altitude média de 387 m. O clima é do tipo Ami tropical, quente e subúmido, conforme a classificação de Köppen, com quatro meses secos, de junho a setembro. A precipitação pluviométrica anual é de 1.750 mm, sendo janeiro, fevereiro e março os meses mais chuvosos. A temperatura média anual é de 24 °C. A área apresenta topografia suave ondulada e a classe de solo predominante é o Argissolo Vermelho. A vegetação é composta de mata de transição entre floresta amazônica e cerrado.

Na área de estudo, foram distribuídas aleatoriamente cinco parcelas com árvores adultas com 132 árvores cada uma (950,4 m²), espaçamento inicial de 3 x 2,4 m, nos plantios realizados nos meses de outubro a dezembro de 1998 com idade média de 90 meses e duas parcelas jovens com 132 árvores cada uma (1188 m²), espaçamento inicial de 3 x 3 m, nos plantios realizados no mês de dezembro de 2004 com idade média de 17 meses.

Primeiramente foi efetuada a medição da circunferência a 1,3 m de altura (CAP) e identificada a árvore média de cada parcela (árvore de área seccional média). A partir

da árvore média foram obtidas 3 classes de diâmetro, média \pm um desvio padrão (limites das classes: inferior $\leq \bar{X} - S$, média $\bar{X} - S < \bar{X} < \bar{X} + S$, e superior $\geq \bar{X} + S$). Obtido o limite para cada classe foi abatida árvore média dentro de cada classe. Nas parcelas jovens foi considerada apenas a árvore média de cada parcela.

À medida que as árvores iam sendo derrubadas, os galhos eram separados do tronco e destes foram coletadas todas as folhas. Todos os componentes tiveram sua massa fresca determinada ainda no campo com o auxílio de uma balança com capacidade de pesar até 250 Kg. Os troncos divididos em toretes, foram separados em casca e lenho, sendo também pesados individualmente. Foram retiradas amostras de cada um dos componentes (folhas, galhos, casca e lenho) as quais foram pesadas no campo com o auxílio de uma balança de precisão. Posteriormente as amostras foram secas em estufa a 70 °C por 96 horas e depois pesadas. Através dos valores de umidade e do peso de matéria fresca das amostras de todos os componentes das árvores, foram obtidos os valores da biomassa seca por árvore.

A determinação da área foliar foi feita mediante a coleta de seis a oito folhas em cada árvore abatida por classe de diâmetro, posteriormente a área foliar individual de cada limbo foliar foi medida com o integrador eletrônico de área foliar da marca LiCor, Mod. LI-3100. Medida a área, as folhas foram secas em estufa para obtenção da massa seca. A área foliar foi dividida pela massa seca da amostra, obtendo-se assim a área foliar específica (AFE) em m^2/kg de massa seca de folhas. O valor da AFE, juntamente com a massa seca total de folhas de cada árvore e a respectiva área útil, permitiu o cálculo da área de folhas (m^2) por área de solo (m^2), ou seja, o índice de área foliar (IAF m^2/m^2).

A determinação da distribuição das raízes e de sua biomassa foi realizada na árvore média de três parcelas com árvores adultas. Utilizaram-se, como unidades amostrais, cilindros de 30 cm de diâmetro nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-60 cm, distribuídos em coordenadas L (linha de plantio), E (entre linha) e D (diagonal) em um quarto da área útil das árvores amostradas. A parcela total de avaliação foi constituída de uma área de 1,5 x 1,2 m, num total de 11 unidades amostrais por profundidade, totalizando 55 unidades por árvore. O solo de cada unidade amostrada, em função de sua textura muito argilosa, foi colocado diretamente sobre uma mesa onde foi feita a separação manual das raízes. Após a separação, as raízes foram estratificadas por classe de diâmetro (Φ) em grossas ($> 5 \text{ mm } \Phi$), médias (2 a 5 $\text{mm } \Phi$) e finas ($< 2 \text{ mm } \Phi$), feita de maneira visual, utilizando-se gabaritos com diâmetros limites. Somente a biomassa de raízes vivas foi determinada.

As amostras das diferentes classes de raízes foram secas em estufa a 75°C até peso constante (\pm 96 horas) e depois pesadas. Com os valores de umidade e do peso de matéria fresca das amostras, foram obtidos os valores da biomassa seca por árvore. Através da relação raiz/parte aérea de raízes grossas, médias e finas foi estimada a biomassa de raízes para as demais árvores avaliadas.

Sub-amostras das raízes médias e finas (\pm 0,5 g) foram colocadas sobre folhas de transparência e digitalizadas, sendo as raízes médias digitalizadas na resolução de 100 dpi e as finas digitalizadas com uma resolução de 200 dpi, em scanner HP Scanjet 8200. Para o processamento das imagens foi utilizado o programa QuantRoot[®], convertendo-se os valores de pixel das imagens em valores de preto e branco (imagens binárias), em seguida foi utilizado o filtro “Mediana” para a redução de pixels isolados e, na sequência, remoção de ruídos da imagem.

Com as imagens processadas, utilizou-se o programa QuantRoot[®] (Fernandes Filho, 2001) para a geração dos atributos morfométricos área e comprimento. Com o auxílio do processador de planilhas Microsoft[®] Office Excel 2003, complementou-se a determinação dos atributos comprimento total e superfície radicular.

Após a digitalização, as sub-amostras de raízes foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 75 °C, até peso constante, depois pesadas em balança com 0,001g de precisão.

A área radicular foi dividida pela matéria seca da amostra, obtendo-se assim a área radicular específica (ARE) em m²/kg de matéria seca de raízes finas e médias. O valor da ARE, juntamente com a respectiva matéria seca de raízes finas e médias de cada árvore e a respectiva área útil, permitiu o cálculo da área da superfície de raízes (m²) por área de solo (m²), ou seja, o índice de área radicular (IAR m²/m²) para raízes finas e médias.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão e os critérios utilizados para a escolha do melhor modelo foram a análise do coeficiente de determinação (R²), ou do coeficiente de correlação (r²_{yy}) e a distribuição dos dados observados em torno das regressões ajustadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área foliar individual de teca diferiu entre plantas jovens (2918 cm²/folha) e adultas (785 cm²/folha), ou seja, as plantas jovens possuem uma área foliar aproximadamente 4 vezes maior que as plantas adultas. Nas plantas adultas, não houve diferença da área foliar individual da folha entre as classes de DAP (Figura 1a). Nos

indivíduos adultos, as folhas apresentaram, em média, de 30 a 40 cm de comprimento por 25 cm de largura, enquanto que, nas árvores mais jovens, até 3 anos de idade, as folhas podem atingir o dobro dessas dimensões (Cardoso, 1991; Matricardi, 1989).

Não houve uma diferença significativa ($p > 0,05$) nos valores de área foliar específica entre as classes de diâmetro aos 90 meses, mas estas diferiram das plantas jovens com 17 meses ($p < 0,001$). As plantas adultas apresentaram um valor médio de AFE de 13,01 m²/kg com uma tendência de maiores valores na classe superior. Nas plantas com 17 meses a AFE média foi de 8,45 m²/kg (Figura 1b).

O valor médio de área foliar específica das plantas adultas foi 35 % superior aos das plantas jovens. Estes resultados, não seguem aqueles relatados na literatura, segundo Benincasa (1988), o inverso da área foliar específica reflete a espessura da folha, sendo o comportamento morfológico e anatômico da razão de área foliar (RAF), relacionando a superfície com o peso da matéria seca da própria folha. Assim, parece claro, que no início do desenvolvimento, os valores da AFE são maiores, com folhas pouco finas, pobres em matéria seca e com baixos valores de área foliar, o que na verdade não se obteve para teca, nestas, as folhas jovens são maiores e mais espessas porém com AFE menor (Figura 1a e 1b).

Tais resultados estão diretamente relacionados com as reduções da área foliar e da matéria seca de folhas, que ocorrem durante o desenvolvimento da teca. Com o avanço da idade, as plantas de um povoamento alocam, proporcionalmente, menos biomassa para as folhas e mais para o tronco. Possivelmente, a redução da área foliar, geneticamente condicionada, seja inferior ao acúmulo de matéria seca nas próprias folhas, formando órgãos com menos reservas e, portanto, menos espessas à medida que a planta se desenvolve, pelo menos até aos 90 meses de idade. Este fato é corroborado pela área individual das folhas, que é maior nas plantas jovens (2918 cm²/folha aos 17 meses) diminuindo com o avanço da idade (785 cm²/folha aos 90 meses), ou seja, uma redução da área foliar individual de aproximadamente 73 % nas plantas adultas em relação as plantas jovens (Figura 1a).

Esta redução no tamanho das folhas de teca, além de estar associada com alocação de C, certamente está associada com a relação entre a largura de uma determinada folha (w) e a distância vertical desta até o ponto inferior de recepção de luz (d), ou seja, com o padrão de distribuição vertical entre folhas para permitir a passagem de luz dentro da copa. Reduzindo-se os valores da área foliar individual (w/d), obtêm-se aumentos significativos de penetração de luz no dossel (Bernardes, 1987). Assim, a eficiência do crescimento pode ser relacionada à habilidade de adaptação da planta às

condições de intensidade luminosa do ambiente, estando os efeitos mais significativos da intensidade de luz relacionados aos aspectos qualitativos (Amo, 1985).

A capacidade de alterar a estrutura das folhas em resposta a diferentes níveis de luz é um atributo comum das espécies com amplo potencial de aclimação (Larcher, 2000). A maior AFE nas plantas adultas de teca também pode ser uma resposta adaptativa ao seu regime de desfolhação (espécie caducifolia). Após uma desfolhação severa da copa, no início da estação seca, a dinâmica de restauração da capacidade para absorção de luz e, portanto, do suprimento de C depende diretamente da dinâmica de expansão da área foliar no início do período chuvoso. Assim, as plantas que têm maior taxa de alocação de C nos meristemas foliares (alta relação parte aérea: raiz), associada com maior área foliar específica (AFE), que corresponde a alta razão de área foliar (RAF em m² de área foliar por g de massa da planta), pode ter maior taxa de crescimento após a desfolhação do que plantas com baixa RAF.

Os valores de IAF diferiram entre plantas jovens (17 meses) e as plantas adultas (90 meses) ($p \leq 0,001$). As plantas jovens apresentaram um IAF médio de 1,2 m²/m². Nas plantas adultas, variou entre 4,9 e 14,3 m²/m², sendo que, houve diferença significativa ($p \leq 0,001$) entre as classes de diâmetros, obtendo-se os valores médios de 6,1, 8,3 e 10,7 m²/m², respectivamente, para a classe inferior, média e superior (Figura 1c). Segundo Lyr (1967), o índice de área foliar, varia conforme o povoamento, sendo inferior a 1 em reflorestamentos novos, podendo alcançar 8 a 9 em florestas densas de coníferas e foram medidos valores de até 13,7 em florestas latifoliadas do Japão e, 16,6 em florestas de galeria na Tailândia.

De acordo com Salisbury e Ross (1992), os valores de IAF de várias culturas ficam em torno de oito, variando conforme a espécie e a densidade de plantio. Entretanto, o ideal seria valores que permitisse uma ótima fotossíntese líquida, ou seja, um IAF no qual as folhas conseguissem interceptar cerca de 95 % da incidência de radiação solar, refletindo em um maior acúmulo de biomassa pelas plantas. A interceptação de radiação solar aumenta, ainda que de modo curvilíneo, mediante curva tendendo à saturação, com o aumento do IAF, relacionamento este que pode ser descrito pela lei de Beer (Landsberg & Gower, 1997) e é largamente utilizado em modelos baseados em processos, como, por exemplo, o 3-PG (Landsberg & Waring, 1997). Utilizando-se da lei de Beer, vê-se que para valores de IAF superiores a 4,5 – 5 não mais ocorrem aumentos importantes da interceptação de radiação solar. Neste trabalho, portanto, os elevados valores de IAF obtidos para as plantas adultas (Figura 1c), não mais estariam contribuindo para ganhos adicionais importantes na interceptação de

radiação solar. Os maiores valores de crescimento observados para a classe de diâmetro superior, não devem ser consequência apenas de uma maior extensão de superfície fotossintetizante ($> IAF$), mas de toda uma dinâmica de desenvolvimento do povoamento, resultando em árvores com diferentes classes de copa, alocadas na categoria das suprimidas e outras, de maior tamanho e vigor, na categoria de copas co-dominantes e dominantes (Smith, 1962).

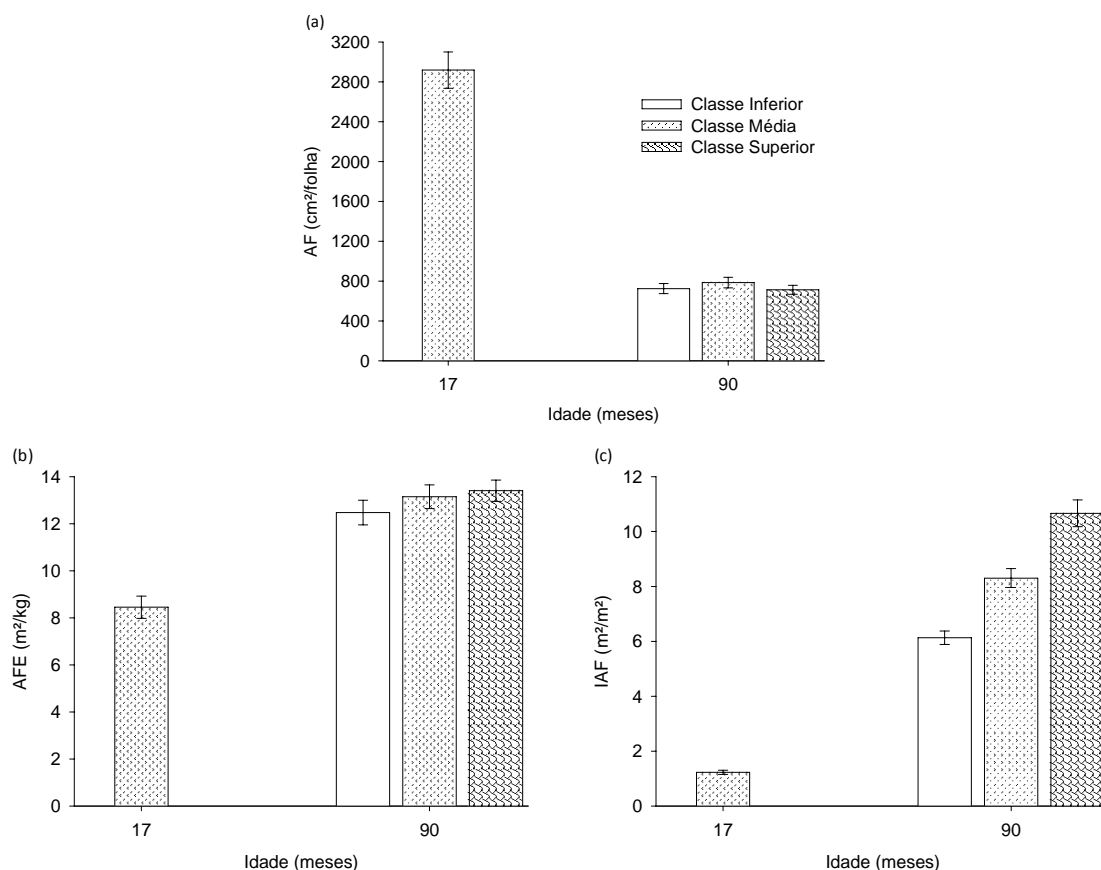


Figura 1. Área foliar individual (cm²/folha) (a), área foliar específica (AFE) em m²/kg de massa seca de folhas (b) e índice de área foliar (IAF) em m²/m² de solo (c) em plantios de teca com 17 e 90 meses nas diferentes classes de diâmetro. Barras verticais em cada coluna representam o erro padrão da média.

As raízes finas e médias praticamente não diferiram em termos de produção de biomassa radicular, com 1335 (± 101) e 1258 (± 139) kg/ha para raízes finas e médias, respectivamente. Embora, quando analisadas as características que relacionam superfície e comprimento radicular, as diferenças são marcantes. A superfície radicular apresentou um valor médio de 18.441 m²/ha para raízes finas e 4.813 m²/ha para as raízes médias. O comprimento médio de raízes finas no perfil de 60 cm do solo foi de 8.237 km/ha contra apenas 522 km/ha para as raízes médias, numa razão de 16:1, ou seja, para cada metro de raízes médias há aproximadamente 16 metros de raízes finas.

A área radicular específica de teca diferiu entre raízes finas (13,86 m²/kg) e médias (4,35 m²/kg), ou seja, as raízes finas possuem uma ARE 3,2 vezes maior que as raízes médias (Figura 2a). Análogo ao raciocínio para folhas, pode-se dizer que uma maior área radicular específica (ARE), que corresponde a alta razão de área radicular (RAR em m² de área radicular por g de massa da planta), representa uma maior taxa de crescimento e de renovação ("turnover"), refletindo na maior dinâmica das raízes finas em comparação às médias. Para Crick e Grime (1987), a rápida regeneração das raízes pode ser vantajosa em ambientes ricos em nutrientes, nos quais a eficiência na captura de recursos é provavelmente maximizada pela redução da longevidade das raízes, aumentando a capacidade de absorção e reduzindo os custos de manutenção.

O índice de área de superfície radicular (IAR) foi cerca de quatro vezes maior nas raízes finas (1,86 m²/m²) em relação às raízes médias (0,48 m²/m²) (Figura 2b). Considerando todas as raízes menores que 5 mm, o IAR de 2,34 m²/m², as raízes finas (< 2 mm) correspondem a 80 % do valor total. Para pinus foi observado que raízes finas menores que 1 mm representam 85 a 90 % do IAR total (van Praag, et al.; 1988).

O número de estudos envolvendo o IAR em sistemas agrícolas e florestais é pequeno. Estimativa de 149 m²/m² para pastagens na Rússia pode ser citada como exemplo (Shalyt, 1950), citado por Jackson et al. (1997). Kummerow e Mangan (1981) estudando carvalho (*Quercus dumosa* Nutt.) estimaram um IAR de 7,7 m²/m² para raízes finas com 1 mm de diâmetro. Berish (1982) estimou 4,1 m²/m² para uma floresta de sucessão na Costa Rica (raízes finas com 2 mm de diâmetro até 0,85 m de profundidade). Os valores de IAR obtidos para teca (Figura 2b) estão abaixo da faixa de 4,6 a 79,11 m²/m² encontrados em dez diferentes biomas estudados por Jackson et al. (1997). Embora, Berish e Ewel (1988) tenham encontrado valores de 1,9, 1,6, 1,2 e 1,0 m²/m², raízes finas menores que 1 mm, para quatro diferentes ecossistemas experimentais. No entanto, estes valores não podem ser comparados diretamente dada as diferenças intrínsecas a cada espécie e aos diferentes métodos de coleta e de medida da superfície radicular.

Fazendo uma analogia do comprimento de raízes com a área radicular, tem-se 823,7 m de raízes por metro quadrado de solo e 446 m de raízes por metro quadrado de superfície radicular para raízes finas, enquanto que para raízes médias esses valores foram modestos, com 52,2 m de raízes por metro quadrado de solo e 109 m de raízes por metro quadrado de superfície radicular. Esses valores, apesar de relacionados com uma área plana, representam uma maior capacidade das raízes finas para explorar

determinado volume de solo, ou seja, essas relações de comprimento estão contempladas no IAR.

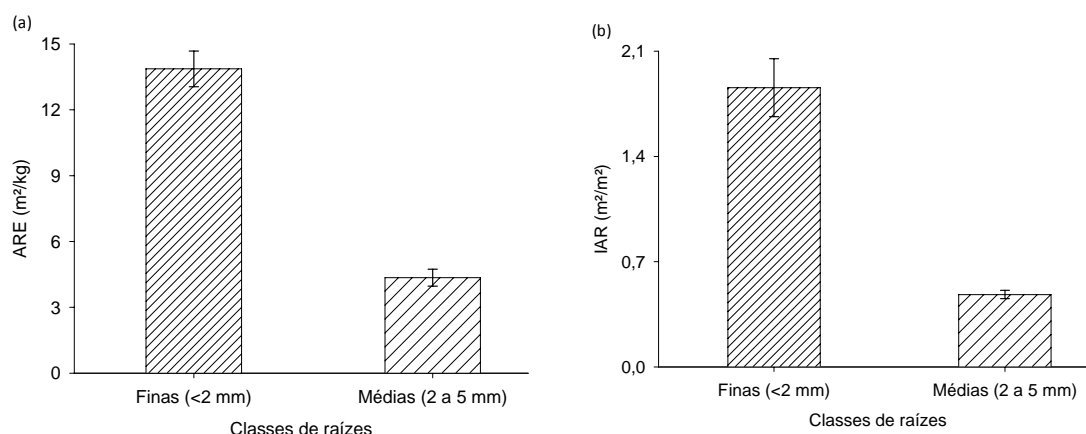


Figura 2. Área radicular específica (ARE) em m²/kg de massa seca de raízes (a) e índice de área radicular (IAR) em m²/m² de solo (b) em raízes finas e médias de árvores de teca. Barras verticais em cada coluna representam o erro padrão da média.

As relações entre área foliar e biomassa de parte aérea e de raízes finas em cada idade de amostragem foram pobres. Porém, quando examinado o conjunto dos dados há várias relações significativas entre os componentes de parte aérea e de raízes, considerando a árvore individual. Em particular, este estudo demonstrou boas relações entre produção (biomassa de folhas e raízes) e captura de recursos (área de folhas e superficial de raízes).

O diâmetro a altura do peito (DAP, cm) foi uma variável explicativa importante para biomassa de parte aérea (kg/árvore) e da biomassa total de raízes (kg/árvore). A relação para biomassa da parte aérea foi $W_{PA} = 1,1345 \times (DAP)^{1,5945}$, $R^2 = 0,911$ (Figura 3a), e para biomassa de raízes foi $B_R = 1,2442 \times (DAP)^{1,5986}$, $R^2 = 0,944$ (Figura 3b). Também houve uma boa relação potencial entre o DAP da árvore e a área foliar, $A_F = 0,8233 \times (DAP)^{1,6362}$, $R^2 = 0,829$ (Figura 3c) e estimativas de superfície de raízes finas (A_{RF} , m²/árvore), $A_{RF} = 0,2106 \times (DAP)^{1,596}$, $R^2 = 0,919$ (Figura 3d) e superfície de raízes médias (A_{RM} , m²/árvore), $A_{RM} = 0,0609 \times (DAP)^{1,599}$, $R^2 = 0,928$ (Figura 3e).

As relações alométricas provêm a base para estimar a biomassa e área superficial de raízes em povoamentos de *Tectona grandis*. No entanto, embora estas relações sejam úteis, elas próprias são limitadas, quanto a sua utilidade, devido à dinâmica das raízes finas impactando significativamente os ciclos de carbono em escala de árvore individual e de povoamento, pois apresentam elevada contribuição para a imobilização de C. As raízes finas menores que 2 mm contribuem com 25 a 80 % do acúmulo total de carbono anualmente no solo (Vogt e Bloomfield, 1991; Vogt et al. 1996).

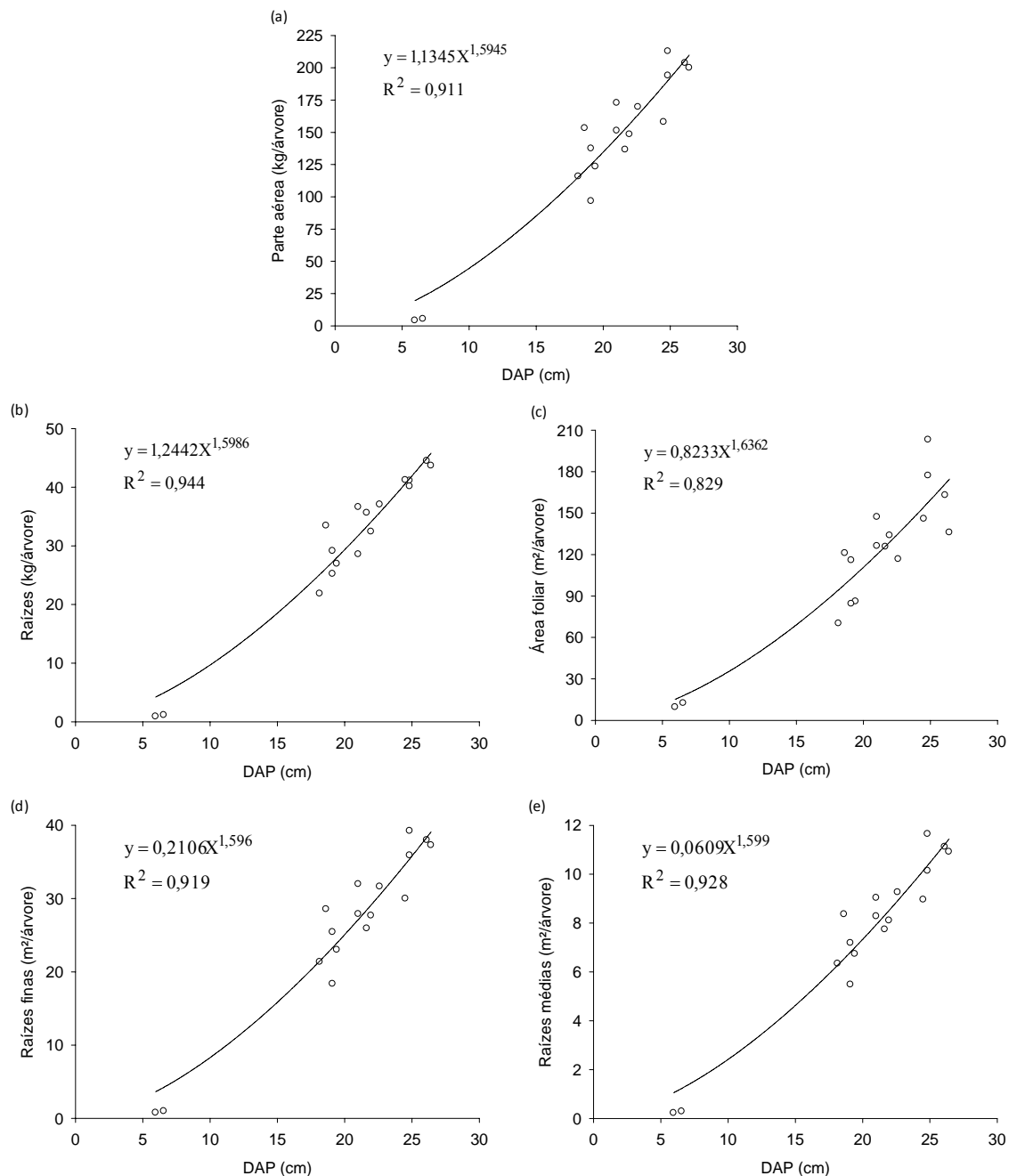


Figura 3. Relações alométricas entre biomassa da parte aérea (a) e de raízes (b), área foliar (c) e área radicular de raízes finas (d) e médias (e) com o diâmetro a altura do peito (DAP) de árvores de teca.

A teca apresentou, em média, AFE de 13,01 m²/kg, e ARE de 13,86 m²/kg, indicando eficiência semelhante quanto à utilização do C na produção de superfícies para aquisição dos recursos radiação solar, água e nutrientes e, ainda, que há sincronia na alocação de C entre folhas e raízes finas para formação de novos tecidos foliares e radiculares. Essas relações refletem os padrões de alocação de carbono nas árvores até a idade que foram medidas e são úteis em MBP ao simplificarem o tratamento dos processos fisiológicos envolvidos (Figura 4a).

A relação obtida para a regressão entre AFE e ARE, com R^2 de 0,744, indica que a área foliar específica pode ser um bom estimador da área radicular específica e indiretamente da biomassa de raízes (Figura 4a), Esta relação fornece suporte para o balanço funcional entre a produção da parte aérea e de raízes (Vanninen e Mäkelä, 1999; Magnani et al., 2000). A relação curvilínea entre área de folhas e de raízes finas, encontrada em plantios de *Eucalyptus globulus* no sul da Tasmânia, sugere mudanças no padrão de suprimento e demanda de carbono com aumento da área foliar por unidade de área radicular com a idade (O'Grady et al., 2006). Embora, Tyree et al. (1998) tenha proposto que a proporção entre área de folhas e raízes precise manter-se constante para o suprimento de recursos a árvore. Estudos futuros são necessários para quantificar as mudanças nas relações entre área de folhas e superfície de raízes de teca durante o fechamento do dossel e sua potencial influência na condutância hidráulica de toda a planta e sua eficiência no uso da água, nutrientes e luz.

Quando o índice de área foliar (IAF) e o índice de área radicular fina (IAR, estimado pela ARE média) foram expressos para uma área de 9 m²/árvore para plantas jovens e uma área média de 16 m²/árvore (considerando os desbastes) para as plantas adultas, uma equação potencial descreveu a relação entre eles, como: $IAR = 0,2878 \times (IAF)^{0,8804}$, $R^2 = 0,744$ (Figura 4b). Este resultado indica que, ao se trabalhar ao nível de comunidade de plantas, as medidas de IAF podem ser usadas como estimadores de superfície e biomassa radicular $W_{RT} = -4,7020 + 4,8814(IAF) - 0,1779(IAF)^2$, $R^2 = 0,950$ (Figura 4c). O melhor ajuste foi obtido com a característica do povoamento e não com a da árvore individual, dada a natureza do IAF. Entretanto é necessário que o número de amostras seja ampliado. Uma calibração desta relação pode tornar a medida de IAF um estimador mais robusto para superfície de raízes.

Em particular, o estudo demonstrou relação curvilínea entre a área foliar (A_F) e estimativas da área superficial de raízes finas, $A_{RF} = 0,7241 \times (A_F)^{0,7611}$, $R^2 = 0,910$ (Figura 4d) e raízes médias $A_{RM} = 0,2140 \times (A_F)^{0,7589}$, $R^2 = 0,913$ (Figura 4e), indicando mudanças no padrão de suprimento e demanda da árvore com a idade conforme constatado por O'Grady et al. (2006) em plantios de *Eucalyptus globulus* no sul da Tasmânia. Fatores como a relação fonte/dreno de carboidratos, distribuição de carbono entre as partes aérea e radicular e o ambiente da rizosfera afetam o crescimento das raízes e a sua senescência, como também o crescimento da parte aérea e a sua capacidade de fixação de carbono. O funcionamento de raízes é intenso quando a eficiência de absorção de água e nutriente por unidade de carbono é maximizada (Eissenstat e Van Rees, 1994). O fornecimento de fotoassimilados, necessário para a

manutenção das raízes e para seu crescimento é diretamente afetado pela taxa fotossintética das plantas, superfície da área foliar, tempo de retenção da folha, taxa de respiração, luz, água, nutrientes e condições de temperatura no local (Vogt e Bloomfield, 1991).

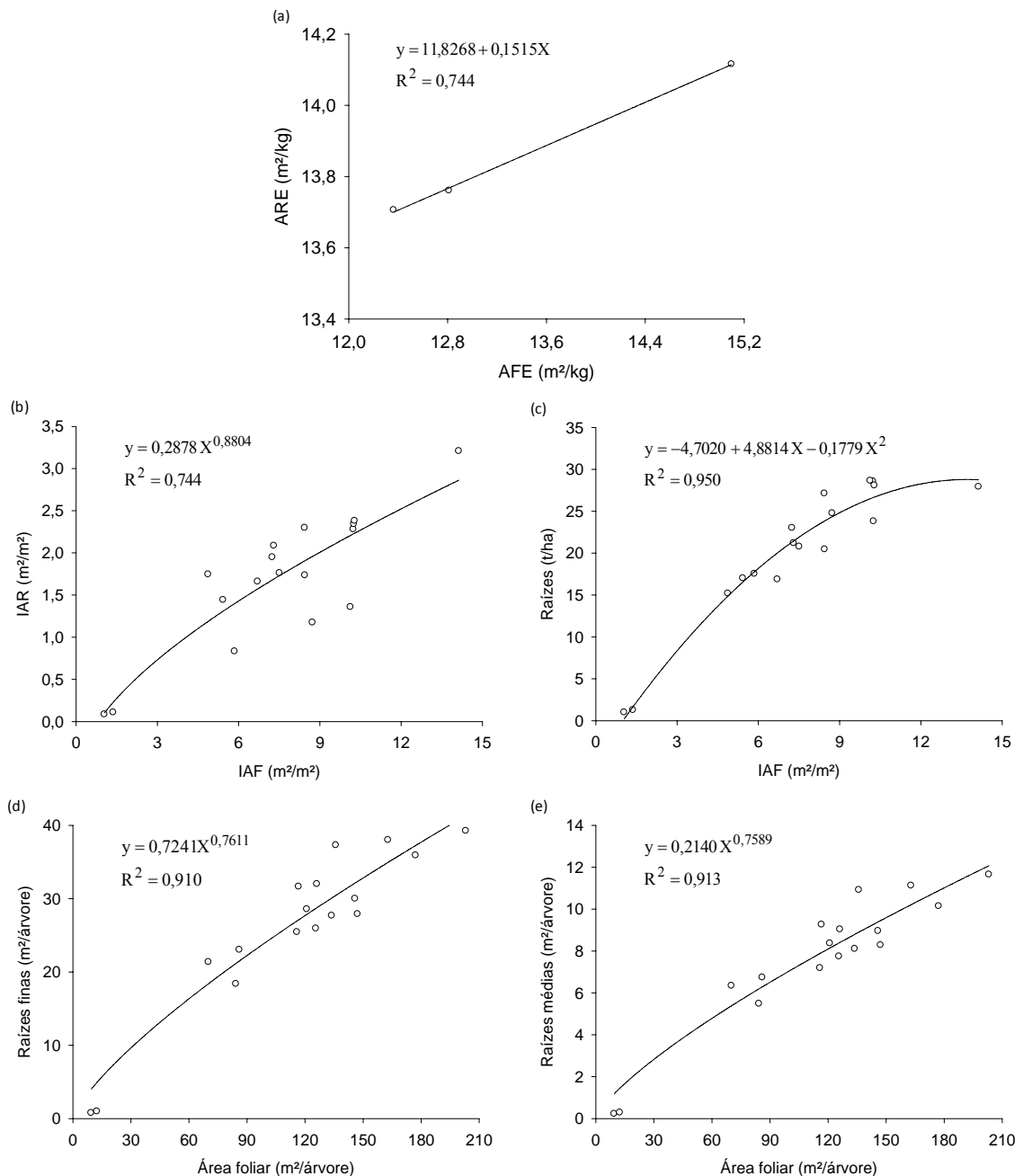


Figura 4. Relações entre a área radicular específica (ARE) e área foliar específica (AFE) (a), do índice de área radicular (IAR) com o índice de área foliar (IAF) (b), da superfície de raízes finas com a área foliar (c) e entre superfície de raízes médias com área foliar (d) de árvores de teca.

Observou-se uma relação potencial entre biomassa de raízes finas e biomassa de folhas, $W_{RF} = 0,1819(W_F)^{1,0633}$, $R^2 = 0,871$ (Figura 5a) e entre biomassa de raízes finas e biomassa da parte aérea, $W_{RF} = 0,0028(W_{PA})^{1,3077}$, $R^2 = 0,886$ (Figura 5b). Relações semelhantes ocorrem para raízes médias $W_{RM} = 0,2910(W_F)^{0,8337}$, $R^2 = 0,878$ (Figura. 5c) e $W_{RM} = 0,0094(W_{PA})^{1,0580}$, $R^2 = 0,986$ (Figura. 5d). As raízes finas são importantes para aquisição de água e nutrientes, e o equilíbrio funcional entre área foliar e uso de água pressupõe, potencialmente, um equilíbrio funcional entre raízes finas e área foliar (Magnani et al. 2002). Em povoamentos de *Scots pine* no sul da Finlândia, Vanninen e Mäkelä (1999) verificaram que a massa de raízes finas foi proporcional a massa de folhas; porém, não constataram qualquer correlação com outros parâmetros geralmente medidos do povoamento.

A relação folhas/raízes finas (peso/peso) fornece uma indicação aproximada da relação fonte/dreno de fotoassimilados (Figura 5). Segundo Neves (2000), os conteúdos e a partição de C, nas folhas e nas raízes finas, são os de menores valores entre os componentes dos plantios, sendo ainda muito próximos entre si. Esses dois componentes são os de maior atividade metabólica e representam as superfícies de aquisição de C, água e nutrientes minerais. Na realidade, folhas e raízes finas têm altas taxas de renovação ("turnover"), o que faz com que suas biomassas e conteúdos de carbono existentes num dado momento possam não refletir a maior dinâmica desses componentes. Ou seja, a alocação de carbono para folhas e raízes finas seria muito maior do que indicado por suas partições determinadas em avaliações pontuais.

A relação da biomassa total de raízes (W_{RT}) com a área foliar (A_F) teve um efeito quadrático, $W_{RF} = -4,00 + 0,4531(A_F) - 0,0011(A_F)^2$, $R^2 = 0,915$ (Figura 6a), e uma relação linear com a biomassa de parte aérea (W_{PA}), $W_{RT} = 1,4173 + 0,2079W_{PA}$, $R^2 = 0,938$ (Figura 6b). Comportamento semelhante foi observado por Misra et al. (1998) em *Eucalyptus nitens* com idade de 10 a 34 meses, onde houve uma relação linear entre biomassa de raízes grossas e biomassa da parte aérea. Resh et al. (2003) também observaram uma relação linear entre biomassa de raízes grossas e biomassa da parte aérea em árvores de *E. Globulus* com 12 anos de idade. Já O'Grady et al. (2006) estudando *Eucalyptus globulus* com idade variando de 3 a 14 meses no sul da Tasmânia, observaram um melhor ajuste para a relação potencial entre biomassa de raízes grossas e biomassa da parte aérea e área foliar.

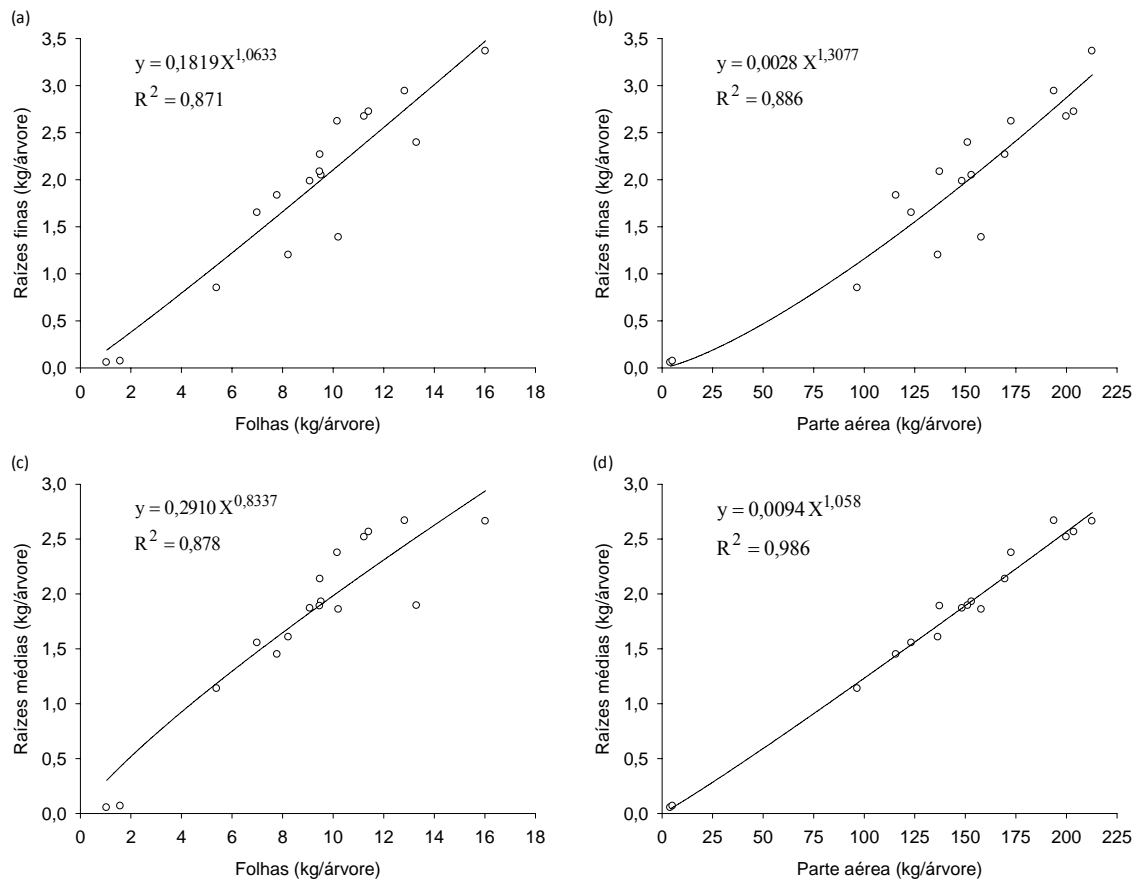


Figura 5. Relações entre biomassa de raízes finas e biomassa de folhas (a), da biomassa de raízes finas com a biomassa da parte aérea (b), da biomassa de raízes médias com a biomassa de folhas (c) e da biomassa de raízes médias com a biomassa da parte aérea (d) de árvores de teca.

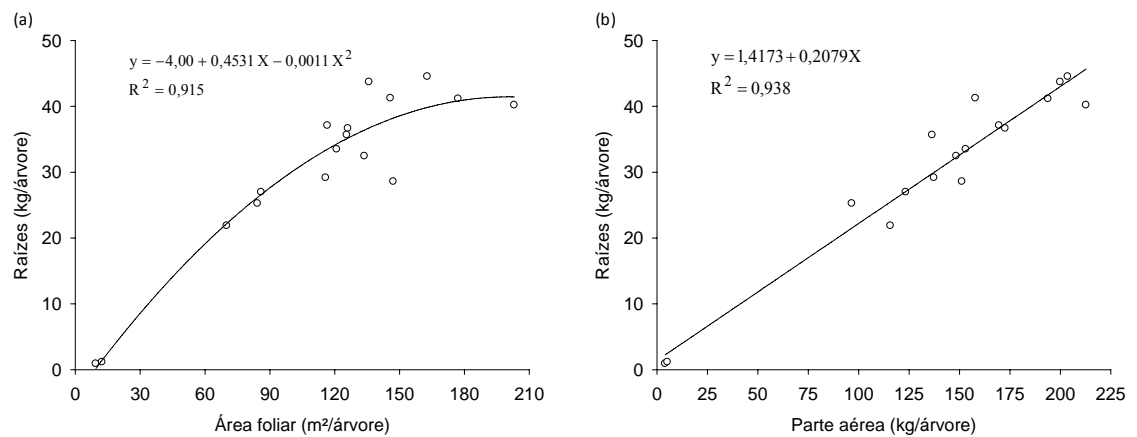


Figura 6. Relações entre a biomassa total de raízes com a área foliar e a biomassa total da parte aérea de árvores de teca.

4 CONCLUSÕES

As relações entre a produção de biomassa de raízes e da parte aérea e entre a área superficial de raízes finas com a área foliar em *Tectona grandis* indicam eficiência de mesma ordem de magnitude quanto à utilização do C na produção de superfícies para aquisição dos recursos radiação solar, água e nutrientes.

Equações alométricas associando raízes com parte aérea são importantes para predição da biomassa e área radicular simplificando o processo de obtenção destas variáveis.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMO, S. R. del. Algunos aspectos de la influencia de la luz sobre el crecimiento de estados juveniles de especies primarias. In: GOMES-POMPA, A. L. **Regeneracion de selvas**. México: Alhambra Mexicana, 1985. p.79-90.
- BLACK, C.; ONG, C. Utilization of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.104, p.25-47, 2000.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal, FUNEP, 1988. 42p.
- BERISH, C.W.; EWEL, J. J. Root development in simple and complex tropical successional ecosystems. **Plant and Soil**, v. 106, p. 73-84, 1988.
- BERISH, C. W. Root biomass and surface area in three successional tropical forests. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 12, p. 699-704, 1982.
- BERNARDES, M. S.; CASTRO, P. R. C.; MARTINS, A. N. **Formação da copa e resistência de árvores ao vento: modelo de seringueira**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 88p.
- BERNARDES, M. S. Fotossíntese no Dossel das Plantas Cultivadas. In: CASTRO, P. R. C., FERREIRA S. O., YAMADA, T. **Ecofisiologia da Produção Agrícola**. Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. p.13-48, 1987.
- CARDOSO, N. S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (Tectona grandis L. f.) – Verbenaceae**. Piracicaba, SP. ESALQ, 1991. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 1991.
- CRICK, J. C.; GRIME, J. P. Morphological plasticity and mineral nutrient capture in two herbaceous species of contrasted ecology. **New Phytologist**, v.107, p. 403-414, 1987.
- EISSENSTAT, D. M.; VAN REES. K. C. J. The Growth and function of pine roots. **Ecological Bulletins**, v.43, p.76- 91, 1994.
- FARRISH, K.W. Spatial and temporal fine root distribution in three Louisiana Forest soils. **Soil science Society of America Journal**, v.55, p.1752-1757, 1991.
- FERNANDES FILHO, E. I. **QuantRoot - Um software para a quantificação de sistemas radiculares**. v. 1.0.0.22. 2001 (Não publicado).
- JACKSON RB, MOONEY HA, SCHULZE E – D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 94: 7362-7366. 1997.
- KUMMEROW J & MANGAN R. Root systems in *Quercus dumosa* Nutt. dominated chaparral. in southern California. **Acta Oecologica Plantarum**, v. 2, p. 177-188, 1981.
- LANDSBERG, J. J. & GOWER, S. T. Applications of physiological ecology to forest management. **Academic Press**, San Diego, CA, 1997. 354p.

- LANDSBERG, J. J. & WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, v.95, p.209-228, 1997.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.
- LEME, E. A. J.; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e a relação com a produtividade. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, v.2, p.3-9, mar. 1984.
- LYR, H., POLSTER, H., FIEDLER, H. J. **Geholzphysiologie**. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag, 1976. 444p.
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 538p.
- MAGNANI, F., GRACE, J., BORGHETTI, M. Adjustment of tree structure in response to the environment under hydraulic constraints. **Functional Ecology**, v.16, p.385–393, 2002.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.F.) cultivada na grande Cáceres – Mato Grosso**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2989. 130p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, 1989.
- MAJDI H. Changes in fine root production and longevity in relation to water and nutrient availability in a Norway spruce stand in northern Sweden, **Tree Physiology**, v.21, p.1057-1061, 2001.
- MISRA, R. K., TURNBULL, C. R. A., CROMER, R. N., GIBBONS, A. K., LASALA, A. V. Below and above-ground growth of *E. nitens* in a young plantation. I. Biomass. **Forestry Ecology Management**, v.106, p.283–293, 1998.
- 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: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.
- O’GRADY, A. P., WORLEDGE, D., BATTAGLIA, M. Above-and below-ground relationships, with particular reference to fine roots, in a young *Eucalyptus globulus* (Labill.) stand in southern Tasmania. **Trees**, v.20, p.531-538, 2006.
- RESH, S. C., WORLEDGE, D., BATTAGLIA, D., LADIGES, S. Coarse root biomass for eucalypt plantations in Tasmania, Australia: sources of variation and methods of assessment. **Trees**, v.17, p.389-399, 2003.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4.ed., California : Wadsworth Publishing Company, 1992. 682p.
- SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. New York: John Wiley & Sons, 1962. 578 p.
- TYREE M. T., VELEZ V., DALLING J. W. Growth dynamics of root and shoot hydraulic conductance in seedlings of five neotropical tree species: scaling to show possible adaptation to differing light regimes. **Oecologia**, v.114 p.293-298, 1998.
- VAN PRAAG, H. J.; SOUGNEZ-REMY, S.; WEISSEN F.; CARLETTI, G. Root turnover in a beech and spruce stand of the. **Plant and Soil**, v.105, p.87-104, 1988.
- VANNINEN, P., MÄKELÄ, A. Fine root biomass of Scots pine stands differing in age and soil fertility in southern Finland. **Tree Physiology**, v.19, p.823-830, 1999.
- VOGT, K. A., VOGT, D. J., PALMIOTTO, P. A., BOON, P., O’HARA, J., ASBJORNSEN, H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, forest type and species. **Pant Soil**, v.187, p.159-219, 1996.
- VOGT, K. A.; BLOOMFIELD, J. Tree root turnover and senescence. In: LASSOIE., J. P., HINCKLEY. T. M. (Eds.). **Plant roots: the hidden half**. New York : Marcel Dekker, p.287-305, 1991.
- XIAO, C. W., CEULEMANS, R. Allometric relationships for below- and above-ground biomass of young *Scots pines*. **Forest Ecology and Management**, v.203, p.177-186, 2004.

CAPÍTULO 4

BIOMASSA, CONTEÚDO, PARTIÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE TECA NO MUNICÍPIO DE TANGARÁ DA SERRA-MT

RESUMO

O sucesso de empreendimentos florestais na região de cerrados depende, principalmente, do potencial de adaptação e produção da espécie florestal utilizada e da otimização de todos os fatores de produção disponíveis e ou limitantes neste ecossistema. Contribuindo para que se possa adotar um manejo que assegure a sustentabilidade, o presente estudo teve por objetivo quantificar a biomassa, o conteúdo de macronutrientes minerais e sua distribuição nos diferentes componentes da biomassa e avaliar a eficiência de uso desses nutrientes para formação dos diferentes componentes da biomassa de teca (*Tectona grandis*), aos 7,5 anos de idade, em povoamentos localizados em Tangará da Serra-MT. Foram selecionadas cinco parcelas estabelecidas em talhões comerciais, divididas em três classes de diâmetro. Foi abatida a árvore média em cada classe e individualizados os componentes: folhas, galhos, casca, lenho, raízes e serapilheira; visando à determinação da matéria seca e o conteúdo de nutrientes. A biomassa total do povoamento foi de 133 t/ha, assim distribuída: 68 t/ha de lenho (51 %), 22 t/ha as raízes (17 %), 17 t/ha de galhos (13 %), 10 t/ha de casca (7 %) e 6 t/ha de folhas (5 %). As quantidades de nutrientes acumulados foram 927 kg/ha de Ca, 775 kg/ha de K, 571 kg/ha de N, 139 kg/ha de Mg, 105 kg/ha de P e 71 kg/ha de S. No lenho, foram encontrados 17, 51, 33, 6, 29 e 27 % do total dos elementos N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente. As raízes representaram 19, 14, 24, 13, 27, e 19 % do N, P, K, Ca, Mg e S acumulados respectivamente. A eficiência de utilização dos nutrientes (CUB) para parte aérea apresentou a seqüência $S > P > Mg > N > K > Ca$, enquanto que, para o lenho $S > Mg > P > Ca > N > K$, não havendo diferenças de eficiência entre as classes de DAP.

Palavras-Chave: *Tectona grandis*, biomassa, nutrição e CUB

CHAPTER 4

BIOMASS, CONTENT, PARTITION AND NUTRIENT USE EFFICIENCY OF TEAK STANDS IN TANGARÁ DA SERRA-MT

ABSTRACT

The forest enterprises success in savannahs depends mainly on the adaptation potential and production of the forest species used and on the optimization of all production factors available or limiting in this ecosystem. Aiming to contribute to the adoption a sustainable management, the present study had the objective of quantifying the biomass, mineral nutrients content and their distribution in the different biomass components and evaluate the nutrient use efficiency for the formation of biomass components of 7.5-year-old teak (*Tectona grandis*), located in Tangará da Serra, Mato Grosso State, Brazil. Five plots established in commercial stands were selected and divided in three diameter classes (DBH). The average tree was cut down in each class and divided into leaves, branches, bark, stemwood, roots and litter for the determination of dried matter and nutrients content. The total biomass determined was 133 t/ha with the following partition: 68 t/ha of stemwood (51%), 22 t/ha of roots (17%), 17 t/ha of branches (13%), 10 t/ha of bark (7%) and 6 t/ha of leaves (5%). The nutrients accumulation was 927 kg/ha of Ca, 775 kg/ha of K, 571 kg/ha of N, 139 kg/ha of Mg, 105 kg/ha of P and 71 kg/ha of S. In the stemwood were found respectively 17, 51, 33, 6, 29 and 27% of the total N, P, K, Ca, Mg and S. The roots represented respectively 19, 14, 24, 13, 27, and 19% of the total N, P, K, Ca, Mg and S accumulated. The nutrient use efficiency for aboveground biomass production presented the sequence $S > P > Mg > N > K > Ca$ yet, for stemwood, it was $S > Mg > P > Ca > N > K$, having no appreciable differences of efficiency in function of the dominance degree of the trees (DBH class).

key words: *Tectona grandis*, biomass nutrition and nutrients use efficiency

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a implantação de vastas áreas de florestas equiâneas, com a grande maioria formada por espécies exóticas, é consequência da evolução de toda uma estrutura industrial, que tem por objetivo atender a demanda internacional e das regiões mais desenvolvidas do país, com matéria-prima necessária para a produção de papel, celulose, chapas, aglomerados, carvão vegetal, móveis e construção civil.

A região sob cerrados em Mato Grosso apresenta um grande potencial para o reflorestamento, em função, principalmente, do preço da terra e de sua topografia plana que favorece a mecanização e tratamentos culturais. No entanto, existem também alguns fatores limitantes, tais como a baixa fertilidade de seus solos, acidez elevada e déficit hídrico acentuado, concentrado de 4 a 6 meses durante o ano. O sucesso de empreendimentos florestais na região depende, principalmente, da escolha correta de espécies florestais que apresentam grande potencial de adaptação e produção e da otimização de todos os fatores de produção disponíveis e ou limitantes neste ecossistema.

A *Tectona grandis*, popularmente conhecida como teca, é uma espécie arbórea de grande porte e de rápido crescimento. Sua madeira é considerada nobre e de grande procura no mercado mundial, que pode alcançar preços até três vezes superiores ao do mogno, (Lamprecht, 1990). É cultivada no Mato Grosso com sucesso, obtendo-se uma redução do ciclo para apenas 25 a 30 anos, comparado aos 80 anos na região de origem (Ásia), com obtenção de madeira para serraria de ótima qualidade, utilizada na produção de móveis, esquadrias de alto padrão, embarcações e decoração. A busca de novas alternativas florestais atrativas estimulou sua expansão no Estado e para outras regiões do país, em 2009 estima-se uma área plantada com teca em cerca de 60.000 há (ABRAF, 2009).

Para o bom crescimento de povoamentos de teca e manutenção de sua capacidade produtiva, é fundamental que se tenha conhecimento sobre a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos da planta, através de estudos mais detalhados sobre a concentração e o conteúdo de nutrientes na biomassa arbórea a ser explorada, com a finalidade de evitar problemas para as rotações futuras e para que se possa adotar um manejo sustentável.

O emprego de técnicas de manejo mais eficientes na utilização de nutrientes, que conservem ao máximo os resíduos das culturas, que realizem o mínimo possível de intervenções antrópicas e cujo ciclo de crescimento seja longo o suficiente para permitir

a máxima eficiência da ciclagem de nutrientes, levará à maior conservação de florestas plantadas. O conhecimento da eficiência de utilização de nutrientes é importante na seleção das técnicas de manejo.

A eficiência nutricional de espécies arbóreas é conceituada de várias maneiras e os componentes mais comuns da eficiência são a absorção e a utilização de nutrientes (Molica, 1992; Fageria, 1998). A eficiência enfatizando a utilização de nutrientes é geralmente definida como a biomassa total produzida pela planta por unidade de nutriente absorvido, que é equivalente ao inverso da concentração do nutriente na planta inteira. Essa relação é denominada, freqüentemente, “relação de eficiência nutricional” (Gourley et al., 1994) e tem sido usada para descrever o requerimento interno de nutrientes de várias espécies agrônômicas. Caldeira et al. (2004) comentaram que uma espécie eficiente do ponto vista nutricional é aquela capaz de sintetizar o máximo de biomassa por unidade de nutriente absorvido.

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN), tanto para a formação de biomassa, quanto para a formação de superfícies de aquisição dos recursos água, luz, e nutrientes (raízes e folhas), pode variar dentro de uma mesma espécie em função das diferenças genótípicas que podem ocorrer e da interação genótipo-ambiente. Estas diferenças podem alterar a capacidade de absorção, transporte e utilização dos nutrientes pelas plantas (Steenbjerg e Jakobsen, 1963; Marschner, 1995). A EUN para um determinado nutriente pode variar à medida que sua disponibilidade no solo seja alterada. Em geral, a EUN pela planta aumenta com a redução da disponibilidade no solo (Barros et al., 1986). Barros et al. (1990) verificaram, também, que a alta eficiência para um dado nutriente não está associada à alta eficiência para os demais nutrientes.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de quantificar a biomassa, conteúdo, distribuição e eficiência de utilização de macronutrientes para formação dos diferentes componentes da biomassa de teca (*Tectona grandis*), em diferentes classes de DAP, em povoamentos com 7,5 anos de idade localizados em Tangará da Serra-MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido utilizando dados obtidos em um povoamento de teca localizado no município de Tangará da Serra-MT, pertencentes à empresa Tectona Agroflorestal-LTDA, cujo plantio foi realizado nos meses de outubro a dezembro de 1998. A área está localizada a 14° 04' 38'' latitude Sul e 57° 03' 45'' longitude Oeste, com altitude média de 387 m. O clima é tropical, quente e subúmido (Ami), conforme a classificação de Köppen, com quatro meses secos (junho a setembro). A precipitação

pluviométrica anual é de 1.750 mm, sendo janeiro, fevereiro e março os meses mais chuvosos. A temperatura média anual é de 24 °C. A área apresenta topografia suave ondulada e a classe de solo predominante é o Argissolo Vermelho. A vegetação é composta de mata de transição entre floresta amazônica e cerrado.

Na área de estudo, foram distribuídas aleatoriamente cinco parcelas com 132 árvores cada uma (950,4 m²), espaçamento 3 x 2,4 m, idade média de 7,5 anos. Primeiramente foi efetuada a medição da circunferência a 1,3 m de altura (CAP) e identificada a árvore média de cada parcela. A partir da árvore média foram obtidas 3 classes de diâmetro, média \pm um desvio padrão (limites das classes: inferior $\leq \bar{X} - S$, média $\bar{X} - S < \bar{X} < \bar{X} + S$, e superior $\geq \bar{X} + S$). Obtido o limite para cada classe foi abatida a árvore média dentro de cada classe.

A altura comercial foi medida com uma trena, até alcançar um diâmetro mínimo de 2 ou 3 cm com casca, e a altura total até a extremidade da copa ao longo do fuste. À medida que as árvores iam sendo derrubadas, os galhos eram separados do tronco e deles foram coletadas todas as folhas. Todos os componentes tiveram sua massa fresca determinada ainda no campo com o auxílio de uma balança com capacidade de pesar até 250 Kg. Os troncos divididos em toretes (quatro seções), foram separados em casca e lenho, sendo também pesados individualmente. Foram retiradas amostras de cada um dos componentes (folhas, galhos, casca e lenho) as quais foram pesadas no campo com o auxílio de uma balança de precisão. O volume de cada árvore abatida foi determinado pela aplicação sucessiva da fórmula de Smalian.

As amostras da serapilheira foram coletadas ao acaso, em quatro amostras, em uma área de 0,25 m², delimitada por um gabarito de 50 x 50 cm, retiradas na linha e entrelinha de plantio para formar uma amostra composta, sendo três repetições em cada parcela. Após a obtenção do peso total das amostras de manta orgânica esta foi homogeneizada, para obter uma subamostra composta, para as determinações analíticas e de umidade.

A determinação da biomassa de raízes foi realizada somente na árvore abatida na classe de diâmetro média das parcelas A02, A03 e A05, utilizando-se como unidades amostrais cilindros de 30 cm de diâmetro, nas profundidades: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-60, distribuídos em coordenadas L (linha de plantio), E (entre linha) e D (diagonal) em um quarto da área útil das árvores amostradas. A parcela total de avaliação foi constituída de uma área de 1,5 x 1,2 m, num total de 11 unidades amostrais por profundidade, totalizando 55 unidades por árvore. O solo de cada unidade amostrada em função de sua textura muito argilosa foi colocado diretamente sobre uma mesa onde foi

feita a separação manual das raízes. Somente a biomassa de raízes vivas foi determinada, a raiz pivotante foi desconsiderada nesta amostragem.

As amostras de planta e serapilheira foram secas em estufa a 70 °C por 96 horas e depois pesadas. As amostras de tronco foram separadas em casca e lenho. Com os valores de umidade e do peso de matéria fresca das amostras de todos os componentes das árvores, foram obtidos os valores da biomassa seca de cada componente e da serapilheira. As raízes antes de submetidas à secagem passaram por um tratamento prévio, sendo imersas inicialmente em uma solução de HCl 3 % por trinta segundos e em água destilada por mais trinta segundos (Bataglia, et al., 1978).

Subamostras do material vegetal foram moídas e mineralizadas. Nos extratos da mineralização nítrico-perclórica foram determinados P (colorimetria), K (fotometria de emissão de chama), S (turbidimetria de sulfatos), Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica). Nos extratos da mineralização sulfúrica foi determinado o N (Kjedahl).

Os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e S na raiz, caule, casca, galhos, folhas e serapilheira foram calculados com base nos teores e na produção de biomassa seca. A partição da biomassa e conteúdos de nutrientes nos diferentes componentes foi determinada em relação aos respectivos somatórios da parte aérea com a raiz e serapilheira.

O coeficiente de utilização biológica (CUB) foi calculado dividindo-se os valores médios de biomassa seca dos componentes nas classes de DAP pelo conteúdo de nutrientes nesses componentes (Barros et al., 1986). O conteúdo de nutrientes na biomassa aérea total é considerado indicativo da eficiência de absorção e o coeficiente de utilização biológica (razão biomassa:conteúdo de nutrientes) representa a eficiência na utilização de nutrientes (Molica, 1992).

As médias das classes de DAP foram comparadas através do teste t a 5 % de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A finalidade principal da exploração de plantios de teca é fornecer madeira para serraria. A distribuição das árvores por classe de DAP é importante para se ter idéia da estrutura do povoamento, possibilitando um adequado manejo por desbastes. A classe de diâmetro média apresentou a maior freqüência no número de árvores por parcela, representando em média 66 % do número total de árvores, contra uma freqüência menor que 20 % para as classes inferior e superior. Em média a classe inferior teve um DAP

13,2 % menor que a média geral, enquanto que a classe superior apresentou um DAP 16,5 % maior, refletindo a maior capacidade de produção das árvores desta classe diamétrica (Figura 1). A distribuição das árvores por classes de DAP, permite obter informações sobre o número de indivíduos e o volume a ser removido pelo desbaste, bem como o volume remanescente e total. Possibilita também, obter a quantidade de nutrientes exportados pelos desbastes.

A árvore da classe de diâmetro inferior representou um volume de tronco 21 % menor que a média do povoamento, já a classe de diâmetro superior correspondeu a um volume 24 % maior. As árvores das classes de diâmetros inferior e superior representam apenas 14 % e 20 % do IMA, as árvores da classe média correspondem por 66 % do IMA (Figura 1). Segundo Drescher (2004), no Estado de Mato Grosso o incremento médio anual, de acordo com a empresa Cáceres Florestal (1997 e 2000), varia de 10 a 15 m³/ha/ano, sendo esse, utilizado como informação pela Secretaria de Agricultura e Assuntos Fundiários do Estado de Mato Grosso (SAAF-MT, 2001). No entanto, Centeno (1997) afirma que o incremento médio anual pode variar de 10 a 20 m³/ha/ano, ou seja, os dados observados para Tangará da Serra estão acima da média do Estado, demonstrando as melhores condições edafoclimáticas da região para produção de teca.

O crescimento médio anual em altura das árvores de teca, de 2,9 m, é semelhante ao observado nas regiões do Caribe, América Central, Colômbia e Venezuela, onde inicialmente apresenta rápido crescimento em altura, reduzindo após 10 anos, dependendo da qualidade do sítio. Nestas regiões o incremento médio anual em altura, até a idade de 5 anos, varia de 2,62 m a 3,06 m e de 1,83 m a 2,24 m aos 9 anos. Em geral, os menores incrementos em altura são observados em sítios com períodos de 6 a 8 meses de déficit hídrico (Chaves e Fonseca, 1991).

O valor médio de IMA de tronco (27,3 m³/ha/ano) é semelhante ao estabelecido em tabelas de produção de teca aos sete anos (27,7 m³/ha/ano) para o melhor sítio (altura dominante de 20 metros aos 10 anos) por Drescher (2004), para região Centro-Sul e Norte do Mato Grosso.

O teste “t” para os teores de nutrientes para os diferentes compartimentos, folhas, galhos, casca e lenho (Tabela 4 do anexo), indicou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para os nutrientes entre as classes de DAP, exceto para o Mg nas folhas ($p < 0,07$), K no lenho ($p < 0,04$) e o Ca nos galhos ($p < 0,03$). De maneira geral, pode-se dizer que não houve efeito de diluição ou concentração entre as classes de DAP, trata-se de árvores da mesma parcela, submetidas a homogeneidade de condições edafoclimáticas de crescimento (Tabela 1).

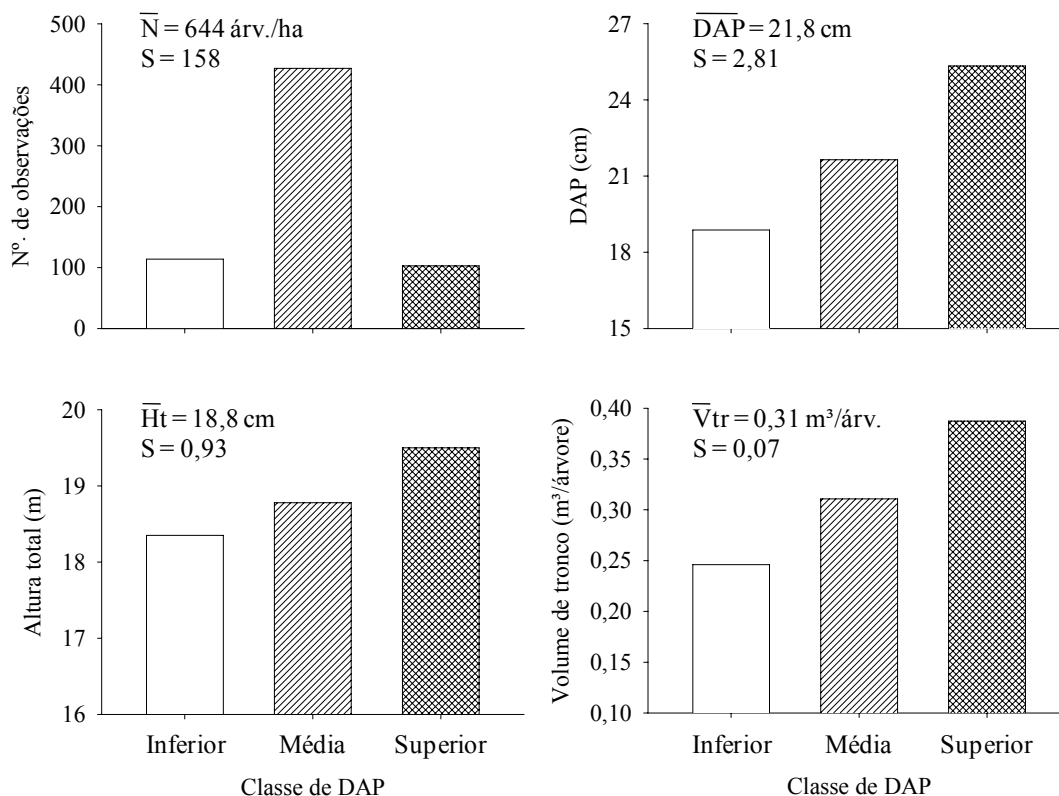


Figura 1. Avaliações dendrométricas das classes de diâmetro inferior ($\leq \bar{X} - S$), média ($\bar{X} - S > \bar{X} < \bar{X} + S$) e superior ($\geq \bar{X} + S$) em plantios de *Tectona grandis*, aos 7,5 anos de idade, localizados em Tangará da Serra-MT.

As folhas de teca possuem as maiores concentrações de N, P, Ca e Mg, a casca a maior concentração de K e teores elevados de Ca e Mg, os galhos a maior concentração de S em relação aos outros componentes. Comportamento semelhante foi observado por Oliveira (2003) na mesma área, porém aos 29 meses de idade (Tabela 1).

A seqüência de distribuição dos teores de nutrientes em cada componente da parte aérea, em geral, foi a seguinte: folhas > casca > galhos > lenho, a exceção do K e do S. Segundo Baggio e Carpanezzi (1997), essa seqüência é comum em virtude das folhas concentrarem maior atividade metabólica e o lenho menor, e para onde os nutrientes remobilizados e redistribuídos são alocados. Entretanto, mudanças nessa ordem também podem ocorrer, principalmente entre casca e galhos, dependendo das exigências nutricionais de cada espécie. Por exemplo, Pereira et al. (1984) verificaram em *Eucalyptus citriodora* Hook, maior teor de nutrientes na casca que nos galhos e uma inversão nessa ordem em *Eucalyptus saligna* Smith,. Além disso, essa ordem pode variar ao longo do ano.

Embora os maiores teores de nutrientes, em geral, encontrem-se na copa (folhas e galhos), compartimento responsável por grande parte da atividade metabólica das

árvores, os teores de nutrientes dos galhos são bem menores, em comparação com as folhas, exceto para o S, que é maior nos galhos (Tabela 2). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Moura et al. (2006) em *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth, Neves (2000) em diferentes clones de híbridos de eucalipto (*E. grandis* x *E. urophylla*) e Gonçalves et al. (1992) em espécies pioneiras: *Croton urucurana* Baill., *Croton floribundus* Spreng. e *Trema micrantha* Blume e secundárias: *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Lonchocarpus* sp e *Gallesia gorazema* (Vell.) Moq., comprovando que a maior atividade metabólica da copa se deve, principalmente, ao componente folha.

As concentrações de N nas folhas de teca são elevadas e similares às aquelas encontradas por Caldeira et al. (2000) em *Acacia mearnsii*. Nas espécies florestais o teor deste elemento varia conforme o tecido, podendo nas folhas variar entre 9 a 20 g/kg enquanto na madeira não ultrapassa 5,0 g/kg (Binkley, 1986). A elevada concentração de nutrientes nas folhas, de acordo com Kramer e Kozlowski (1979), indica seu grande potencial como indicador de ciclagem de nutrientes, embora represente um pequeno percentual em relação à biomassa total das árvores. Nas folhas, encontram-se a maioria das células vivas que tendem a acumular maiores quantidades de nutrientes, em função dos processos de transpiração e fotossíntese. A concentração de nutrientes nas folhas das árvores é influenciada por diversos fatores como a capacidade produtiva do lugar, a idade das folhas, a posição das folhas na copa, época do ano e também entre procedências (Caldeira, 1998; Kozlowski, et al., 1991).

Quanto ao Ca, houve um predomínio de Ca nas folhas em relação à casca, com uma relação entre teores na casca e nas folhas (RCaCF) menor que a unidade (0,63). No entanto, para este mesmo povoamento, aos 29 meses de idades, constatou-se um equilíbrio entre teores de Ca na casca e nas folhas, com uma RCaCF próxima a unidade (1,05) (Oliveira, 2003). A maior concentração de Ca nas folhas e não na casca também foi observado por Caldeira et al. (2002) em *Acacia mearnsii*, na procedência Bodalla.

Atenção especial é dada aos níveis de Ca em folhas de teca em várias publicações (Bhatia, 1955; Hase e Foelster; 1983; Negi, 1990; Oliveira, 2003). Os dados de literatura variam consideravelmente, de 6 a 32 g/kg de Ca nas folhas, os dados obtidos nesse trabalho não são uma exceção, com teores um pouco acima do informado por esses autores.

Os maiores teores de Mg foram observados nas folhas (Tabela 1). É comum que o Mg tenha teores mais elevada nas folhas, uma vez que faz parte do componente fotossintético, ou seja, faz parte da estrutura das clorofilas a e b (Kramer e Kozlowski,

1979; Salisbury e Ross, 1992; Kozlowski, et al., 1991), o que também foi observado em diferentes espécies e idades (Neves, 2000; Caldeira, 2000; Caldeira, 1998).

Tabela 1. Teores de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de *Tectona grandis* com 7,5 anos de idade em Tangará da Serra-MT.

Componente	Classe ⁽¹⁾	Nutrientes (g/kg) ⁽⁴⁾					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Folhas	1	20,000	1,569	10,666	27,952	3,532 ab	0,642
	2	18,208	1,540	12,720	37,006	4,168 a	0,610
	3	17,620	1,541	14,130	35,440	2,810 b	0,662
	Média ⁽²⁾	18,431	1,545	12,582	35,153	3,838	0,624
	CV%	7,47	12,31	27,36	34,82	26,02	16,95
	IC5% ⁽³⁾	0,73	0,10	1,79	6,10	0,48	0,06
Galhos	1	3,988	0,615	6,300	8,616 b	0,806	0,968 a
	2	3,246	0,629	6,900	8,774 b	0,964	0,920 ab
	3	3,924	0,650	6,720	11,390 a	1,090	0,764 b
	Média	3,486	0,630	6,765	9,164	0,956	0,904
	CV%	21,61	13,46	24,41	15,30	22,70	26,30
	IC5%	0,42	0,04	0,85	0,77	0,11	0,12
Casca	1	4,236	0,802	10,263	21,614	1,162	0,256
	2	4,234	0,707	14,416	22,082	1,574	0,256
	3	4,514	0,760	15,196	23,252	1,442	0,272
	Média	4,279	0,732	13,806	22,186	1,480	0,259
	CV%	7,51	28,09	24,57	13,35	66,32	6,55
	IC5%	0,17	0,11	1,82	1,56	0,48	0,01
Lenho	1	1,454	0,682	2,580	0,726	0,576	0,314 a
	2	1,482	0,773	4,156	0,760	0,766	0,288 ab
	3	1,174	0,871	3,300	0,946	0,608	0,264 b
	Média	1,428	0,773	3,740	0,784	0,707	0,289
	CV%	36,45	12,50	64,86	24,18	6,75	17,41
	IC5%	0,26	0,05	0,98	0,10	0,02	0,03
Raízes	2	4,903	0,637	8,787	5,503	1,757	0,643
	CV%	18,98	15,09	20,82	10,02	3,66	2,37
	IC5%	0,49	0,05	0,96	0,29	0,03	0,01
Serapilheira	Média	14,338	0,885	0,880	15,321	0,563	1,537
	CV%	4,79	12,88	21,82	11,19	20,87	23,10
	IC5%	0,36	0,06	0,10	0,90	0,06	0,19

⁽¹⁾ Classes de diâmetro: 1 - inferior ($\leq \bar{X} - S$), 2 - média ($\bar{X} - S > \bar{X} < \bar{X} + S$) e 3 - superior ($\geq \bar{X} + S$). ⁽²⁾ O valor médio está ponderado pela respectiva frequência de cada classe de diâmetro (nº. de árvores). ⁽³⁾ Intervalo de confiança a 5%. ⁽⁴⁾ Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e no componente, diferem pelo teste "t" ($p \leq 0,05$) e ausência de letras indica que não houve diferenças ($p > 0,05$).

A produção de biomassa total do povoamento (árvore + serapilheira) foi de 133 t/ha. Em termos de incremento médio anual de biomassa total, ou seja, de produtividade, tem-se 17,7 t/ha/ano, refletindo a produtividade primária líquida média, sendo um bom indicador do carbono (C) fixado. Em trabalho com teca, no Panamá, Kraenzel et al. (2003) determinaram os teores de C na biomassa de componentes das árvores, encontrando para o tronco valores de 49,6, 50,2 e 50,4 dag/kg para amostras coletadas no terço superior, médio e inferior, respectivamente. Considerando todos os componentes em

que o C foi determinado, os autores chegaram ao valor de 49,5 dag/kg como sendo o teor médio de C em teca, a partir dos teores ponderados pela biomassa de cada componente da árvore. Os teores de C no "litter" foram menores, média de 43 dag/kg. Aplicando esses teores de C aos valores de biomassa seca das árvores e serapilheira deste trabalho, obtém-se a taxa média de 8,8 t/ha/ano de C fixado. Do ponto de vista de seqüestro de C, é interessante que se compute o C acumulado no tronco, cujo teor médio de C, no tronco, como verificado por Kraenzel et al (2003), é de 50,07 dag/kg. A taxa média desse acúmulo, no povoamento estudado neste trabalho, corresponde a 5,2 t/ha/ano de C. Esses valores da taxa de acúmulo de C total e C do tronco são semelhantes aos encontrados por Oliveira (2003), mas não podem ser comparados diretamente em função dos desbastes realizados no povoamento.

O lenho apresentou a maior quantidade de biomassa (67,52 t/ha), ou seja, 50,8 % do total, seguido das raízes 16,6 % (22,06 t/ha), dos galhos com 12,6 % (16,71 t/ha), da serapilheira com 7,9 % (10,53 t/ha), da casca com 7,2 % (9,58 t/ha) e das folhas com 4,9 % (6,5 t/ha) da biomassa (Tabela 2). Conforme Curlin (1970), geralmente a parte aérea das árvores tem sua biomassa distribuída na seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas. A variação da distribuição da biomassa nos diferentes órgãos da planta, varia de espécie para espécie e até mesmo em uma população da mesma espécie bem como em razão das condições ambientais e, também, em razão das diferentes procedências (Caldeira, 1998).

Os valores de partição de biomassa total (árvore + serapilheira) para raízes foram de 16,3, 16,6 e 16,9 %, para as classes de diâmetro inferior, média e superior respectivamente, com um valor médio de 16,6 %. Em termos da relação raiz/parte aérea o valor médio obtido foi de 0,22, representando 18,0 % da biomassa da árvore (Parte aérea + raízes), sendo esses resultados semelhantes àqueles encontrado por Negi et al. (1995). Esses autores observaram uma partição de biomassa para raízes de 18,3 %, ou, em termos de relação raiz/parte aérea, de 0,22, em árvores de teca, com 10 anos de idade, plantadas na região central de Tarai em Uttar Pradesh, Índia. Hase e Foelster (1983) observaram uma redução progressiva nos valores da relação R/PA, de 0,42 aos 4 anos para 0,20 aos 9 anos em povoamentos de teca na Venezuela. Kraenzel et al. (2003) observara uma relação R/PA de 0,16 aos 20 anos de idade em plantios de teca no Panama e não encontraram nenhuma relação entre a razão R/PA e o tamanho da árvore (DAP), embora, neste estudo eles sugerem que esta tendência pode ser associada mais diretamente ao desenvolvimento com a idade que ao tamanho da árvore.

A biomassa da copa (folhas e galhos) e a biomassa do tronco (casca + lenho) representam, respectivamente, 17,5 e 58,0 % da biomassa total do povoamento. (Tabela 2). Embora o lenho seja o componente com menores teores de nutrientes, existem implicações devido a exportação de nutrientes por ocasião da colheita, porque a maior parte da biomassa da teca encontra-se no lenho, sendo a exportação de nutrientes neste compartimento expressiva, e a variação na quantidade de nutrientes exportada será resultante da quantidade de biomassa extraída do povoamento (Reis e Barros, 1990).

Os galhos representam 72,1 % da biomassa da copa e 12,6 % da biomassa total. Quando comparada com estudos envolvendo outras espécies, pode-se observar que a produção de galhos da teca é expressiva, pois Schumacher et al. (2002) encontraram 12 % da biomassa total nos galhos da *Araucaria angustifolia* aos 27 anos de idade, e Neves (2000), em clones de eucalipto "urograndis", com dez anos de idade, encontrou apenas 5,91 % da biomassa nos ramos desse híbrido. A que se considerar que a teca é manejada com desramas e dependendo da maior ou menor intensidade dessa prática, esses valores podem variar. Caldeira (1998) encontrou 19 % da biomassa acima do solo nos galhos em *Acacia mearnsii* com 6 anos.

A biomassa da serapilheira acumulada sobre o solo foi estimada em 10,5 t/ha representando 7,9 % da biomassa total. Esta é constituída por folhas e outros elementos do último ano de crescimento e alguns resíduos dos anos anteriores que ainda não sofreram a mineralização completa, uma vez que esta espécie é totalmente caduca. A teca, na região de Tangará da Serra-MT, completa a queda das suas folhas no máximo até o mês de agosto, quando parte da biomassa já se encontra em fase de fragmentação. Houve um incremento significativo na biomassa de serapilheira, pois Oliveira (2003), encontrou uma produção de 3,8 t/ha para este mesmo povoamento aos 29 meses de idade.

Comparando os valores de serapilheira da teca com os encontrados em uma floresta secundária, próxima a área de plantio, verifica-se que a teca acumulou mais biomassa na serapilheira, pois enquanto esta possuía 10,5 t/ha, a floresta secundária apresentou 7,4 t/ha. A manutenção desse resíduo sobre o solo tem implicações ecológicas positivas no manejo (proteção contra erosão, oscilação de temperatura do solo, reserva de nutrientes), mas também negativas como a propensão a queimadas no período seco.

A seqüência da quantidade total dos nutrientes foi $Ca > K > N > Mg > P > S$ (Tabela 2), sendo a mesma seqüência observada por Negi et al. (1990), em povoamentos de teca com 20 anos de idade. Em algumas espécies de eucalipto, essa ordem também

pode ser encontrada, com predominância de Ca sobre K, ou até mesmo sobre N (Schumacher e Poggiani, 1993). Essas diferenças podem ocorrer em razão das características das espécies ou da qualidade dos sítios.

Do conteúdo total de nutrientes, em média, Ca, K, N, Mg, P e S totalizaram 36, 30, 22, 5, 4 e 3 %, respectivamente. De acordo com medidas realizadas em uma floresta natural da Espanha (Sierra de Gata) por Marcos e Lancho (2002), o Ca foi o nutriente que mais acumulou na parte aérea das árvores, sendo seu acúmulo quase o dobro da soma do acúmulo dos outros nutrientes (3,7 versus 2,0 t/ha/ano). Em média, o Ca e o N totalizaram 53,2 % e 32,2 % de nutrientes acumulados, respectivamente. Outros nutrientes armazenados foram o K e Mg (5,8 % e 3,9 % do total). O fósforo e o enxofre alcançaram porcentagens entre 1 % e 2 % do total.

Em média, do conteúdo de nutrientes na árvore + serapilheira, as raízes (excluindo a raiz pivotante) com apenas 16,6 % da biomassa total, representa 19,1; 13,9; 24,0; 13,2; 27,3 e 19,4 % do conteúdo total de N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente, ou seja, uma grande proporção dos nutrientes encontra-se imobilizada nas raízes. Isso resulta na seqüência $Mg > K > N \sim S > P > Ca$. Utilizando os valores da relação raiz/parte aérea, para o conteúdo de nutrientes (Tabela 2), a raiz representa 25,9; 15,3; 24,2; 16,0; 28,6 e 25,4 % do N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Estes resultados mostram a importância de se considerar o sistema radicular e evitar conclusões errôneas a respeito da demanda de nutrientes para o crescimento da planta (Neves, 2000).

Na serapilheira, o nutriente mais abundante foi o Ca, sendo em média, sua quantidade 1,1, 17, 18, 27 e 10 vezes superior à dos nutrientes N, P, K, Mg e S, respectivamente. O Ca possui baixa mobilidade nas folhas não-decíduas, ficando imobilizado no folheto (folhas decíduas, serapilheira), cujos valores são superiores aos das folhas da copa. O Ca está associado à lignificação das paredes celulares, isto é, faz parte da estrutura da folha, ele não é redistribuído para as partes novas em crescimento da planta, antes da abscisão foliar, resultando no maior conteúdo na serapilheira e, conseqüentemente, maior contribuição do ciclo biogeoquímico para este nutriente (Reis e Barros, 1996; Attiwill et al., 1978).

A proporção de elementos minerais acumulados na biomassa do componente lenho (51 % da biomassa) foi relativamente baixa quando comparada com a biomassa do componente folhas que representa menos de 5 % do total. No lenho, foram encontrados 17, 51, 33, 6, 29 e 27 % do total dos elementos N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente. Nas folhas, esses mesmos elementos representam 21, 10, 10, 24, 17 e 6 % do total (Tabela 3), o que faz desse componente um grande reservatório, tornando-

se importante na manutenção da fertilidade do solo através da sua contribuição para o ciclo biogeoquímico (Reis e Barros, 1996).

As partições de nutrientes para a casca 7,2; 6,7; 17,8; 22,9; 10,6 e 3,5 % do total dos elementos N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente, evidenciam a importância de se procurar manter a casca no campo, quando da colheita a exemplo do que já é feito, em escala comercial, por empresas do setor de produção de eucalipto (Oliveira, 2003; Neves 2000; Reis e Barros, 1996).

O elevado acúmulo de Ca, na casca da teca, coincide com observações feitas em plantios de eucalipto, onde este é superior devido ao fato desse nutriente ter baixa mobilidade, podendo estar imobilizado na casca até cerca de 60 % desse elemento (Morais, 1988). A permanência da casca no campo, por ocasião da colheita, contribui para a ciclagem de nutrientes, pois ela acumula cerca de 16 % do conteúdo total dos nutrientes da teca, além de apresentar uma velocidade de decomposição mais lenta que as folhas. Portanto, por ser rico nutricionalmente, assim como a folha, a casca se torna importante na manutenção e/ou recuperação da fertilidade do solo (Molica, 1992; Zech e Drechsel, 1991; Morais, 1988).

A exportação de produtos colhidos, erosão e lixiviação são os principais responsáveis pelas perdas de Ca. De acordo com Hase e Foelster (1983), a remoção de madeira de teca durante a colheita tem impactos severos nas reservas de Ca do solo, é exportado entre 0,22 e 3,07 t/ha de Ca no período de rotação (50 anos). Isto significa que as reservas totais de Ca na maioria dos solos das plantações estudadas (1,6-1,7 t/ha/m de Ca), quase serão esgotadas dentro do primeiro ciclo, e o crescimento de teca diminuirá consideravelmente mesmo por este tempo. Além disso, a remoção de Ca é acompanhada da diminuição do pH e da atividade biológica.

Do conteúdo total de nutrientes, a copa (folhas e galhos) acumula 32 %, o tronco (lenho e casca) 36 %, as raízes 19 % e os 14 % restantes foram acumulados na serapilheira. Considerando somente a biomassa de parte aérea, a copa acumula 47 % do total de nutrientes, valor próximo ao observado por Reis e Barros (1990) e Caldeira (1998). Estes autores verificaram que, em povoamentos florestais, a copa contém em torno de 50 % da quantidade total dos nutrientes. Durante a fase juvenil de um povoamento florestal, uma grande parte da alocação de carboidratos, resultantes da fotossíntese, são canalizados para a produção de biomassa da copa. No entanto, com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e a das folhas e ramos diminui gradativamente.

Tabela 2. Biomassa, conteúdo de nutrientes e partição nos diferentes compartimentos das árvores de povoamentos de teca, com 7,5 anos de idade, localizados no município de Tangará da Serra-MT.

Componente	Classe ⁽¹⁾	Biomassa		Nutrientes											
				N		P		K		Ca		Mg		S	
		t/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Folhas	1	5,00	4,62	98,24	19,23	7,99	9,88	51,94	10,19	139,44	19,19	17,91	17,47	3,14	5,08
	2	6,50	4,91	118,40	20,87	10,21	9,92	81,37	10,10	231,59	25,46	26,56	18,68	3,95	5,53
	3	7,97	4,90	140,04	21,62	12,22	8,81	108,66	11,55	275,60	22,44	21,65	13,37	5,17	6,65
	Média ⁽²⁾	6,47	4,87	118,29	20,73	10,14	9,67	80,53	10,39	222,32	23,98	24,24	17,49	4,00	5,66
Galhos	1	13,33	12,32	55,46	10,86	8,55	10,57	82,87	16,26	114,34	15,74	10,28	10,02	11,89	19,23
	2	16,65	12,59	52,53	9,26	10,35	10,06	107,21	13,31	142,65	15,68	14,92	10,50	15,05	21,07
	3	20,71	12,75	72,51	11,19	13,85	9,99	129,54	13,77	243,16	19,80	20,52	12,67	15,12	19,44
	Média	16,71	12,58	56,25	9,86	10,59	10,10	106,47	13,74	153,71	16,58	14,99	10,82	14,50	20,53
Casca	1	8,36	7,73	35,17	6,88	6,62	8,18	107,11	21,01	180,95	24,91	9,64	9,40	2,12	3,43
	2	9,13	6,90	38,88	6,85	6,46	6,28	132,09	16,40	200,81	22,08	15,04	10,58	2,35	3,29
	3	12,81	7,88	57,81	8,93	9,79	7,06	195,19	20,75	297,02	24,18	18,61	11,49	3,47	4,46
	Média	9,58	7,21	41,25	7,23	7,02	6,69	137,76	17,78	212,69	22,94	14,65	10,57	2,49	3,52
Lenho	1	53,38	49,33	77,78	15,23	37,50	46,35	137,28	26,93	38,81	5,34	31,16	30,39	16,64	26,91
	2	67,55	51,06	99,05	17,46	52,51	51,03	282,61	35,09	50,89	5,59	41,06	28,88	19,48	27,27
	3	83,07	51,12	97,69	15,08	73,77	53,19	272,36	28,95	79,52	6,47	50,67	31,28	21,93	28,19
	Média	67,52	50,82	95,07	16,66	53,25	50,76	255,24	32,94	53,33	5,75	40,85	29,48	19,37	27,42
Raízes	1*	17,62	16,28	93,33	18,27	10,92	13,50	121,34	23,81	89,97	12,38	27,60	26,91	11,49	18,58
	2	21,94	16,58	107,51	18,95	14,04	13,65	192,85	23,95	120,67	13,27	38,61	27,16	14,04	19,66
	3*	27,40	16,86	128,82	19,89	19,73	14,23	225,84	24,01	170,11	13,85	44,58	27,52	15,53	19,97
	Média	22,06	16,60	108,80	19,07	14,58	13,90	185,60	23,96	121,99	13,16	37,89	27,34	13,72	19,43
Serapilheira	1	10,53	9,73	150,85	29,53	9,32	11,52	9,16	1,80	162,96	22,43	5,96	5,81	16,56	26,78
	2	10,53	7,96	150,85	26,59	9,32	9,06	9,16	1,14	162,96	17,92	5,96	4,19	16,56	23,18
	3	10,53	6,48	150,85	23,29	9,32	6,72	9,16	0,97	162,96	13,27	5,96	3,68	16,56	21,29
	Média	10,53	7,92	150,85	26,44	9,32	8,88	9,16	1,18	162,96	17,58	5,96	4,30	16,56	23,44
Total	1	108,22	-	510,83	-	80,90	-	509,70	-	726,47	-	102,55	-	61,84	-
	2	132,30	-	567,22	-	102,89	-	805,29	-	909,57	-	142,15	-	71,43	-
	3	162,49	-	647,72	-	138,68	-	940,75	-	1228,37	-	161,99	-	77,78	-
	Média	132,87	-	570,51	-	104,90	-	774,76	-	927,00	-	138,58	-	70,64	-
Raiz/P.A. ⁽³⁾	-	0,22	0,35		0,18		0,32		0,19		0,40		0,34		

⁽¹⁾ Classes de diâmetro: 1 - inferior ($\leq \bar{X} - S$), 2 - média ($\bar{X} - S > \bar{X} < \bar{X} + S$) e 3 - superior ($\geq \bar{X} + S$). ⁽²⁾ O valor médio está ponderado pela respectiva frequência de cada classe de diâmetro (nº. de árvores). ⁽³⁾ Relação entre raiz e parte aérea da planta (folhas+galhos+casca+lenho). * Valores estimados através da relação Raiz/P.A. obtidos na classe média.

A eficiência de utilização de nutrientes (CUB) é importante para alimentar os sistemas que estimam a demanda pela planta para obtenção de uma definida produtividade esperada, como o FERTCALC[®] teca (FERTITECA). Na colheita, geralmente é o tronco ou o lenho que saem da área, sendo fundamental que se utilize valores confiáveis de CUB, para evitar sub ou superestimação dos nutrientes contidos no produto colhido, bem como o CUB de folhas, galhos e casca, partes da planta restituídas ao solo (Tabela 3).

Na prática, os valores de CUB são influenciados pelos mesmos fatores que influenciam a taxa de recuperação de nutrientes pela planta e, em geral, pode-se afirmar que plantas com valor de CUB maior para determinado nutriente seriam teoricamente mais eficientes do que plantas com menores valores (Oliveira et al., 2005). Apesar de amplamente adotado nos Sistemas FERTCALC[®], Neves (2000) alerta para a possível interferência dos efeitos de diluição e de concentração de nutrientes nos valores de CUB, ressaltando que este seria um indicador de uma eficiência compartimentalizada de uso de nutrientes.

Resguardadas as possíveis variações na eficiência de utilização de nutrientes, ou seja, à amplitude de valores encontrados nas diversas condições edafoclimáticas e de manejo a que a cultura está submetida (Tabela 3). É oportuno lembrar que, no presente estudo, as diferenças encontradas entre as classes de DAP se devem a dinâmica da população (árvores supressoras e suprimidas) pois são árvores abatidas na mesma população, submetidas às mesmas condições edafoclimáticas e de manejo. Condição confirmada pelo teste “t” (Tabela 5 do anexo) do CUB para os diferentes compartimentos, folhas, galhos, casca e lenho, indicando que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) em todos os nutrientes entre as classes de DAP. Exceto para o Mg nas folhas ($p \leq 0,05$), Ca nos galhos ($p \leq 0,04$), K no lenho ($p \leq 0,05$) e S nos galhos e parte aérea ($p \leq 0,05$). O que possibilita afirmar que, embora as árvores da classe superior tenham produzido uma maior quantidade de biomassa, estas não diferiram em termos de eficiência de utilização dos nutrientes (CUB). Elas diferem sim, quanto a eficiência de absorção, ou seja, produziram maior quantidade de biomassa mantendo a mesma razão, biomassa:nutrientes, que a classe média e inferior. Certamente, estas diferenças entre as classes de DAP serão melhor elucidadas considerando variáveis que relacionam folhas e raízes, como a área radicular específica (ARE), área foliar específica (AFE), razão AFE/ARE, eficiência no uso da luz etc. Variáveis que indicam uma maior ou menor capacidade de obtenção de nutrientes, água e luz.

Tabela 3. Eficiência de utilização de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de *Tectona grandis* com 7,5 anos de idade em Tangará da Serra-MT.

Componente	Classe ⁽¹⁾	Nutrientes (kg/kg) ⁽⁴⁾					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Folhas	1	51	666	97	36	292 ab	1600
	2	55	665	97	30	253 b	1642
	3	57	672	81	33	376 a	1557
	Média ⁽²⁾	55	666	95	32	280	1621
	CV%	6,1	9,3	18,5	27,4	25,3	15,7
	IC% ⁽³⁾	1,7	32,5	8,9	4,8	40,6	131,7
Galhos	1	265	1766	162	119 a	1294	1284 ab
	2	320	1684	160	117 a	1173	1097 b
	3	292	1631	157	89 b	1002	1332 a
	Média	306	1690	160	132	1167	1168
	CV%	26,9	12,2	18,5	16,7	18	33,1
	IC%	41,1	108,1	15,5	9,5	108,9	215,0
Casca	1	242	1396	79	47	891	4006
	2	237	1455	78	46	1306	3929
	3	225	1451	74	44	988	3720
	Média	236	1444	77	46	1182	3909
	CV%	8,3	22,2	26,9	14,4	37,9	7,1
	IC%	10,2	167,0	10,8	3,4	210,9	145,1
Lenho	1	729	1621	389 a	1424	1804	3285
	2	771	1424	369 ab	1445	1694	3512
	3	861	1341	312 b	1197	1683	3810
	Média	778	1446	363	1402	1712	3519
	CV%	21,7	9,6	12,7	17,2	8,5	16,3
	IC%	89,3	73,5	23,7	122,4	76,4	302,4
Tronco	1	568	1574	254	285	1574	3352
	2	594	1404	234	309	1494	3552
	3	623	1339	216	260	1457	3791
	Média	594	1424	234	297	1502	3555
	CV%	17,5	9,0	21,2	11,3	11,3	14,6
	IC%	54,6	67,6	26,7	16,8	89,3	272,7
Parte Aérea	1	304	1471	212	172	1194	2452 ab
	2	331	1342	198	161	1094	2451 b
	3	339	1288	182	143	1150	2732 a
	Média	327	1356	198	160	1120	2496
	CV%	9,8	6,3	19,1	15,1	12,8	15,7
	IC%	16,7	45,1	20,1	12,6	77,1	208,6
Raízes	2	209	1594	117	183	570	1555
	CV%	19,13	14,68	18,94	9,47	3,59	2,36
	IC%	20,94	122,56	11,60	9,07	10,72	19,20

⁽¹⁾ Classes de diâmetro: 1 - inferior ($\leq \bar{X} - S$), 2 - média ($\bar{X} - S > \bar{X} < \bar{X} + S$) e 3 - superior ($\geq \bar{X} + S$). ⁽²⁾ O valor médio está ponderado pela respectiva frequência de cada classe de diâmetro (nº. de árvores). ⁽³⁾ Intervalo de confiança a 5%. ⁽⁴⁾ Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e no componente, diferem pelo teste "t" ($p \leq 0,05$) e ausência de letras indica que não houve diferenças ($p > 0,05$).

No lenho, os valores médios de CUB (Tabela 3) evidenciam que dentre os macronutrientes o S, é o mais eficientemente utilizado pela teca, em seqüência o Mg, P, Ca, N e K. No tronco, novamente, os valores médios de CUB obtidos apontaram que o S, é o mais eficientemente utilizado, vindo a seguir, Mg, P, N, Ca e K. Os menores valores de CUB encontrados para tronco em relação ao lenho refletem os maiores teores

de nutrientes na casca, com destaque para o Ca, que se deve em parte a imobilização desse macronutriente no floema, principalmente na forma de oxalato de cálcio, fato esse também observado por Caldeira et al. (2002) em procedências de *Acacia mearnsii*, no Rio Grande do Sul. Embora, para o S, o maior valor de CUB encontrado para tronco em relação ao lenho, reflete seu menor teor na casca. Os baixos valores de CUB de K para o lenho e tronco podem ser determinados pelo acúmulo excessivo de K na planta (consumo de luxo), gerando valores elevados de demanda de K pela planta.

O mesmo raciocínio empregado para a diferença entre o CUB de lenho e tronco é válido para o CUB da parte aérea, ou seja, seus valores são menores, refletindo os maiores teores de nutrientes nos demais compartimentos da planta. O compartimento folha apresentou os menores valores de CUB para quase todos os macronutrientes, exceto para o K, corroborando com a maior atividade metabólica e maior alocação de nutrientes remobilizados e redistribuídos para as folhas.

Comparando os valores obtidos de CUB do lenho com os valores de N (735), P (1884), K (216), Ca (997), Mg (1139) e S (4347) observados para este mesmo povoamento aos 29 meses por Oliveira (2003), observa-se um ligeiro aumento nos valores de CUB para o N, K, Ca e Mg e valores um pouco menores para o P e S. A eficiência de utilização dos nutrientes varia com a idade, tendendo para maior eficiência com o passar do tempo, pode-se supor que as parcelas avaliadas se encontram em uma fase de transição tendendo a uma maior eficiência. Fazendo uma analogia da duração do ciclo de plantios da teca no Brasil (± 25 anos) com sua região de origem (± 80 anos), há dúvidas se esse ciclo de crescimento de 25 anos é longo o suficiente para permitir a máxima eficiência da ciclagem de nutrientes.

4 CONCLUSÕES

Independentemente do componente da planta, o Ca é o nutriente mais acumulado, enquanto que o K é o nutriente mais acumulado no lenho. A ordem da quantidade total de nutrientes no povoamento foi $Ca > K > N > P > Mg > S$.

O nutriente de maior eficiência de utilização (CUB) nas árvores de teca foi o S. A parte aérea apresentou a seqüência de eficiência $S > P > Mg > N > K > Ca$ enquanto que no lenho foi $S > Mg > P > Ca > N > K$.

O sistema de colheita da madeira com casca resulta em maiores exportações de nutrientes em relação à colheita de madeira sem casca. A permanência da casca no campo, por ocasião da colheita, contribui para a ciclagem de nutrientes, pois ela representa 16 % do conteúdo total dos nutrientes da teca.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2008/ABRAF – Brasília, 2009, 120p.
- ATTIWILL, P. M., GUTHRIE, H. B., LEUNING, R. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L'Herit) forest. I. Litter production and nutrient return. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, v.261, p.79-91, 1978.
- BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. Biomassa aérea da bracatinga *Mimosa scabrella* Benth. em talhões do sistema de cultivo tradicional. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n. 34, p. 31-44, 1997.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, v.10, n.1, p.112- 120, 1986.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) *Relação solo eucalipto*. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F. FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. Análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1978. 31p. (circular, 87).
- BHATIA, K. Foliar calcium of teak. *Journal Indian Botany Science*. v.34, n.3, p.227-234, 1955.
- BINKLEY, D. *Forest Nutrition Management*. New York: John Wiley, 1986. 290p.
- CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V. Eficiência do uso de micronutrientes e sódio em três procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, n.1, p.39-47, 2004.
- CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Revista Árvore*, Viçosa, v.26, n.5, p.615-620, 2002.
- CALDEIRA, M.V.W. Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácianegra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Santa Maria, RS, 1998. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 1998.
- CHAVES, E., FONSECA, W. *Tectona grandis* L.f. espécie arbol de uso multiple em América Central. Turrialba, Centro Agrônomo Tropical de Investigación y Enseñanza, 1991. (Série Técnica, n. 179).
- CENTENO, J. C. El manejo de las plantaciones de teca. In: *Actualidad Florestal*. Boletín de la OIMT. v.5, nº2, 1997. p.10-12.
- CURLIN, J.W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C.T.; DAVEY, C.B. (Ed). *Tree growth and forest soils*. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p.313-326.
- DRESCHER, R. Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn f., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de mato grosso – Brasil. Santa Maria: UFSM, 2004. 133p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 2004.
- FAGERIA, N. F. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.2, n.1, p.6-16, 1998.
- GONÇALVES, J. L. M.; KAGEYAMA, P. Y.; FREIXÊDAS, V. M.; GONÇALVES, J. C.; GERES, W. L. A. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. *Revista do Instituto Florestal*, v. 4, p. 463-468, 1992.

- GOURLEY, C. J. P.; ALLAN, D.L.; RUSSELE, M.P. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.158, p.29-37, 1994.
- HASE, H.; FOELSTER, H. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. *Forest Ecology and Management*. 6: 33-57, 1983.
- KRAMER, P.J., KOZLOWSKI, T.T. *Physiology of wood plants*. New York : Academic, 1979. 811p.
- KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. *The physiology ecology of wood plants*. San Diego, USA: Academic Press, 1991. 657p.
- KRAENZEL, M., CASTILLO, A., MOORE, T., POTVIN, C. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management*, n.173, p.213-225, 2003.
- LAMPRECHT, H. *Silvicultura nos Trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado*. Eachborn. República Federal da Alemanha. 1990. 343p.
- MARCOS, G. M.; LANCHO, J. F. G. Atmospheric deposition in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests: implications for Forest nutrition. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 171, p. 17-29, 2002.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.
- MOLICA, S. G. *Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas Regiões Bioclimáticas de Minas Gerais*. 1992. 84 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.
- MORAIS, J. M. *Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais*. 1988. 56 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.
- MOURA, O. N.; PASSOS, M. A. A., FERREIRA, L. C. R.; MOLICA, S. G.; LIRA JUNIOR, M. A.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. Distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. *Revista Árvore*, v. 30, p. 877-884, 2006.
- NEGI, M. S.; TANDON, V. N.; RAWAT, H. S. Biomass and nutrient distribution in young teak (*Tectona grandis* Linn. F) plantations in Tarai Region of Uttar Pradesh. *Indian Forester*, Dehra Dun (Índia) v.?, n.?, p.681-686, jun. 1995.
- NEGI, J. D. S.; BAHUGUNA, V. K.; SHARMA, D. C. Biomass production and distribution of nutrient in 20 years old teak (*Tectona grandis*) and gamar (*Gmelina arborea*) plantation in Tripura. *Indian Forester*, Dehra Dun (Índia) v.116, n.9, p.455-464, sep. 1990.
- NEVES, J. C. L. *Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de Eucalipto na região litorânea do Espírito Santo*. Rio de Janeiro, 2000. 191f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologia Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.
- OLIVEIRA, F. H. T., NOVAIS R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p.131-143, 2005.
- OLIVEIRA, J. R.V. de. *Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca – NUTRITECA*. Viçosa: UFV, 2003. 76p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- PEREIRA, A. R. ANDRADE, D. C.; LEAL, P. G. L.; TEIXEIRA, N. C. S. . *Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de Eucalyptus citriodora e Eucalyptus saligna cultivados na região de cerrado de Minas Gerais*. *Floresta*, v. 15, n.1/2, p. 8-16, 1984.

- REIS, M. G. F. & BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) Relação solo-eucalipto. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- SALISBURY, F.B., ROSS, C.W. Plant physiology. Belmont, California : Wadsworth, 1992. 682p.
- SAAF. Diretrizes técnicas para implantação de reflorestamento no Estado de Mato Grosso, teca – *Tectona grandis* Linn F.. Secretaria de Estado de Agricultura e Assuntos Fundiários (SAAF). Cuiabá – MT. 2001. 15 p.
- SCHUMACHER, M. V. ; HOPPE, J. M. ; BARBIERI, S. J.; WITSCHORECK, R. Quantificação de biomassa e do conteúdo de nutrientes no corte raso de uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região de Quedas do Iguaçu-PR. Santa Maria: CEPEF/UFSM, ARAUPEL, 2002. 78p. (Relatório Técnico).
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi - SP. *Ciência Florestal*, v.3, p. 21-34, 1993.
- STEENBJERG, F.; JAKOBSEN, S. T. Plant nutrition and yield curves. *Soil Science*, v. 95, p. 69-88, 1963.
- ZECH, W.; DRECHSEL, P. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rainforest zone of Liberia. *Forest Ecology and Management*, n.41, p.221-235, 1991.

CAPÍTULO 5

PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO DE CRESCIMENTO 3-PG PARA PLANTIOS DE TECA NA REGIÃO SUDOESTE DE MATO GROSSO

RESUMO

Predições precisas do crescimento florestal são necessárias e importantes para estimar o potencial produtivo de determinada floresta e, também, os efeitos sobre o ambiente. Essa estimativa pode ser viabilizada por meio da modelagem. O 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) é um modelo baseado em processos que utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos. O modelo 3-PG calcula, essencialmente, a quantidade de energia radiante que será absorvida pelo dossel, convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (folhas, tronco + galhos e raízes). O objetivo deste trabalho foi parametrizar o modelo baseado em processos 3-PG para plantios de teca na região Sudoeste de Mato Grosso. A parametrização foi realizada com base em dados obtidos em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT e em dados de relatórios, teses, e outros trabalhos complementares, acrescidos de dados e informações obtidas na literatura. O 3-PG proporcionou boas estimativas para biomassa de folhas, índice da área foliar, biomassa de fuste (tronco + galhos), diâmetro, volume de lenho e incremento médio anual, as quais refletem o crescimento da floresta. O modelo 3-PG, devidamente parametrizado para povoamentos de teca, apresentou bom desempenho quanto às estimativas da produtividade desses plantios, necessitando, contudo, ser aprimorado de modo a ser parametrizado e validado com dados que contemplem um ciclo completo da teca (± 25 anos) de um mesmo sítio, com refinamento por talhão, de modo a se constituir uma ferramenta efetiva de manejo para teca.

Palavras-Chave: *Tectona grandis*, produtividade florestal, modelagem do crescimento florestal.

CHAPTER 5

PARAMETERIZATION OF THE 3-PG GROWTH MODEL FOR TEAK STANDS IN THE SOUTHWESTERN REGION OF MATO GROSSO

ABSTRACT

Accurate predictions of plantation growth are necessary and important to estimate potential yield of wood products and also to investigate the effects of plantations on the environment. This estimate may be viable through modeling. The 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) is a model based in processes and it employs physiological principles to estimate the productivity of forest stands of the same age. The 3-PG model basically calculates the amount of radiant energy that could be absorbed by the canopy, converted to carbohydrates and allocated to different tree components (leaves, stem and roots). The objective of the present work was to parameterize the process-based model 3-PG for teak stands in the Southwestern region of Mato Grosso State, Brazil. The parameterization was performed based on data obtained from Tectona Agroflorestal Company and technical reports, thesis, and other complementary studies. The 3-PG model led to accurate estimates of leaf biomass, leaf area, stem biomass (trunk + branches), diameter, wood volume and mean annual increment, which are variables that reflect the forest growth. The 3-PG model, if adequately parameterized, presents a good performance regarding the estimated productivity of teak stands in a regional scale. However, it needs further refinements in order to be used at local level, such as stand level. After such adjustments it may prove an effective tool for supporting forest management.

Key words: *Tectona grandis*, forest productivity, forest growth modeling.

1 INTRODUÇÃO

Predições precisas do crescimento florestal são necessárias e importantes para estimar o potencial produtivo de determinada floresta e, também, os efeitos sobre o ambiente. Essa estimativa pode ser viabilizada por meio da modelagem. Na área florestal, diversos modelos mecanísticos, também denominados modelos baseados em processos (MBP) têm sido idealizados para estimar a produtividade de povoamentos florestais. Em geral, esses modelos apresentam obstáculos para utilização prática, em virtude da complexidade dos processos fisiológicos envolvidos e, conseqüentemente, do elevado número de variáveis de entrada (Bataglia e Sands, 1998).

O 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) é um MBP que utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos e requer relativamente poucas variáveis de entrada (Landsberg & Waring, 1997; Landsberg et al., 2003). Necessita de poucos ajustes para se obter uma estimativa realista do crescimento florestal e, também, pode ser facilmente parametrizado para um tipo definido de floresta plantada, sendo bastante adequado para fins de determinação do crescimento florestal.

O 3-PG estima a quantidade de energia radiante absorvida pelo dossel, sua conversão em carboidratos e alocação nos diferentes componentes da árvore (folhas, tronco + galhos e raízes) e descreve o crescimento. O crescimento do povoamento não se modela diretamente em função do tempo, sendo resultante da interação de distintos processos fisiológicos com as condições climáticas locais em um período de tempo determinado. A idéia é incluir de forma explícita, relações causa-efeito entre variáveis climáticas e de solo e os processos fisiológicos que regulam o crescimento das árvores. Para ajuste do modelo, é necessário medir a resposta dos processos fisiológicos em relação às condições do clima e do solo. Em seu estágio de desenvolvimento atual, é utilizado principalmente como ferramenta de investigação destinada a entender e sintetizar o conhecimento atual sobre os fatores que determinam o crescimento, junto com a identificação de áreas que requerem maiores investigações (Landsberg & Waring, 1997; Landsberg et al., 2003; Flores & Allen, 2004).

Inicialmente o modelo 3-PG foi desenvolvido para uma espécie “genérica” (Landsberg & Waring, 1997; Landsberg et al., 2003), mas parâmetros específicos para espécie, região e até mesmo para talhões estão sendo calibrados para *Eucalyptus globules* (Sands e Landsberg, 2002), *Eucalyptus grandis* (Almeida et al., 2004; Esprey and Sands, 2004;), *Eucalyptus grandis x urophylla* (Stape et al., 2004), *Pinus radiata*

(Flores e Allen, 2004), *Pinus patula* (Dye, 2001), *Pinus ponderosa* (Law et al., 2000), *Pinus taeda* (Landsberg et al., 2000), *Picea sitchensis* (Waring, 2000), *Acacia mangium* (Booth et al., 2001) e *Dacrydium cupressinum* (Whitehead et al., 2002). No Brasil, o 3-PG tem sido parametrizado e validado a partir de dados obtidos de plantios de eucalipto de empresas florestais para os Estados da Bahia (Stape et al., 2004), Espírito Santo (Almeida et al., 2003; Almeida et al., 2004) e Minas Gerais (Silva, 2006).

De maneira geral, os referidos trabalhos destacam o potencial do 3-PG como ferramenta para auxiliar o manejo de plantios florestais comerciais, possibilitando prever o impacto dos fatores determinantes da produtividade (radiação solar, temperatura, água e nutrientes) sobre o potencial produtivo da espécie florestal e, conseqüentemente, sobre a sustentabilidade de florestas plantadas.

Para que o referido modelo possa ser utilizado como ferramenta de manejo em plantios de teca, torna-se necessário que o mesmo seja calibrado, por meio de ajustes dos parâmetros ou relacionamentos para as condições específicas do ambiente, e posteriormente, validado, por meio da comparação dos dados observados e aqueles estimados pelo modelo.

A teca, com alto valor no mercado nacional e internacional, é uma das espécies florestais que atualmente se destaca com crescimento expressivo nos estados de Mato Grosso, Rondônia e Acre. A mesma participa com área plantada de 60.000 ha e os plantios vêm aumentando ano a ano, com produtividade variando de 15 – 20 m³/ha/ano. (ABRAF, 2009). Dada a disponibilidade de dados e de informações referentes à nutrição, crescimento e produtividade das florestas de teca na região Sudoeste de Mato Grosso, este estudo foi idealizado e conduzido com o objetivo de parametrizar o modelo 3-PG para plantios de teca nesta região.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Uma descrição completa sobre o modelo 3-PG é encontrada em Landsberg e Waring (1997), Sands e Landsberg (2002), Sands (2004) e Silva (2006). O modelo utiliza dados climáticos mensais, incluindo variáveis facilmente disponíveis como temperatura máxima, mínima e média, precipitação e radiação solar. Como saídas do modelo se incluem biomassa de fuste, folhas e raízes, atributos convencionais do povoamento como volume, área basal e número de árvores por hectare, e parâmetros de interesse ecofisiológico como o índice de área foliar, a condutância estomática do dossel, taxa de transpiração, uso de água do povoamento e disponibilidade de água do solo (Figura 1). Ele é constituído por cinco componentes (sub-modelos) principais:

• **Produção de Biomassa:** baseado na concepção “as folhas fazem com que as árvores cresçam”, ou seja, quanto maior a área foliar, maior absorção de radiação solar e, por tanto, maior produção de biomassa. A eficiência com que essa radiação absorvida é convertida em biomassa, muda dependendo das condições do meio ambiente. Por outra parte, o modelo assume uma fração fixa de respiração ($\pm 53\%$) para calcular a produção líquida do dossel.

• **Alocação da Biomassa:** a biomassa produzida é distribuída em três compartimentos da planta: fuste (tronco+galhos), folhas e raízes. A proporção de biomassa produzida por mês que se designa a cada componente depende das condições de crescimento e tamanho das árvores.

• **Mortalidade de árvores:** é calculada com base na lei dos auto-desbastes e utiliza um sub-modelo derivado da lei da potência $-3/2$ (Drew & Flewelling, 1977; Landsberg, 1986) e taxas de crescimento de fustes para calcular mudanças no número de fustes por unidade de área com o tempo (auto-desbastes).

• **Balanço de Água no Solo:** para calcular o balanço hídrico se utiliza o volume de solo da zona de enraizamento, a qual é caracterizada em termos de sua capacidade de armazenamento de água disponível e textura (assumindo homogeneidade nestas propriedades). A perda por evapotranspiração é determinada pela equação de Penman-Monteith. Além disso, se assume uma perda fixa pela interceptação do dossel.

• **Atributos do Povoamento:** índice de área foliar (IAF), área basal, volume de fuste (galhos+casca+lenho), diâmetro na altura do peito (DAP) e incremento médio anual (IMA), são calculados a partir da quantidade de biomassa dos diferentes componentes, pressupostos a partir da fração de casca e galhos, densidade da madeira e relações alométricas.

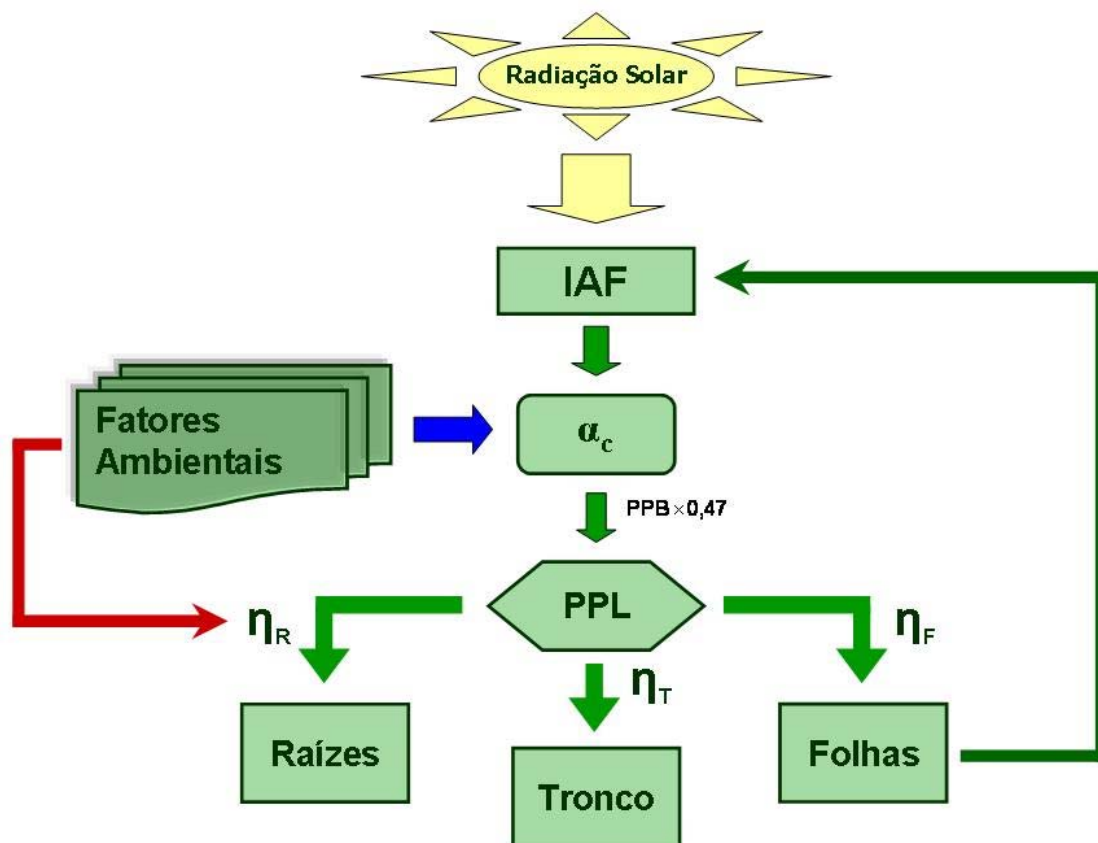


Figura 1. Estrutura básica do 3-PG. IAF é o índice de área foliar; α_c é a eficiência no uso da luz; η_R , η_T e η_F são coeficientes de partição da biomassa para raízes, tronco e folhas, respectivamente; PPB e PPL a produtividade primária bruta e líquida (adaptado de Landsberg & Waring, 1997 por Flores e Allen, 2004).

As principais variáveis de entrada do modelo 3-PG são: climatológicas (latitude, longitude, médias mensais de temperatura, radiação e precipitação); solo (fertilidade, textura, disponibilidade de água); planta (biomassa inicial de folha, fuste (tronco + galhos) e raízes, número de árvores, coeficientes de equações alométricas; e as fisiológicas: eficiência quântica do dossel, condutância estomática máxima do dossel).

A partir desses dados, o modelo estima, em intervalos mensais: biomassa de fuste (tronco + galhos), folhas e raízes, diâmetro do caule, área basal do povoamento, balanço de água no solo, índice de área foliar, queda de “litter”, densidade e volume do lenho (Tabela 1).

A versão do modelo 3-PG usada foi a 3-PGpjs2.4, implementada em macros do Visual Basic, em planilhas de cálculo Microsoft Excel (Sands, 2002 a,b).

Tabela 1. Descrição dos principais dados de entrada e de saída e unidades utilizados pelo modelo 3-PG.

Descrição	Símbolo	Nome	Unidade
Entrada			
Culturais			
Idade corrente do povoamento	t	StandAge	ano
Idade inicial e final de simulação	S _A , E _A	-	ano
Número de árvores do povoamento	N	StemNo	árvores/ha
Biomassa de folhas	W _F	WF	t/ha
Biomassa de raízes	W _R	WR	t/ha
Biomassa do lenho, incluindo galhos e casca	W _S	WS	t/ha
Climáticos			
Média do número de dias frios por mês	d _F	FrostDays	d/mês
Radiação solar incidente média diária	Q	SolarRad	MJ/m ² .d
Temperatura máxima	T _{Max}	Tmax	°C
Temperatura mínima	T _{Min}	Tmin	°C
Temperatura média diária	T _a	Tav	°C
VPD médio diário	D	VPD	mbar
Irrigação aplicada	R _I	Irrig	mm/mês
Solo			
Classe textural do solo	SC	SoilClass	(S, SL, CL, C)
Nível de fertilidade corrente	FR	FR	(0 – 1)
Máxima água disponível	θ _{sx}	maxASW	mm
Mínima água disponível	θ _{sn}	minASW	mm
Saída			
Biomassa de folhas	W _F	WF	t/ha
Biomassa de raízes	W _R	WR	t/ha
Biomassa de tronco + galhos	W _S	WS	t/ha
Índice de área foliar	L	LAI	m ² /m ²
Diâmetro médio à altura do peito	B	AvDBH	cm
Área basal	A	BasArea	m ² /ha
Volume de lenho	V	StandVol	m ³ /ha
Incremento médio anual de lenho	MAI	MAI	m ³ /ha.ano
Água disponível no solo	θ _s	AWS	mm
Transpiração		Transp	mm
Eficiência do uso da água	ω	WUE	g/mm
Total de “litter” produzido		TotalLitter	t/ha.ano
Raízes mortas		delRoots	t/ha
Modificadores do crescimento (Idade, Déficit de pressão do vapor, Temperatura, Dias frios, Água no solo e Nutrição)		(f _I , f _{DPV} , f _T , f _F , f _A e f _N)	-
Produção primária bruta	P _g	GPP	t/ha
Produção primária líquida	P _n	NPP	t/ha
Eficiência quântica do dossel	α _C	abvgrndEpsilon	g/MJ
Eficiência de utilização da luz (baseada na biomassa da parte aérea)	ε	totalEpsilon	g/MJ

2.1 Coleta de dados para parametrização do modelo 3-PG

A parametrização do modelo 3-PG foi feita para povoamentos de teca na região Sudoeste de Mato Grosso, em áreas pertencentes à empresa Tectona Agroflorestal, LTDA. Na área de estudo, foram avaliadas sete parcelas com 132 árvores cada (estande inicial). Destas, duas eram parcelas com árvores jovens (17 meses) e cinco com árvores adultas (90 meses), três das quais também já avaliadas aos 29 meses por Oliveira (2003) e outras duas foram adicionadas e avaliadas em 2004, pela própria empresa proprietária da área.

Os dados coletados incluem o DAP médio do povoamento, informações de latitude, longitude, altitude e tipo de solo, manejo (uso prévio da área, data de plantio, fertilização, desbastes etc). Além dos dados obtidos no campo, foram usados dados de relatórios, teses e outros trabalhos com teca. Dados climáticos (temperatura máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar (%), precipitação (mm) foram obtidos da estação climatológica automática de Tangará da Serra-MT (14°39' S, 57°25' W, alt: 321,50 m, CD-ROM N° 057, INMET).

Em cada parcela, nas diferentes idades, foi abatida a árvore com DAP em torno da média. Aos 90 meses, a partir da árvore média, foram obtidas 3 classes de diâmetro, média \pm um desvio padrão (limites das classes: inferior $\leq \bar{X} - S$, média $\bar{X} - S < \bar{X} < \bar{X} + S$, e superior $\geq \bar{X} + S$). Obtido o limite para cada classe, foi abatida a árvore média dentro de cada classe. Após o abate, os componentes da árvore (folha, galhos, casca e lenho) foram separados e pesados (matéria fresca). Para a estimativa do peso da matéria seca desses componentes, após a homogeneização, foi retirada uma amostra que foi pesada (matéria fresca) e posta a secar em estufa de circulação forçada a 70 °C, até peso constante. A partir do peso da matéria fresca total de cada compartimento e da relação média entre o peso da matéria seca e fresca de cada amostra, foi obtido o peso da matéria seca total dos respectivos compartimentos para cada árvore abatida.

A partir de dados dendrométricos (DAP e altura), na seqüência de idades 17, 29, 64 e 90 meses, foram ajustadas equações alométricas, com o auxílio do programa Statistica 7.0, que descrevem o relacionamento da biomassa de folhas (M_F), da biomassa de galhos + tronco (fuste) (M_T) e altura (m) em função do DAP (Landsberg & Waring, 1997; Sands & Landsberg, 2002). Para a obtenção da equação alométrica que descreve o relacionamento da massa de folhas com o DAP, é necessário o conhecimento de toda a biomassa de folhas produzida pela planta até o momento da quantificação.

Para tanto, no caso da teca (espécie caducifólia) assumiu-se que a taxa de queda de “litter” é igual 100 % do valor da biomassa de folhas. A partir desta taxa e com a biomassa atual de folhas nas árvores, calculou-se a biomassa total de folhas (M_F) produzidas. As relações alométricas de cada componente foram ajustadas mediante o modelo $M_i = aDAP^b$, onde M_i é a variável do componente i (folhas, fuste e altura), DAP o diâmetro na altura do peito e a e b os parâmetros do modelo. O ajuste dos modelos não-lineares foi feito utilizando o software Statistica 7.0.

A determinação da AFE foi realizada nas árvores utilizadas para as avaliações dendrométricas para as idades 17 e 90 meses. A determinação da área foliar foi feita mediante a coleta de seis a oito folhas em cada árvore abatida por classe de diâmetro, posteriormente a área foliar individual de cada limbo foliar foi medida com o integrador eletrônico de área foliar da marca LiCor, Mod. LI-3100. Medida a área, as folhas foram secas em estufa para obtenção da massa seca. A área foliar foi dividida pela massa seca da amostra, obtendo-se assim a área foliar específica (AFE) em m^2/kg de massa seca de folhas. O valor da AFE, juntamente com a massa seca total de folhas de cada árvore e a respectiva área útil, permitiu o cálculo da área de folhas (m^2) por área de solo (m^2), ou seja, o índice de área foliar (IAF m^2/m^2).

A densidade da madeira foi determinada dividindo-se a biomassa de lenho pelo respectivo volume. A fração de galhos e casca (F_{gc}) em relação a biomassa da parte aérea, excluindo as folhas, foi obtida a partir dos dados das avaliações da biomassa dos compartimentos das árvores.

2.2 Calibração do Modelo 3-PG

Os procedimentos utilizados para calibração do modelo foram semelhantes àqueles descritos por Landsberg et al. (2003). A partir das medições das variáveis, previamente descritas, foi possível obter os valores dos parâmetros das equações. Os outros parâmetros foram obtidos a partir de dados da literatura (Tabela 2). Esses parâmetros foram utilizados pelo modelo 3-PG para obter estimativas da biomassa de folhas, IAF, biomassa de fuste (tronco + galhos), volume de lenho, incremento médio anual (IMA) e DAP e compará-las com os valores observados nos povoamentos para as respectivas variáveis.

No caso da teca, manejada com desbastes, o modelo primeiramente foi rodado até a idade do primeiro desbaste. Com os dados de biomassa estimados o modelo foi realimentado, ajustados os dados respectivos ao percentual desbastado e a idade do

povoamento, e rodado até a idade do segundo desbaste. Repetiu-se o procedimento e geraram-se estimativas até a idade atual do povoamento de 7,4 anos.

Tabela 2. Parametrização do Modelo 3-PG com base nas características fisiológicas do sistema de produção da teca para a região de Tangará da Serra - Mato Grosso.

Parâmetro	Unidade	Coefficiente
Partição folha/lenho povoamento jovem	-	1,8
Partição folha/lenho povoamento adulto	-	0,15
Constante do relacionamento entre massa do tronco x Diâmetro	-	0,275
Potência do relacionamento entre massa do tronco x Diâmetro	-	2,019
Fração máxima da produção primária líquida para raízes	-	0,6
Fração mínima da produção primária líquida para raízes	-	0,2
Taxa de queda de “litter” na idade inicial	1/mês	0,0
Taxa de queda de “litter” para plantios em idade adulta	1/mês	0,083
Taxa média de ciclagem radicular	1/mês	0,015
Temperatura mínima para o crescimento	°C	15
Temperatura ótima para o crescimento	°C	25
Temperatura máxima para o crescimento	°C	40
Nível de fertilidade	-	0,9
Resposta estomática ao déficit de pressão do vapor	mbar ⁻¹	0,04
Parâmetro relacionado com disponibilidade de água no solo	-	Variável
Idade máxima do povoamento para computar a idade relativa	ano	25
Condutância máxima do dossel	m/s	0,02
Índice de área foliar em que a condutância do dossel é máxima	m ² /m ²	3,33
Condutância da camada limite do dossel	m/s	0,2
Massa de lenho máxima para cada 1000 árvores/ha	kg/arv	300
Área foliar específica para plantios em idade jovem	m ² /kg	8,5
Área foliar específica para plantios em idade adulta	m ² /kg	13
Interceptação máxima de água pelo dossel	-	0,15
Índice de Área Foliar em que a interceptação de água pelo dossel é máxima	m ² /m ²	3,33
Coefficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel	-	0,47
Idade de fechamento do dossel	ano	2 a 3
Eficiência quântica máxima do dossel	-	0,07
Relação entre Produção Primária Líquida/ Produção Primária Bruta	-	0,47
Fração de galho e casca para plantios em idade inicial	-	0,2
Fração de galho e casca para plantios em idade adulta	-	0,26
Densidade básica mínima – plantios em idade inicial	t/m ³	0,310
Densidade básica máxima – plantios em idade adulta	t/m ³	0,500

2.3 Análises estatísticas para avaliação do Modelo 3-PG

Para cada conjunto de valores simulados e observados, biomassa de folhas, IAF, biomassa de fuste (tronco + galhos), volume de lenho, incremento médio anual (IMA) e

DAP, as seguintes estatísticas foram estimadas para ajudar a analisar o desempenho do modelo: eficiência do modelo (EF), raiz quadrada do erro médio (RQEM), os coeficientes a e b da relação linear entre dados simulados (P_i) e observados (O_i) e o coeficiente de determinação (R^2) (Loague e Green, 1991):

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \cong 1 \text{ e } RQEM = \frac{100}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \cong 0$$

Os valores de EF podem ser negativos ou positivos com um valor máximo igual a 1. Valores negativos indicam que os valores estimados descrevem a tendência dos dados, mas não são melhores que a média das observações. Valores positivos indicam que os valores estimados descrevem os dados observados melhor que a média das observações, o ajuste perfeito é obtido quando EF é igual a 1. O melhor modelo tem EF e R^2 próximos à unidade, RQEM próximo de zero, e a e b não diferentes significativamente de 0 e 1, respectivamente pelo teste t ($t_0 = (\beta_0 - 0)/S_{\beta_0}$ e $t_1 = (\beta_1 - 1)/S_{\beta_1}$).

O procedimento estatístico L&O para testar a identidade de métodos analíticos ($\alpha = 0,05$) também foi aplicado. O procedimento proposto resulta da combinação da análise do coeficiente de correlação linear, do teste t para o erro médio ($t_{\bar{e}} = (\bar{e} - 0)/S_{\bar{e}}$) e do teste F ($F_{(H_0)} = (\beta - \theta)'(Y_1' Y_1)(\beta - \theta)/2QMR \sim F_{\alpha(2, n-2)}$) (Graybill, 1976), no qual os valores de β_0 e β_1 são testado simultaneamente, ou seja, $H_0: \beta' = [0 \ 1]$ para conferir se os valores estimados pelo 3-PG diferem dos valores observados. Baseado nestas informações, o método assume uma regra de decisão para testar a hipótese de identidade entre dois métodos analíticos ou qualquer dois vetores, ou seja, grupos de dados quantitativos (Leite e Oliveira, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As relações alométricas estabelecidas para predição da biomassa de fuste (tronco + galhos), altura, volume e biomassa de folhas acumulada (BFA) em função do DAP foram estatisticamente significativas ($p < 0,001$). Essas relações explicam 92, 90, 92 e 99 % da variação observada para fuste, altura, volume e BFA respectivamente (Figura 2). Os resultados corroboram as amplas observações de que o modelo matemático mais comum em estudos de biomassa é o da forma potencial $y = aX^n$, onde y é a biomassa e x o DAP (Zianis e Mencuccini, 2004). Essas relações são úteis para predição do crescimento e alocação do carbono para folhas e fuste baseada em uma variável simples e fácil de ser medida, o DAP.

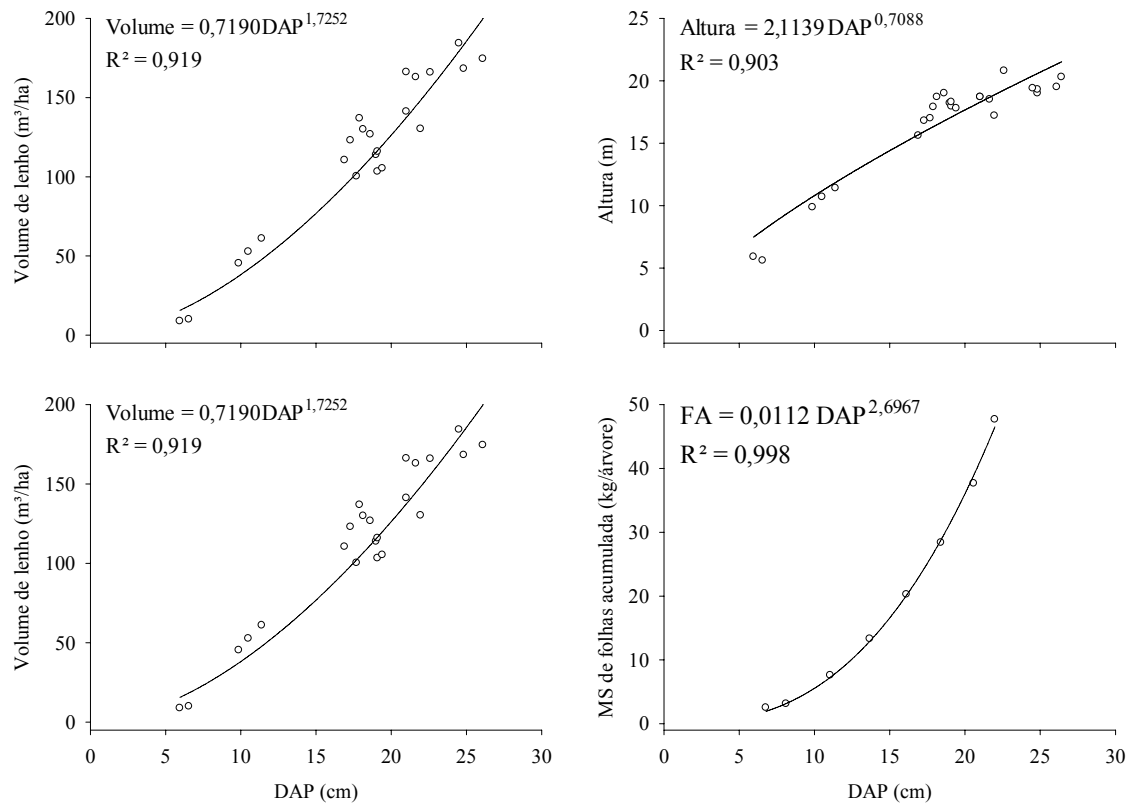


Figura 2. Relações alométricas para biomassa de fuste (tronco + galhos), altura, volume de lenho e matéria seca (MS) de folhas acumulada em função do DAP de árvores de teca, para a região sudoeste do Mato Grosso.

O modelo 3-PG foi calibrado a partir dos ajustes dos valores dos parâmetros relacionados com a eficiência quântica máxima do dossel (α_{Cx}), com a relação das partições de folha e de lenho para DAP igual a 20 cm (pFS_{20}) e com a taxa de queda de “litter” (γF_x) de 100 %, assumindo-se uma taxa constante de 0,083 ao mês, além da inclusão dos demais parâmetros (Tabela 2). O resultado dessa calibração permitiu ajustar os dados estimados pelo 3-PG àqueles observados no campo, considerando as seguintes variáveis: biomassa de folhas, índice de área foliar, biomassa de fuste (tronco + galhos), diâmetro à altura do peito, volume de lenho e incremento médio anual para as idades de 17 a 90 meses (Figura 3).

Usando valores dos parâmetros atribuídos com base no conhecimento da fisiologia de crescimento das árvores com os obtidos através das medições de campo, o 3-PG apresentou estimativas razoáveis para as diferentes variáveis que refletem o crescimento da floresta, considerando o período relativamente curto de simulação (90 meses). O desempenho do 3-PG foi resultante, principalmente, dos ajustes realizados nos parâmetros: α_{Cx} (influencia diretamente as variáveis dendrométricas) e pFS_{20} e γF_x (alteram sensivelmente a biomassa de folhas e, conseqüentemente, o IAF).

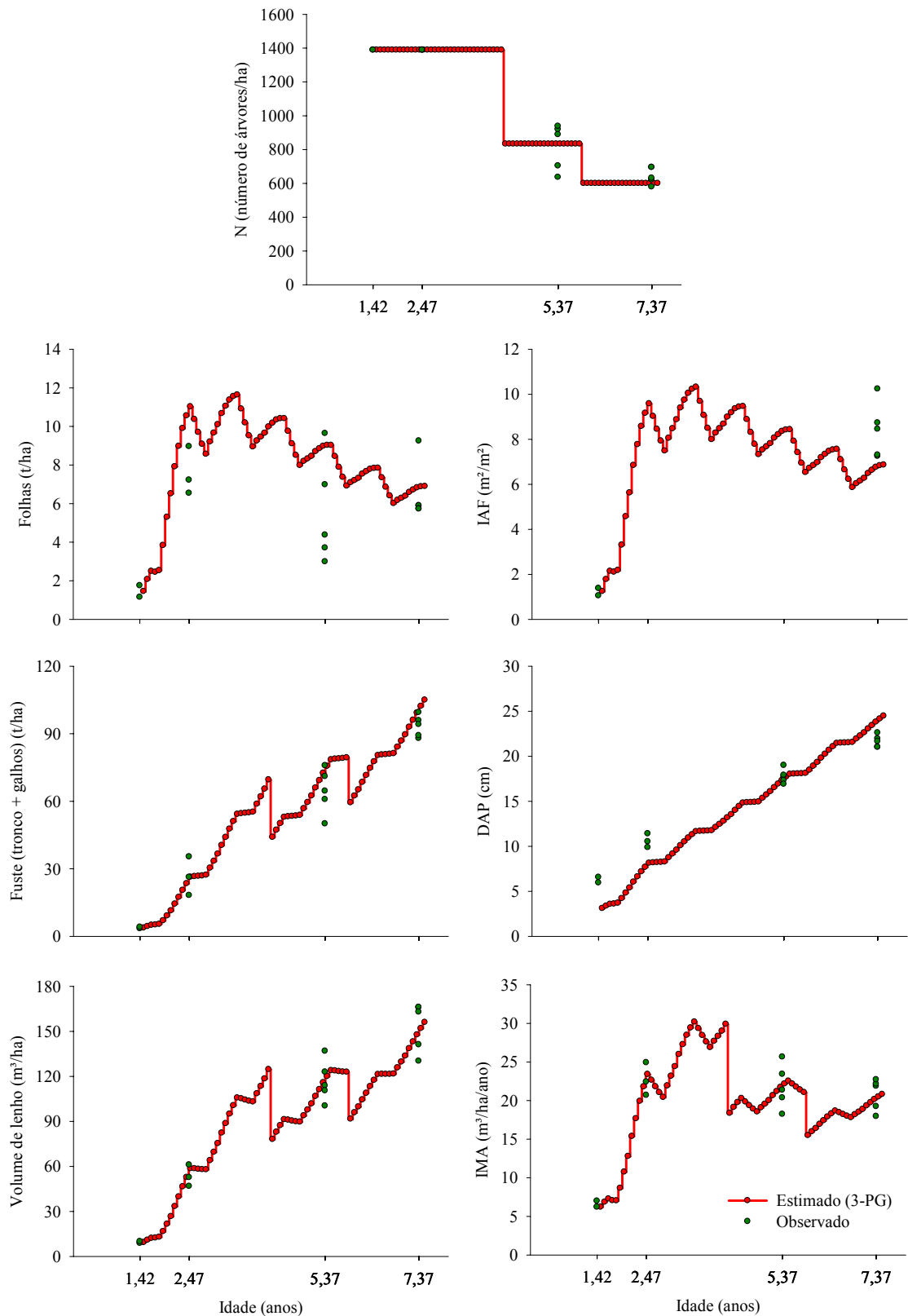


Figura 3. Estimativas da biomassa de folhas, índice de área foliar, biomassa de fuste (tronco + galhos), diâmetro à altura do peito, volume de lenho e incremento médio anual, obtidas pelo modelo 3-PG, nas idades de 1,42 a 7,37 anos, para a região sudoeste do Mato Grosso.

Houve uma subestimativa dos valores de IAF aos 90 meses, embora o IAF observado foi obtido por método destrutivo, ou seja, corresponde à área total de folhas e não necessariamente à área de folhas fotossinteticamente ativa. Para o DAP houve tendência do 3-PG subestimar o valor dessa variável nas idades jovens e de superestimar apenas na idade de 90 meses. Para as demais variáveis as estimativas estão dentro da faixa de valores observados, cujas tendências de crescimento apresentaram-se bem definidas, seguindo o padrão normal de povoamentos equiâneos (Figura 3). Estas estimativas, principalmente o volume de lenho, são corroboradas pelas estimativas feitas utilizando um sistema de equações simultâneas do tipo não linear, ajustado a dados de plantações jovens de taca, localizados na mesma região de Tangará da Serra (MT) em idades inferiores a seis anos (Cruz, 2005 e Cruz et al., 2008).

Os coeficientes da relação linear simples entre valores observados e estimados são apresentados na Tabela 3, de maneira geral há um bom ajuste entre estimado e observado. Os elevados valores de R^2 indicam que os dados estimados descrevem mais de 90 % da variância dos valores observados para fuste, DAP, volume e IMA, e 88 % da variância de biomassa de folhas. Em termos de eficiência, o modelo descreve aproximadamente 96 % dos dados observados de fuste, volume e IMA, 87 % para DAP e apenas 62 % para folhas. A eficiência de um modelo pode ser avaliada também através do cálculo da raiz quadrada do erro médio (RQEM) (Cerri et al., 2007; Smith et al., 1997). Os valores de RQEM, encontrados no estudo, inferiores a 15 % indicam que os valores estimados pelo modelo 3-PG, em geral, foram próximos dos valores observados para fuste, DAP, volume e IMA, e desvios maiores são encontrados para os valores estimados de folhas (RQEM < 27 %).

De acordo com o procedimento estatístico sugerido por Leite e Oliveira (2002), em geral, os valores estimados pelo 3-PG não diferem dos valores medidos (teste F não significativo, $\alpha > 0,05$), simultaneamente, b_0 e b_1 não diferem de 0 e 1, respectivamente (quando $b_1=1$ através de teste t, declividade da equação é igual a 1). Adicionalmente, o teste t para o erro médio ($t_{\bar{\epsilon}}$) indica que as diferenças entre os valores estimados e observados ocorrem ao acaso. Este teste é muito conservador porque leva em consideração uma série de restrições estatísticas (Leite & Oliveira, 2002). Embora o coeficiente de correlação linear entre valores estimados e observados seja relativamente alto ($r = 0,99$), o uso deste coeficiente, separadamente, não é suficiente para decidir sobre a identidade de dois métodos (valores estimados e observados no presente caso) embora, seu valor elevado é corroborado pelos valores do intercepto e coeficiente de regressão iguais a 0 e 1, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros da relação linear entre valores estimados (P_i) e observados (O_i), raiz quadrada do erro médio (RQEM), eficiência (EF) do modelo 3-PG, teste F (F_{H0}) e teste t do erro médio ($t_{\bar{e}}$) para estimativa da biomassa de folhas, fuste (tronco+galhos), DAP, volume e IMA.

Variável	Relação linear entre P_i e O_i ¹			RQEM	EF	Teste L&O ²	
	b_0	b_1	R^2			$F_{(H0)}$	$t_{\bar{e}}$
Folha	0,152 ^(0,94)	1,152 ^(0,66)	0,880	26,9	0,638	1,060 ^(ns)	1,443 ^(ns)
Fuste	-0,068 ^(0,99)	1,099 ^(0,32)	0,990	14,5	0,961	2,359 ^(ns)	2,076 ^(ns)
DAP	-4,757 ^(0,06)	1,288 ^(0,07)	0,992	15,0	0,876	7,723 ^(ns)	1,229 ^(ns)
Volume	2,479 ^(0,48)	0,978 ^(0,53)	0,998	3,2	0,998	0,373 ^(ns)	0,689 ^(ns)
IMA	-0,768 ^(0,38)	1,048 ^(0,31)	0,998	2,6	0,995	0,988 ^(ns)	0,321 ^(ns)

¹Valores sobrescritos entre parênteses referem-se a significância (p) do teste t para $b_0=0$ e $b_1=1$. ² ns= não significativo ($\alpha = 0,05$) pelo teste de Leite e Oliveira (2002).

Os resultados obtidos mostram que o conjunto de parâmetros obtidos é consistente, no entanto, são genéricos, limitando a aplicação prática do 3-PG como ferramenta de manejo florestal para teca. Servem como balizamento para trabalhos futuros, contemplando uma série de dados, de preferência, com um ciclo completo da cultura (± 25 anos) em um mesmo sítio de produção, com refinamento por talhão, de modo a se constituir uma ferramenta efetiva de manejo para teca.

4 CONCLUSÕES

Foi obtida a parametrização do modelo baseado em processos 3-PG para teca na região sudoeste de Mato Grosso. Os resultados obtidos para seis variáveis de saída do 3-PG (biomassa de folhas, IAF, fuste, DAP, volume de lenho e IMA) mostraram estimativas consistentes, no entanto, são limitadas ao período de 90 meses do ciclo da teca.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2008/ABRAF – Brasília, 2009, 120p.
- ALMEIDA, A.C., LANDSBERG, J.J., SANDS, P.J. Parameterisation of 3-PG model for fast growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**. 192, 167–178, 2004.
- ALMEIDA, A.C.; MAESTRI, R.; LANDSBERG, J.J. & SCOLFORO, J.R.S. Linking processbased and empirical forest models in *Eucalyptus* plantations in Brazil. In: AMARO, A.; TOMÉ, M. (Eds.). **Modelling Forest Systems**. CABI, Wallingford, UK, p.63-74, 2003.
- BOOTH, T.H., HONG HAI, P., KHAC HIEU, N., JOVANOVIC, T., LANDSBERG, J., PARSONS, M. **Increasing carbon sequestration in planted forests in Vietnam through the use of genetically improved planting stock, and modelling to quantify the**

- benefits achieved.** Component 2: Carbon inventory and growth prediction. CSIRO Forestry and Forest Products Client Report for the International Greenhouse Partnerships Office, Canberra, 14 pp, 2001.
- CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D. S.; BATJES, N.; MILNE, E.; CERRI, C. C. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. **Agric., Ecos. Envir.**, v.122, p.46-57, 2007.
- CRUZ, J. P.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; CAMPOS, J. C. C. C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. L. R. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, 2008.
- CRUZ, J. P. Crescimento e produção de *Tectona grandis* na região de Tangará da Serra – Mato Grosso. Viçosa: UFV, 2005. 45p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- DREW, T. J.; FLEWELLING, J. W. Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their applications to Monterey pine plantations. **Forest Science**, v. 23, p. 517-534, 1977.
- DYE, P.J. Modelling growth and water use in four *Pinus patula* stands with the 3-PG model. **Southern Africa Forestry Journal**. v. 191, 53–63, 2001.
- ESPREY, L.J., SANDS, P.J. Parameterisation of 3-PG for *Eucalyptus grandis* Plantations in the Summer Rainfall Regions of South Africa, ICFR Bulletin 05/2004. Institute for Commercial Forestry Research, Pietermaritzburg, South Africa, 2004.
- FLORES, F. J., H.; ALLEN, L. Efectos del clima y capacidad de almacenamiento de água del suelo en la productividad de rodales de pino radiata em Chile: un análisis utilizando el modelo 3-PG. **Bosque**, v. 25(3), p.11-24, 2004.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Massachussets: Ouxburg Press. 1976. 704 p.
- LANDSBERG, J. J., R. H. WARING, N. C. COOPS. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. **Forest Ecology and Management**, v. 172, p. 199-214, 2003.
- LANDSBERG, J.J., JOHMSSEN, K.H., ALBAUGH, T.K., ALLEN, A.L., MCKEAND, S.E. Applying 3-PG, a simple process-based model designed to produce practical results, to data from loblolly pine experiments. **Forest Science**. 47, 43–51, 2000.
- LANDSBERG, J. J., R. H. WARING, A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, v. 95, p. 209-228, 1997.
- LANDSBERG, J. J. **Physiological Ecology of Forest Production**. Academic Press, Sydney. 1986. 198p.
- LAW, B.E., WARING, R.H., ANTHONI, P.M., ABER, J.D. Measurement of gross and net ecosystem productivity and water vapour exchange of a *Pinus ponderosa* ecosystem, and an evaluation of two generalized models. **Global Change Biology**. 6, 155–168, 2000.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 33, p.1105-1118, 2002.
- LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating transport models: overview and applications. **Journal of Contaminant Hydrology**, vol. 7, p. 51-73, 1991.
- SANDS, P. J., LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**. V. 163, 273-292, 2002.
- SANDS, P.J. **3-PGPJS vsn 2.4 – a user-friendly interface to 3-PG, the Landsberg and Waring model of forest productivity**. Tecchnical Report, N0 140, CRC for Sustainable

Production Forestry and CSIRO Forestry and Forest Products, Hobart, Tasmania, Australia. 2004a. (em www.landsberg.com.au e www.ffp.csiro.au).

SANDS, P. J. **Adaptation of 3-PG to novel species: guidelines for data collection and parameter assignment**. Technical Report No. 141. CRC for Sustainable Production Forestry and CSIRO Forestry and Forest Products, Hobart, Australia, p. 34, 2004b. (em www.landsberg.com.au e www.ffp.csiro.au).

SILVA, GUALTER GUENTHER COSTA. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água**. Viçosa: UFV, 2006. 102p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SMITH, P.; SMITH, J. U.; POWLSON, D. S.; MCGILL, W. B.; ARAH, J. R. M.; CHERTOV, O. G.; COLEMAN, K.; FRANKO, U.; FROLKING, S.; JENKINSON, D. S.; JENSEN, L. S.; KELLY, R. H.; KLEIN-GUNNEWIEK, K.; KOMAROV, S. A.; LI, C.; MOLINA, J.A.E.; MUELLER, T.; PARTON, W. J.; THORNLEY, J. H. M.; WHITMORE, A. P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, v.81, p.153–225, 1997.

STAPE, J. L., RYAN, M. G., BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *urophyla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**. v. 193, 219–234.

WARING, R.H. A process model analysis of environmental limitations on growth of Sitka spruce plantations in Great Britain. **Forestry**, v.73, p. 65-79, 2000.

WHITEHEAD, D., HALL, G.M.J., WALCROFT, A.S., BROWN, K.J., LANDSBERG, J.J. Analysis of the growth of rimu (*Dacrydium cupressinum*) in South Westland, New Zealand, using process-based simulation models. *Int. J. Biometeorol.* 46, 66, 2002.

ZIANIS, D., MENCUCCINI, M. On simplifying allometric analyses of forest biomass. **Forest Ecology and Management**, v. 187, 311-332, 2004.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO DO SISTEMA PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO DE POVOAMENTOS DE TECA

RESUMO

As recomendações de adubação para a cultura da teca devem ser confiáveis do ponto de vista técnico e, principalmente, propensas a ajustes com bases científicas, garantindo a sustentabilidade da produção. O trabalho foi desenvolvido em povoamentos de teca nas idades de 17, 29, 64 e 90 meses no município de Tangará da Serra-MT. Avaliaram-se a produção de biomassa e sua partição nos componentes das árvores e serapilheira, bem como a composição nutricional, os conteúdos e a partição de nutrientes, além da eficiência de utilização de nutrientes para a produção de lenho e de tronco com o objetivo de aprimorar o subsistema planta do sistema para recomendação de adubação para a cultura da teca (FERTITECA). Foram também realizadas análises físicas do solo e avaliados seus teores de nutrientes, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm e calculadas as quantidades de nutrientes em formas disponíveis ou trocáveis no perfil de solo. A partição de carbono e de macronutrientes minerais para a copa decresceu com a idade das árvores, aumentando no tronco. Equações que modelam esse relacionamento foram desenvolvidas. Foram determinados valores de eficiência de utilização (CUB) de nutrientes para a produção de lenho e de tronco, úteis para a estimativa de demanda nutricional com vistas a obter definida produtividade esperada. O sistema mostrou-se satisfatório quanto às estimativas de produção volumétrica e de biomassa, bem como quanto aos conteúdos estimados de nutrientes no lenho ou no tronco. Simulações mostraram que as doses de nutrientes a serem recomendadas pelo FERTITECA aumentam com a produtividade esperada e com a diminuição dos teores desses nutrientes no solo, no entanto, o sistema deve ser aperfeiçoado para os micronutrientes.

Palavras-Chaves: *Tectona grandis*, balanço nutricional, requerimento de nutrientes, suprimento de nutrientes, modelagem, FERTITECA.

CHAPTER 6

EVALUATION OF THE FERTILIZER RECOMMENDATION SYSTEM FOR TEAK STAND

ABSTRACT

Fertilizer recommendations for teak plantations should be technically reliable and, mainly, adjustable on a scientific base to guarantee the sustainability of the production. A system was developed to estimate recommendable nutrient doses for teak (FERT-TEAK), by means of nutrient balance modeling. This work was developed in 17, 29, 64 and 90-month-old teak stands in Tangará da Serra-MT. The biomass production and partition were evaluated in trees and litter components, as well as the nutritional composition, nutrients contents and partition, besides nutrient use efficiency of the stem and the trunk with the objective of improving the plants subsystem of the fertilizer recommendations system for teak plantations (FERT-TEAK). Physical soil analyses and nutrient content assessment were also performed on the 0-20, 20-40 and 40-60 cm layers and, in addition, the amounts of nutrients in available or exchangeable forms in the soil profile was assessed. The nutrients and carbon partition decreased with the age of the trees, increasing in the trunk. Equations that model this relationship were developed. Values of nutrient use efficiency for the stemwood and trunk production were determined, which is useful to estimate the nutritional demand and the expected productivity. The system was shown satisfactory in the volumetric production and biomass estimation, as well as to the stemwood and trunk nutrient contents. Simulations showed that the recommended doses of nutrients by the FERT-TEAK increase with expected productivity and with soil nutrients content decrease, however, the system should be improved in regard to the micronutrients.

key words: *Tectona grandis*, nutrient balance, nutrient demand, nutrient supply, modeling, FERT-TEAK.

1 INTRODUÇÃO

A teca é cultivada no Mato Grosso com muito sucesso, obtendo-se uma redução do ciclo de produção para apenas 25 a 30 anos, com obtenção de madeira para serraria de ótima qualidade. Dentre os diversos fatores que influenciam o crescimento desta espécie no estado, a nutrição é decisiva para obtenção de alta produtividade, uma vez que as plantas apresentam crescimento rápido e acumulam quantidades elevadas de nutrientes (Oliveira, 2003). Baixas produtividades destes povoamentos muitas vezes estão associadas à utilização de solos de baixa fertilidade e ao suprimento inadequado de nutrientes durante o ciclo (Matricardi, 1989).

Por se tratar de uma cultura introduzida recentemente no país, praticamente não existem as tradicionais tabelas de recomendação de adubação para teca. As tabelas têm seus méritos, mas apresentam a desvantagem de não considerarem que as doses recomendadas dos nutrientes variam continuamente com a produtividade esperada, com o teor e com a capacidade tampão do nutriente no solo (Oliveira, 2002). As tabelas também apresentam forte empirismo envolvido na sua constituição e a falta de perspectivas futuras quanto a uma evolução mais bem sustentada cientificamente (Novais e Alvarez V., 2000). Assim, propõe-se que as recomendações de adubação para povoamentos de teca sejam mais confiáveis do ponto de vista técnico e, principalmente, mais propensas a ajustes com bases científicas, em relação às tabelas, mediante o desenvolvimento e utilização de sistemas para recomendação de adubação baseados em modelos matemáticos (Tomé Júnior e Novais, 2000; Tomé Júnior, 2004, Oliveira, 2003; Oliveira, 2005).

Esses modelos apresentam uma síntese lógica do conhecimento sobre o sistema de produção e fornecem descrições quantitativas dos processos que nele acontecem. A modelagem pode, desta maneira, revelar lacunas no conhecimento vigente e fornecer caminhos para futuras pesquisas (Rao et al., 1982; Dourado Neto et al., 1998a; Novais e Smyth, 1999; Oliveira, 2005). Dessa forma, a modelagem permite a evolução segura de um sistema de recomendação de adubação, por sugerir mudanças cada vez mais refinadas, pela fundamentação lógica de sua constituição.

Quanto à complexidade, os modelos matemáticos, em geral, são classificados em mecânicos e empíricos. Nos modelos mecânicos, os processos são quantificados com base no conhecimento científico atual, tornando-os bastante complexos e demandando dados que, muitas vezes, são dificilmente obtidos na prática. Os modelos empíricos consistem de funções que descrevem relações entre variáveis, sem se

referirem aos processos envolvidos. Um bom modelo deve ser resultante de uma combinação ideal entre mecanicidade (complexidade) e empirismo (simplicidade) e deve demandar poucas informações, as quais não devem ser de difícil obtenção na prática. Sua estrutura deve ser flexível o suficiente para permitir a introdução de novas informações ou idéias, à medida que o conhecimento científico for evoluindo (Monteith, 1996; Passioura, 1996; Dourado Neto et al., 1998a,b).

Para recomendação de adubação, algumas pressuposições podem ser simplificadas e incorporadas a modelos mecanísticos. Essas simplificações normalmente envolvem diminuição no nível de detalhes e desconsideração de processos que quantitativamente são de menor importância, o que diminui bastante a quantidade de informações exigidas para alimentar o modelo (Rao et al., 1982; Geypens & Vandendriessche, 1996). Isso torna o modelo suficientemente simples, para permitir seu entendimento e utilização, mas ainda suficientemente complexo, para permitir sua utilização mais abrangente (Dourado Neto et al., 1998b).

Um método eficiente e de boa exatidão para estimar a necessidade de adubação de uma cultura, o qual satisfaz os princípios das leis gerais da adubação, é o do balanço nutricional. Esse método tem sido recomendado para calcular a necessidade de adubação nitrogenada para a cultura do milho nos Estados Unidos (Stanford, 1973) e, mais recentemente, no Brasil, para calcular a necessidade de adubação para eucalipto (Barros et al., 1995), milho (Carvalho, 2000), tomate (Mello, 2000), arroz irrigado (Raffaelli, 2000), café (Prezotti, 2001; Novais et al., 2002), cana-de-açúcar (Freire, 2001), soja (Santos, 2002), coqueiro (Rosa, 2002), teca (Oliveira, 2003), algodão (Possamai, 2003), pastagem (Santos, 2003) e bananeira (Oliveira, 2005).

A primeira versão do FERTITECA foi desenvolvida por Oliveira (2003), na qual foi considerada uma seqüência cronológica de árvores de teca com 29, 41 e 53 meses, obtidos de diferentes áreas (Tangará da Serra, Rio Claro e Juruena-MT). No presente estudo tem-se uma seqüência de idades 17, 29, 64 e 90 meses na área de Tangará da Serra-MT.

Este trabalho teve como objetivo aprimorar o subsistema planta do sistema para recomendação de adubação para a cultura da teca, por meio do ajuste das relações de biomassa e do conteúdo de nutrientes entre os diferentes compartimentos da planta em uma seqüência de idades de um mesmo site. Modelar o requerimento e o suprimento de nutrientes, de modo que suas doses recomendadas variem continuamente com a produtividade esperada e com os teores e capacidade tampão dos nutrientes no solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de campo estudada situa-se no município de Tangará da Serra-MT na região Sudoeste de Mato Grosso, em áreas pertencentes à Tectona Agroflorestal, LTDA. Na área de estudo, foram avaliadas sete parcelas com 132 árvores cada uma (parcela 1 a 5 plantas adultas com 950,4 m²/parcela e parcelas 6 e 7 plantas jovens com 1188 m²/parcela). Das cinco parcelas adultas, três já foram avaliadas aos 29 meses por Oliveira (2003). As outras duas parcelas foram adicionadas e avaliadas no ano de 2004 pela própria empresa, os dados obtidos foram considerados neste trabalho obtendo-se quatro épocas diferentes de avaliação. Na avaliação aos 90 meses foi feita uma estratificação em três classes de diâmetro a partir da árvore média, média \pm um desvio padrão (limites das classes: inferior $\leq \bar{X} - S$, média $\bar{X} - S < \bar{X} < \bar{X} + S$, e superior $\geq \bar{X} + S$). No entanto conforme apresentado no capítulo 4, não houve diferenças significativas entre as classes de DAP quanto a eficiência de utilização de nutrientes, sendo usado aqui apenas a árvore média.

No campo, foram separados os componentes das árvores (tronco, galhos, folhas e raízes (somente aos 90 meses)) que foram pesados e amostrados; as amostras também foram pesadas. Com base nas árvores médias de cada classe de diâmetro foram calculados os volumes de tronco e de lenho, mediante cubagem rigorosa.

As amostras da serapilheira foram coletadas ao acaso, em quatro amostras, em uma área de 0,25 m², delimitada por um gabarito de 50 x 50 cm, retiradas da região da linha e entrelinha para formar uma amostra composta, sendo três repetições em cada parcela. Após a obtenção do peso total das amostras de manta orgânica esta foi homogeneizada, para obter uma subamostra composta.

As amostras de planta e serapilheira foram secas em estufa a 70°C por 96 horas e depois pesadas. As amostras de tronco foram separadas em casca e lenho. Com os valores de umidade e do peso de matéria fresca das amostras de todos os componentes das árvores, foram obtidos os valores da biomassa seca de cada componente e da serapilheira. As raízes, coletadas na árvore média das plantas com 90 meses, antes de submetidas à secagem passaram por um tratamento prévio, sendo imersas inicialmente em uma solução de HCl 3 % (trinta segundos e, após, em água destilada (trinta segundos) (Bataglia, *et al.*, 1978).

Subamostras do material vegetal e serapilheira foram moídas e mineralizadas. Nos extratos da mineralização nítrico-perclórica foram determinados P (colorimetria), K (fotometria de emissão de chama), S (turbidimetria de sulfatos), Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu (espectrofotometria de absorção atômica). Nos extratos da mineralização sulfúrica

foi determinado o N (Kjeldahl). O B foi determinado, colorimetricamente, após calcinação do material vegetal.

Foram coletadas amostras compostas de solo (0-20, 20-40 e 40-60 cm), a partir de 15 amostras simples por parcela.

Na TFSA foram feitas análises químicas de rotina, determinando-se pH em água, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, zinco, ferro, manganês, cobre, acidez trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), carbono orgânico e P-remanescente. Métodos: N: Kjeldahl; P, K, Zn, Fe, Mn e Cu: Mehlich-1; B: Extrator água quente; S: Fosfato monocálcico em ácido acético; Ca, Mg e Al: KCl 1mol/L; H+Al: acetato de cálcio 0,5 mol/L pH 7,0; MO: Walkley e Black; P-rem: Alvarez V. et al. (1993).

2.1 Variáveis calculadas

O Incremento Médio Anual (IMA) de lenho e de tronco foi calculado a partir do quociente entre o volume do respectivo componente e a idade do povoamento de cada local. As densidades de lenho e de tronco foram determinadas ao se dividir a biomassa desses componentes pelos respectivos volumes, sendo relacionadas com a idade dos plantios, mediante equações de regressão.

Os conteúdos de nutrientes nos componentes da árvore foram calculados em função do produto das respectivas biomassas secas pelos seus teores de nutrientes. Esses conteúdos, por árvore, foram multiplicados pelo número de árvores por parcela e, assim, foram obtidos os conteúdos de nutrientes por hectare.

A biomassa da serapilheira e seu conteúdo de nutrientes por hectare foram obtidos a partir da extrapolação dos valores determinados na área do gabarito (0,25 m²).

A partição de biomassa e de conteúdos de nutrientes nos componentes das árvores e serapilheira foram determinadas em relação aos respectivos somatórios nesses componentes mais os valores referentes à serapilheira. Para obter estimativas da biomassa e dos conteúdos de nutrientes nas raízes, baseou-se nos valores de partição obtidos nas árvores com 90 meses (Tabela 2 do capítulo 4).

O Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) de nutrientes (Barros *et al.*, 1986) para a produção de lenho e de tronco, foi determinado pela relação biomassa/contéudo do nutriente.

Para P, K, Ca, Mg foram obtidos os respectivos balanços no sistema solo (0-60 cm) – planta, fazendo-se uso dos teores de nutrientes nessas camadas e das respectivas taxas de recuperação pelos extratores.

2.2 FERTITECA

Uma descrição completa sobre o sistema FERTI-TECA é encontrada em Oliviera (2003), no sistema a necessidade de Calagem (NC) é obtida pelo método da neutralização do Al^{3+} e da elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (Alvarez V. & Ribeiro, 1999) ou pelo método da Saturação por Bases (Raij *et al.*, 1983. O cálculo da quantidade de nutriente suprida pelo solo é feita em função de seu teor no solo, da taxa de recuperação do nutriente pelo extrator utilizado (Tabela 1) e do volume de solo explorado pelas raízes.

Tabela 1. Valores de taxa de recuperação de nutrientes (TR_{ext}), ou equações que a estimam, pelos extratores utilizados na análise de solo.

Nutriente	Extrator	TR_{ext} ou Equação respectiva	R^2
P	Mehlich-1 ^{1/}	$TR_{ext} = 0,0672821 + 0,0121615P_{rem}^{4/}$	0,681
	Resina ^{2/}	$TR_{ext} = 0,419(P_{rem})^{0,12809}^{4/}$	0,694
K	Mehlich-1 ^{3/}	$TR_{ext} = 0,6555 + 0,0068P_{rem}^{4/}$	0,744
	Resina ^{3/}	$TR_{ext} = 0,6619 + 0,014355P_{rem} + 0,000293(P_{rem})^2^{4/}$	0,754
Ca	KCl 1 mol L ⁻¹ ^{1/}	$TR_{ext} = 0,766$	-
Mg	KCl 1 mol L ⁻¹ ^{1/}	$TR_{ext} = 0,799$	-
S	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ e HOAc ^{1/}	$TR_{ext} = 0,04 + 0,0057P_{rem}^{4/}$	0,955
Zn	Mehlich-1 ^{1/, 2/}	$TR_{ext} = 0,3603 + 0,002339P_{rem} + 0,0001198(P_{rem})^2^{4/}$	0,932
Fe	Mehlich-1 ^{2/}	$TR_{ext} = 0,500$	-
Mn	Mehlich-1 ^{2/}	$TR_{ext} = 0,500$	-
Cu	DTPA ^{1/}	$TR_{ext} = 0,775$	-
B	Água quente ^{1/}	$TR_{ext} = 0,452$	-

^{1/} Mello (2000); ^{2/} Santos (2002); ^{3/} Possamai (2003); ^{4/} P-rem, em mg/L. Para Zn, Fe, Mn e Cu, considerar as mesmas equações para análise feitas por Mehlich-1 ou por DTPA.

O subsistema planta tem como base a produtividade de tronco ou de lenho desejada considerando os sucessivos desbastes, esta produtividade pode ser estimada através do modelo 3-PG (Capítulo 5). Obtida a produtividade e a idade em que se pretende realizar o desbaste, tem-se a estimativa do volume de tronco ou de lenho que multiplicada pela respectiva densidade (estimadas pelo Sistema em função da idade, mediante equações) resulta na biomassa de tronco ou de lenho. A biomassa assim estimada é dividida pelo respectivo valor de CUB de cada nutriente, obtendo-se estimativas das quantidades de nutrientes contidos no tronco ou no lenho. Para obter os

valores de biomassa dos demais componentes das árvores e da serapilheira, bem como seus conteúdos de nutrientes, o FERTITECA utiliza valores das relações alométricas entre esses componentes e o tronco ou o lenho, a saber: casca/tronco, (copa + raiz)/tronco (ou lenho), (copa + raiz + serapilheira)/tronco (ou lenho). Essas relações foram obtidas nas árvores abatidas neste trabalho, e variam com a idade do plantio.

Para cada nutriente, uma vez obtido seu conteúdo na árvore, este é dividido pela taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo como fertilizante, obtendo-se o requerimento do nutriente pela planta (TR_{pl} , Tabela 2). A TR_{pl} é a relação entre a quantidade de nutriente absorvida e a aplicada, e reflete a eficiência de absorção pela planta do nutriente fornecido pelo fertilizante. A TR_{pl} varia com a planta, nutriente, fonte fertilizante, dose aplicada, manejo da fertilização, dentre outros fatores.

No caso do P, espera-se uma variação na TR_{pl} com o P_{rem} em função da localização do fertilizante fosfatado, assim, usa-se um fator de correção ($Fc = 4,2 - 0,04P_{rem}$) para estabelecer o fator de conversão da TR_{pl} do P aplicado a lanço para o P aplicada no sulco em função do P_{rem} dos solos.

Tabela 2. Valores de taxa de recuperação de nutrientes pela planta (TR_{pl}), ou equações que a estimam, utilizados no FERTITECA.

Nutriente	TR_{pl} ou Equação respectiva	R^2
N ^{1/}	0,65	-
P ^{2,4/}	$TR_{pl} = \frac{4,508e^{0,0347 P_{rem}}}{100} \times Fc$	0,837
K ^{3/}	$TR_{pl} = \frac{87,506e^{0,0042Dose\ K}}{100}$	0,735
Ca ^{1/}	0,48	-
Mg ^{1/}	0,57	-
S ^{1,4/}	$TR_{pl} = \frac{9,8 + 0,44P_{rem}}{100}$	-
Zn	0,10	-
Fe	0,10	-
Mn	0,10	-
Cu	0,10	-
B	0,10	-

^{1/} média de plantas jovens e adultas de coqueiro, com base em Rosa (2002); ^{2/} Santos (2002); ^{3/} Santos (2002) modificado, dose K em kg/ha; ^{4/} P-rem, em mg/L e Fc é fator de correção para P aplicado no sulco em relação ao aplicado a lanço.

O balanço de nutrientes é calculado pela comparação das quantidades de nutrientes requeridas pelas plantas (subsistema planta) com aquelas que o solo pode suprir (subsistema solo). Para cada nutriente, caso o requerimento seja maior do que esse suprimento há necessidade de sua adição por meio de fertilização.

O sistema considera o desbaste realizado, calculando um novo balanço nutricional considerando o incremento na biomassa e de seus conteúdos de nutrientes até o desbaste seguinte, bem como o retorno de nutrientes liberados pela decomposição dos resíduos. Caso as quantidades de nutrientes originalmente existentes no solo, ou as quantidades aplicadas, sejam maiores do que o requerimento pela planta para o período até o desbaste seguinte, haverá um saldo de balanço. Este saldo é utilizado nos cálculos do novo balanço, ou seja, entre o desbaste efetivo e o seguinte, como sendo parte do suprimento via solo (Oliveira, 2003).

2.3 Avaliação do subsistema planta do FERTITECA

A avaliação do subsistema planta do FERTITECA foi feita pela comparação de suas estimativas com os valores verificados (em termos da árvore média de cada classe de diâmetro avaliadas). A produtividade desejada é aquela efetivamente verificada em cada classe. As comparações foram feitas para algumas variáveis de crescimento e produção de biomassa, bem como para os conteúdos de macro e micronutrientes no tronco e no lenho. Como critério para avaliar o realismo do modelo, espera-se que a linha simulada passe dentro de um ou dois desvios padrão dos pontos de dados observados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção e partição de biomassa

A produção de biomassa total (raízes + parte aérea + serapilheira) variou de 7,55 t/ha aos 17 meses para 132,32 t/ha aos 90 meses (Tabela 3). Em termos do incremento médio anual de biomassa total, ou seja, de produtividade, em t/ha/ano, tem-se: 17 (5,3), 29 (20,4), 64 (17,4) e 90 (17,6), o maior incremento aos 29 meses deve-se ao fato das parcelas ainda não terem sofrido desbaste, o incremento aos 64 e 90 meses não está levando em consideração a biomassa removida em desbastes realizados aos 50 e 70 meses aproximadamente.

A produtividade assim obtida reflete a produtividade primária líquida média dos plantios estudados, sendo bom indicativo do carbono (C) fixado. Mas, do ponto de vista de produção de teca para obtenção de madeira, interessa saber a partição dessa produção

para o tronco ou o lenho. Observa-se, na Tabela 3, que com a idade do povoamento a partição para copa não diminui como o esperado, comportamento típico em plantios florestais, principalmente como em eucalipto. No caso da teca, após o florescimento (4 a 8 anos) a planta perde sua dominância apical havendo a emissão de uma grande quantidade de galhos o que evita uma redução acentuada na partição para copa. Embora, a partição de tronco aumente de 50 % aos 17 meses para 58 % aos 90 meses.

Tabela 3. Biomassa, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	t/ha					
Folhas	1,45	7,16	5,87	6,50	5,75	1,32
Galhos	-	2,51	6,90	16,65	9,64	3,52
Copa	1,45	9,67	12,77	23,15	15,39	4,11
Lenho	2,91	21,03	50,20	67,55	43,84	12,33
Casca	0,85	3,06	7,35	9,13	6,22	1,69
Tronco	3,76	24,09	57,55	76,68	50,06	13,99
Parte aérea	5,20	33,76	70,33	99,83	65,45	17,74
Raiz	2,34	11,82	17,58	21,96	14,40	3,53
Árvore total	7,55	45,58	87,91	121,79	79,85	21,20
Serapilheira	-	3,82	4,72	10,53	6,75	1,87
Árvore + Serapilheira	7,55	49,40	92,63	132,32	86,60	23,02
	Partição (%)					
Folhas	19,18	14,49	6,34	4,91	6,64	2,95
Galhos	-	5,09	7,45	12,59	11,13	2,50
Copa	19,18	19,58	13,79	17,50	17,77	1,71
Lenho	38,53	42,58	54,20	51,05	50,63	3,40
Casca	11,25	6,19	7,94	6,90	7,18	0,85
Tronco	49,79	48,77	62,13	57,95	57,81	3,29
Parte aérea	68,97	68,35	75,93	75,44	75,58	1,86
Raiz	31,03	23,92	18,98	16,60	16,63	2,50
Árvore total	100,00	92,27	94,91	92,04	92,21	1,53
Serapilheira	-	7,73	5,09	7,96	7,79	1,64
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/}Intervalo de confiança a 5 %.

3.2 Conteúdos e partição de nutrientes

Os conteúdos de nutrientes, bem como as respectivas partições nos componentes das árvores e na serapilheira, são apresentados nas tabelas 4 a 14.

Para obter estimativas da biomassa e dos conteúdos de nutrientes nas raízes, baseou-se nos valores de partição obtidos nas árvores com 90 meses (Tabela 2 do capítulo 4). Desta forma, nas árvores de teca estudadas, a biomassa de raízes foi considerada como sendo igual a 22 % da biomassa da parte aérea, e os conteúdos de nutrientes nas raízes, em relação aos da parte aérea, foram considerados como sendo: N (35 %), P (18 %), K (32 %), S (34 %), Ca (19 %), Mg (40 %), Zn (26 %), Fe (85 %), Mn (78 %), Cu (31 %) e B (20 %).

Os teores de micronutrientes nas raízes, considerando raízes finas, médias e grossas, apresentaram-se muito elevados com grande quantidade de ferro, cobre e Mn. Possivelmente, isto se deve à contaminação de solo nas raízes, mesmo com um tratamento prévio das raízes com uma solução de HCl 3 % (Bataglia, et al., 1978), este não foi efetivo por se tratar de solo muito argiloso. Então, para estimativa do conteúdo nas raízes, utilizaram-se apenas os teores de micronutrientes nas raízes grossas, valores estes mais coerentes. Apesar de que para Fe e Mn, estes ainda encontram-se muito elevados.

Os conteúdos de micronutrientes na serapilheira apresentaram a seguinte ordem: Fe > Mn > Zn > B > Cu. Os teores de nutrientes são superiores aos encontrados nas folhas, com exceção do B. Isto pode ser explicado pelo fato destes elementos apresentarem pouca mobilidade nas plantas e não se deslocarem para os ramos que permaneceram nas árvores durante o período de senescência das folhas (caducifólia), voltando para a superfície do solo através da queda das folhas (ciclo biogeoquímico). A grande quantidade de ferro e manganês, encontrada nas amostras de serapilheira, aproximadamente 600 vezes maior para o Fe e 40 para o Mn, se deve possivelmente à contaminação por óxidos de Fe e Mn presentes no solo, semelhante ao ocorrido com as raízes.

O N está em maior proporção na copa das árvores, que contém, em termos de média geral, 36 % de todo o conteúdo de N dos plantios (árvore mais serapilheira), ficando apenas 22,5 % no tronco, 21,6 % na serapilheira e 20 % nas raízes.

As partições de nutrientes para a casca, principalmente o Ca (22 %), evidenciam a importância de se procurar manter a casca no campo, quando da colheita. Isso já é feito, em escala comercial, por empresas do setor de produção de eucalipto (Oliveira, 2003; Neves 2000; Reis e Barros, 1990).

A menor partição de K na serapilheira pode ser consequência de uma elevada taxa de liberação deste nutriente (Tabela 6). Os baixos teores de K na serapilheira também estão relacionados com sua pequena taxa na ciclagem biogeoquímica,

contrariamente às de Ca. A ciclagem biogeoquímica, de modo geral, é via pela qual os nutrientes de baixa mobilidade na planta são ciclados, uma vez que para esses nutrientes a ciclagem bioquímica torna-se pouca expressiva, contrariamente ao que ocorre para nutrientes de alta mobilidade na planta (Reis e Barros, 1990). Os nutrientes K e Mg, principalmente, dependendo da capacidade de suporte do substrato, são preferencialmente redistribuídos no interior da planta (Nilsson et al., 1995), ratificando os baixos conteúdos na serapilheira observados aqui.

O que se pode observar, de forma geral, para todos os macronutrientes estudados neste trabalho, é que a partição para a copa diminui, e a de tronco aumenta, com a idade do povoamento.

Tabela 4. Conteúdo médio de nitrogênio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	N (kg/ha)					
Folhas	31,60	149,23	125,80	118,40	115,46	25,37
Galhos	-	12,37	27,73	52,53	33,73	10,37
Copa	31,60	161,60	153,53	170,94	149,19	29,51
Lenho	10,44	28,26	70,60	99,05	63,60	21,67
Casca	7,88	20,52	37,93	38,88	30,76	6,76
Tronco	18,32	48,79	108,53	137,93	94,35	26,50
Parte aérea	49,92	210,39	262,06	308,86	243,54	50,30
Raiz	34,94	73,64	91,72	108,10	85,24	15,40
Árvore total	84,86	284,02	353,79	416,97	328,78	65,58
Serapilheira	-	32,88	64,32	150,85	90,35	30,24
Árvore + Serapilheira	84,86	316,90	418,11	567,82	419,13	91,78
	Partição (%)					
Folhas	37,24	47,09	30,09	20,85	27,55	5,33
Galhos	-	3,90	6,63	9,25	8,05	2,03
Copa	37,24	50,99	36,72	30,10	35,59	4,13
Lenho	12,31	8,92	16,89	17,44	15,17	2,51
Casca	9,28	6,48	9,07	6,85	7,34	0,95
Tronco	21,59	15,40	25,96	24,29	22,51	2,79
Parte aérea	58,82	66,39	62,68	54,39	58,11	2,53
Raiz	41,18	23,24	21,94	19,04	20,34	3,68
Árvore total	100,00	89,62	84,62	73,43	78,44	4,75
Serapilheira	-	10,38	15,38	26,57	21,56	5,10
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 5. Conteúdo médio de fósforo, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	P (kg/ha)					
Folhas	3,11	15,39	9,56	10,21	10,08	2,56
Galhos	-	3,61	4,01	10,35	6,36	2,20
Copa	3,11	18,99	13,58	20,56	16,44	3,88
Lenho	2,93	11,02	30,24	52,51	30,18	11,71
Casca	1,62	4,82	5,49	6,46	5,16	1,11
Tronco	4,55	15,83	35,73	58,98	35,34	12,44
Parte aérea	7,66	34,83	49,30	79,53	51,78	15,44
Raiz	2,76	6,27	8,87	14,32	9,32	2,65
Árvore total	10,42	41,10	58,18	93,85	61,10	18,08
Serapilheira	-	4,07	5,74	9,32	6,73	1,50
Árvore + Serapilheira	10,42	45,16	63,92	103,17	67,83	19,75
	Partição (%)					
Folhas	29,87	34,07	14,96	9,89	14,86	5,47
Galhos	-	7,98	6,28	10,03	9,37	1,95
Copa	29,87	42,05	21,24	19,93	24,23	4,75
Lenho	28,10	24,39	47,31	50,90	44,49	5,86
Casca	15,56	10,67	8,59	6,27	7,61	1,80
Tronco	43,66	35,06	55,90	57,16	52,10	4,84
Parte aérea	73,53	77,12	77,14	77,09	76,34	0,83
Raiz	26,47	13,88	13,88	13,88	13,74	2,25
Árvore total	100,00	91,00	91,02	90,96	90,08	1,79
Serapilheira	-	9,00	8,98	9,04	9,92	1,92
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 6. Conteúdo médio de potássio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	K (kg/ha)					
Folhas	21,19	91,54	60,62	81,37	68,46	18,81
Galhos	-	29,66	45,15	107,21	65,44	20,27
Copa	21,19	121,20	105,77	188,58	133,91	33,54
Lenho	27,71	96,12	165,49	187,57	140,60	31,58
Casca	20,56	50,84	76,22	132,09	82,35	26,91
Tronco	48,27	146,96	241,71	319,66	222,95	55,05
Parte aérea	69,46	268,16	347,48	508,24	356,86	85,82
Raiz	44,46	85,81	111,19	162,64	114,19	25,05
Árvore total	113,92	353,98	458,67	670,88	471,05	110,72
Serapilheira	-	12,37	5,52	9,16	8,50	1,99
Árvore + Serapilheira	113,92	366,34	464,19	680,03	479,55	111,35
	Partição (%)					
Folhas	18,60	24,99	13,06	11,97	14,28	3,39
Galhos	-	8,10	9,73	15,77	13,65	3,14
Copa	18,60	33,08	22,79	27,73	27,92	2,97
Lenho	24,32	26,24	35,65	27,58	29,32	2,93
Casca	18,05	13,88	16,42	19,42	17,17	1,41
Tronco	42,37	40,12	52,07	47,01	46,49	2,99
Parte aérea	60,98	73,20	74,86	74,74	74,41	2,42
Raiz	39,02	23,42	23,95	23,92	23,81	2,71
Árvore total	100,00	96,62	98,81	98,65	98,23	0,65
Serapilheira	-	3,38	1,19	1,35	1,77	0,70
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 7. Conteúdo médio de cálcio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	Ca (kg/ha)					
Folhas	33,91	152,67	147,68	231,59	161,48	47,09
Galhos	-	32,04	76,29	142,65	91,60	28,11
Copa	33,91	184,70	223,97	374,24	253,08	67,23
Lenho	3,37	20,71	45,19	50,89	36,62	10,00
Casca	15,06	70,03	179,08	200,81	142,64	41,01
Tronco	18,43	90,74	224,27	251,70	179,26	49,00
Parte aérea	52,34	275,45	448,24	625,94	432,34	112,04
Raiz	20,94	52,34	85,17	118,93	82,15	20,04
Árvore total	73,28	327,78	533,41	744,87	514,49	132,03
Serapilheira	-	54,66	155,55	162,96	135,12	34,26
Árvore + Serapilheira	73,28	382,44	688,95	907,83	649,60	165,06
	Partição (%)					
Folhas	46,28	39,92	21,44	25,51	24,86	5,68
Galhos	-	8,38	11,07	15,71	14,10	3,50
Copa	46,28	48,30	32,51	41,22	38,96	3,91
Lenho	4,60	5,42	6,56	5,61	5,64	0,93
Casca	20,55	18,31	25,99	22,12	21,96	2,18
Tronco	25,15	23,73	32,55	27,73	27,60	2,68
Parte aérea	71,43	72,02	65,06	68,95	66,55	1,92
Raiz	28,57	13,68	12,36	13,10	12,65	2,81
Árvore total	100,00	85,71	77,42	82,05	79,20	4,02
Serapilheira	-	14,29	22,58	17,95	20,80	4,32
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média está ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 8. Conteúdo médio de magnésio, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	Mg (kg/ha)					
Folhas	1,72	14,68	12,81	26,56	16,29	5,23
Galhos	-	5,52	10,42	14,92	11,02	2,80
Copa	1,72	20,20	23,23	41,48	27,31	7,92
Lenho	2,76	17,24	53,56	41,06	35,36	10,55
Casca	1,27	8,74	9,81	15,04	10,20	5,71
Tronco	4,04	25,98	63,37	56,10	45,56	13,28
Parte aérea	5,76	46,18	86,61	97,58	72,87	19,61
Raiz	4,61	18,47	34,64	39,03	29,15	7,57
Árvore total	10,36	64,65	121,25	136,61	102,02	27,17
Serapilheira	-	7,00	8,37	5,96	7,12	1,02
Árvore + Serapilheira	10,36	71,65	129,62	142,57	109,14	28,14
	Partição (%)					
Folhas	16,62	20,49	9,88	18,63	14,92	2,85
Galhos	-	7,70	8,04	10,46	10,10	2,18
Copa	16,62	28,19	17,92	29,09	25,02	3,57
Lenho	26,67	24,06	41,32	28,80	32,40	4,32
Casca	12,27	12,20	7,57	10,55	9,35	2,63
Tronco	38,94	36,26	48,89	39,35	41,74	3,37
Parte aérea	55,56	64,45	66,82	68,44	66,77	2,25
Raiz	44,44	25,78	26,73	27,38	26,71	3,19
Árvore total	100,00	90,23	93,54	95,82	93,47	1,92
Serapilheira	-	9,77	6,46	4,18	6,53	2,06
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 9. Conteúdo médio de enxofre, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	S (kg/ha)					
Folhas	1,46	5,91	3,99	3,95	4,02	0,93
Galhos	-	1,32	1,22	15,05	6,56	3,88
Copa	1,46	7,23	5,21	19,00	10,58	3,68
Lenho	1,21	4,84	5,02	19,48	9,30	3,91
Casca	0,38	1,08	0,85	2,35	1,33	0,42
Tronco	1,59	5,92	5,87	21,84	10,63	4,31
Parte aérea	3,06	13,15	11,08	40,83	21,22	7,86
Raiz	2,08	4,47	3,77	13,88	7,21	2,60
Árvore total	5,13	17,62	14,85	54,72	28,43	10,46
Serapilheira	-	2,84	3,77	16,56	8,47	4,22
Árvore + Serapilheira	5,13	20,46	18,62	71,28	36,91	14,07
	Partição (%)					
Folhas	28,48	28,87	21,45	5,54	10,90	5,36
Galhos	-	6,47	6,54	21,11	17,78	4,74
Copa	28,48	35,35	27,98	26,65	28,68	2,55
Lenho	23,66	23,65	26,96	27,34	25,19	2,15
Casca	7,39	5,28	4,57	3,30	3,62	0,81
Tronco	31,04	28,92	31,53	30,64	28,81	2,08
Parte aérea	59,52	64,27	59,51	57,29	57,49	2,19
Raiz	40,48	21,85	20,23	19,48	19,55	3,67
Árvore total	100,00	86,12	79,75	76,77	77,04	4,61
Serapilheira	-	13,88	20,25	23,23	22,96	4,95
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 10. Conteúdo médio de zinco, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	Zn (g/ha)					
Folhas	35,39	242,93	138,71	226,52	175,05	50,88
Galhos	-	54,00	76,36	192,43	115,84	39,69
Copa	35,39	296,93	215,07	418,94	290,89	77,02
Lenho	16,93	105,17	87,16	132,40	96,48	21,46
Casca	21,01	90,41	92,43	115,13	90,07	17,45
Tronco	37,95	195,57	179,58	247,54	186,55	37,99
Parte aérea	73,34	492,51	394,66	666,48	477,44	109,37
Raiz	19,07	128,05	102,61	173,29	124,13	28,44
Árvore total	92,41	620,56	497,27	839,77	601,57	137,81
Serapilheira	-	131,16	225,86	431,37	283,05	84,70
Árvore + Serapilheira	92,41	751,72	723,13	1271,14	884,62	218,46
	Partição (%)					
Folhas	38,30	32,32	19,18	17,82	19,79	4,89
Galhos	-	7,18	10,56	15,14	13,10	3,35
Copa	38,30	39,50	29,74	32,96	32,88	2,83
Lenho	18,32	13,99	12,05	10,42	10,91	1,79
Casca	22,74	12,03	12,78	9,06	10,18	2,43
Tronco	41,06	26,02	24,83	19,47	21,09	3,94
Parte aérea	79,37	65,52	54,58	52,43	53,97	4,97
Raiz	20,63	17,03	14,19	13,63	14,03	1,29
Árvore total	100,00	82,55	68,77	66,06	68,00	6,27
Serapilheira	-	17,45	31,23	33,94	32,00	6,73
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 11. Conteúdo médio de ferro, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	Fe (g/ha)					
Folhas	180,98	2.236,82	1.446,26	1.143,38	1.334,71	422,31
Galhos	-	290,70	11.208,26	31.693,95	16.567,94	13.806,61
Copa	180,98	2.527,52	12.654,52	32.837,34	17.902,64	12.213,58
Lenho	1.316,09	794,07	3.969,65	7.016,82	3.996,45	1.680,98
Casca	267,95	3.224,29	6.351,45	1.295,74	3.229,65	1.721,17
Tronco	1.584,04	4.018,36	10.321,10	8.312,56	7.226,10	2.487,19
Parte aérea	1.765,02	6.545,88	22.975,61	41.149,90	25.128,74	13.192,84
Raiz	1.500,27	5.564,00	19.529,27	34.977,41	21.359,43	11.213,91
Árvore total	3.265,29	12.109,87	42.504,89	76.127,31	46.488,17	24.406,75
Serapilheira	-	64.366,71	46.478,55	85.601,83	65.654,00	15.912,05
Árvore + Serapilheira	3.265,29	76.476,58	88.983,44	161.729,15	112.142,18	35.831,31
	Partição (%)					
Folhas	5,54	2,92	1,63	0,71	1,19	1,08
Galhos	-	0,38	12,60	19,60	14,77	6,30
Copa	5,54	3,30	14,22	20,30	15,96	5,39
Lenho	40,31	1,04	4,46	4,34	3,56	6,64
Casca	8,21	4,22	7,14	0,80	2,88	2,13
Tronco	48,51	5,25	11,60	5,14	6,44	7,71
Parte aérea	54,05	8,56	25,82	25,44	22,41	7,69
Raiz	45,95	7,28	21,95	21,63	19,05	6,54
Árvore total	100,00	15,83	47,77	47,07	41,45	14,23
Serapilheira	-	84,17	52,23	52,93	58,55	15,29
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média está ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 12. Conteúdo médio de manganês, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	Mn (g/ha)					
Folhas	54,90	515,07	252,91	336,74	306,88	120,31
Galhos	-	59,00	169,84	750,94	367,76	220,16
Copa	54,90	574,08	422,74	1.087,68	674,64	259,58
Lenho	127,82	74,46	169,91	442,90	236,20	148,49
Casca	31,23	218,13	331,26	242,64	239,09	107,25
Tronco	159,05	292,59	501,16	685,54	475,29	218,60
Parte aérea	213,94	866,66	923,90	1.773,22	1.149,94	440,53
Raiz	166,88	676,00	720,64	1.383,12	896,95	343,61
Árvore total	380,82	1.542,66	1.644,55	3.156,34	2.046,89	784,14
Serapilheira	-	1.454,85	1.363,48	1.877,22	1.582,16	769,79
Árvore + Serapilheira	380,82	2.997,51	3.008,03	5.033,56	3.629,04	1.462,45
	Partição (%)					
Folhas	14,42	17,18	8,41	6,69	8,46	3,26
Galhos	-	1,97	5,65	14,92	10,13	4,45
Copa	14,42	19,15	14,05	21,61	18,59	3,58
Lenho	33,56	2,48	5,65	8,80	6,51	5,03
Casca	8,20	7,28	11,01	4,82	6,59	1,69
Tronco	41,76	9,76	16,66	13,62	13,10	5,39
Parte aérea	56,18	28,91	30,71	35,23	31,69	5,08
Raiz	43,82	22,55	23,96	27,48	24,72	3,96
Árvore total	100,00	51,46	54,67	62,71	56,40	9,04
Serapilheira	-	48,54	45,33	37,29	43,60	9,71
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 13. Conteúdo médio de cobre, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	Cu (g/ha)					
Folhas	20,92	105,89	59,96	73,54	68,47	19,54
Galhos	-	26,90	66,63	113,28	75,40	22,85
Copa	20,92	132,79	126,59	186,82	143,87	31,29
Lenho	20,15	21,98	152,03	193,41	122,23	40,54
Casca	9,93	17,98	88,02	31,75	44,85	36,73
Tronco	30,08	39,96	240,05	225,17	167,07	61,99
Parte aérea	51,00	172,75	366,64	411,99	310,95	82,27
Raiz	15,81	53,55	113,66	127,72	96,39	25,50
Árvore total	66,81	226,30	480,30	539,71	407,34	107,77
Serapilheira	-	52,96	75,44	245,17	135,53	51,31
Árvore + Serapilheira	66,81	279,26	555,74	784,87	542,87	143,50
	Partição (%)					
Folhas	31,31	37,92	10,79	9,37	12,61	6,61
Galhos	-	9,63	11,99	14,43	13,89	3,38
Copa	31,31	47,55	22,78	23,80	26,50	5,27
Lenho	30,16	7,87	27,36	24,64	22,52	4,70
Casca	14,87	6,44	15,84	4,05	8,26	4,23
Tronco	45,02	14,31	43,19	28,69	30,78	6,27
Parte aérea	76,34	61,86	65,97	52,49	57,28	4,59
Raiz	23,66	19,18	20,45	16,27	17,76	1,42
Árvore total	100,00	81,03	86,42	68,76	75,03	6,02
Serapilheira	-	18,97	13,58	31,24	24,97	6,46
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média está ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

Tabela 14. Conteúdo médio de boro, e respectiva partição, em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Componente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	B (g/ha)					
Folhas	20,94	395,40	154,74	179,06	193,14	66,74
Galhos	-	55,00	87,79	351,12	181,50	78,87
Copa	20,94	450,39	242,53	530,17	374,64	97,01
Lenho	49,33	37,64	253,74	1184,68	493,58	348,64
Casca	40,46	125,97	194,51	250,15	178,81	48,00
Tronco	89,78	163,60	448,24	1434,83	672,38	377,93
Parte aérea	110,73	614,00	690,77	1965,00	1047,02	434,43
Raiz	22,15	122,80	138,15	393,00	209,40	86,89
Árvore total	132,87	736,79	828,93	2358,00	1256,43	521,32
Serapilheira	-	85,11	107,53	259,23	160,71	55,15
Árvore + Serapilheira	132,87	821,91	936,46	2617,24	1417,13	560,91
	Partição (%)					
Folhas	15,76	48,11	16,52	6,84	13,63	7,95
Galhos	-	6,69	9,38	13,42	12,81	3,65
Copa	15,76	54,80	25,90	20,26	26,44	7,37
Lenho	37,12	4,58	27,10	45,26	34,83	8,08
Casca	30,45	15,33	20,77	9,56	12,62	3,87
Tronco	67,57	19,91	47,87	54,82	47,45	8,38
Parte aérea	83,33	74,70	73,76	75,08	73,88	2,12
Raiz	16,67	14,94	14,75	15,02	14,78	0,42
Árvore total	100,00	89,64	88,52	90,10	88,66	2,55
Serapilheira	-	10,36	11,48	9,90	11,34	2,73
Árvore + Serapilheira	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/} Intervalo de confiança a 5 %.

3.3 Eficiência de utilização de nutrientes (CUB)

No FERTI-TECA a eficiência de utilização de nutrientes é usada para estimar a demanda pela planta para obtenção de uma definida produtividade esperada. Tal eficiência pode ser expressa pelo coeficiente de utilização biológica (CUB), que consiste no quociente da biomassa produzida pelo seu conteúdo do nutriente, sendo, portanto, essencialmente, o inverso do teor do nutriente. Como na colheita, geralmente é o tronco ou o lenho que saem da área, é fundamental que se utilize valores confiáveis de CUB, para evitar sub ou superestimação dos nutrientes contidos no produto colhido.

No lenho, os valores médios de CUB (Tabela 15) evidenciam que dentre os macronutrientes, o S é o mais eficientemente utilizado pela teca, vindo a seguir P, Mg, Ca, N e K; entre os micronutrientes destaca-se o CUB de Mn, Cu e Zn.

Tabela 15. Coeficiente de utilização biológico (CUB) de nutrientes para produção de lenho (matéria seca de lenho/conteúdo no lenho), em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Nutriente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	CUB (kg/kg)					
N	290	735	728	771	685	109
P	998	1.900	1.987	1.424	1.650	364
K	108	217	304	369	282	49
Ca	873	998	1.105	1.445	1.166	178
Mg	1.054	1.226	959	1.694	1.270	191
S	2.438	4.348	10.000	3.512	5.699	1.623
	CUB (kg/g)					
Zn	183	200	587	517	432	95
Fe	2	32	18	11	16	7
Mn	36	1.811	366	240	569	456
Cu	152	970	332	368	447	145
B	59	591	204	89	224	106

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/}Intervalo de confiança a 5 %.

Os valores de CUB para a produção de tronco são mostrados na Tabela 16. Novamente, os valores médios de CUB obtidos apontam que os nutrientes mais eficientemente utilizados, pela ordem, são: S, P, Mg, N, Ca e K; entre os micronutrientes, destacam-se Cu e Zn.

Os menores valores de CUB encontrados para tronco em relação ao lenho refletem os maiores teores de nutrientes na casca, com destaque para o Ca. De maneira geral há um aumento de eficiência com a idade tanto para tronco quanto para lenho.

Tabela 16. Coeficiente de utilização biológico (CUB) de nutrientes para produção de tronco (matéria seca de tronco/conteúdo no tronco), em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Nutriente	Idade (meses)				Média ^{1/}	IC5% ^{2/}
	17	29	64	90		
	CUB (kg/kg)					
N	210	490	537	594	503	77
P	826	1.516	1.893	1.404	1.512	329
K	80	163	238	251	206	35
Ca	204	265	261	309	270	23
Mg	939	931	923	1.494	1.117	186
S	2.379	4.056	9.800	3.552	5.579	1.592
	CUB (kg/g)					
Zn	100	123	322	313	250	52
Fe	2	6	7	11	7	2
Mn	32	124	161	151	133	37
Cu	125	608	276	356	349	86
B	43	145	131	76	104	24

^{1/} O valor da média esta ponderado pelo número de parcelas: 17 com duas, 29 com três e 64 e 90 meses com cinco parcelas; ^{2/}Intervalo de confiança a 5 %.

3.4 Balanço de nutrientes nos plantios

Os resultados de análises de solo sob os plantios de teca, nas idades de 17, 29 e 90 meses, referentes a P, K, Ca e Mg, para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm (Tabela 6 do anexo), foram divididos pelas respectivas taxas de recuperação pelos extratores químicos utilizados (T_{RExt}, Tabela 1), resultando em estimativas das quantidades capazes de serem supridas pelo solo. De posse dessas e dos conteúdos de P, K, Ca e Mg em componentes das árvores e na serapilheira, foram elaborados os respectivos balanços nutricionais (Tabela 17).

Aos 17 e 29 meses, as quantidades de nutrientes presentes no solo, são muito superiores às quantidades de nutrientes contidas na planta. Nestas idades, os elevados percentuais de nutrientes no solo em relação ao total (solo+planta+serapilheira) do sistema, sendo aos 17 meses: P 68 %, K 85 %, Ca 99 % e Mg 99 %, e aos 29 meses: P 70 %, K 77 %, Ca 96 % e Mg 94 %, indicam boa reserva do solo. Aos 90 meses estes percentuais caem para P 48 %, K 48 %, Ca 92 % e Mg 89 %, portanto, há necessidade de adição desses nutrientes mediante adubação para o crescimento atual e nos próximos ciclos de teca. As quantidades dos nutrientes Ca e Mg aos 90 meses, são suficientes para garantir o crescimento do povoamento, no entanto, observa-se uma maior demanda dos mesmos com a idade, indicando uma necessidade de reposição em idades futuras.

Tabela 17. Balanço de P, K, Ca e Mg em plantios de teca com diferentes idades no Estado do Mato Grosso.

Componente	17 meses				29 meses				90 meses			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
	kg/ha				kg/ha				kg/ha			
Copa	3,1	21,2	33,9	1,7	19,0	121,2	185	20,2	20,6	188,6	374	41
Lenho	2,9	27,7	3,4	2,8	11,0	96,1	21	17,2	52,5	187,6	51	41
Casca	1,6	20,6	15,1	1,3	4,8	50,8	70	8,7	6,5	132,1	201	15
Tronco	4,6	48,3	18,4	4,0	15,8	147,0	91	26,0	59,0	319,7	252	56
Parte aérea	7,7	69,5	52,3	5,8	34,8	268,2	275	46,2	79,5	508,2	626	98
Raiz	2,8	44,5	20,9	4,6	6,3	85,8	52	18,5	14,3	162,6	119	39
Árvore total (At)	10,4	113,9	73,3	10,4	41,1	354,0	328	64,7	93,9	670,9	745	137
Serapilheira (Ser)	-	-	-	-	4,1	12,4	55	7,0	9,3	9,2	163	6
At + Ser	10,4	113,9	73,3	10,4	45,2	366,3	382	71,7	103,2	680,0	908	143
Solo (S):												
00 – 20 cm	18,5	302,5	3054,8	334,5	40,0	455,3	3567	394,4	35,4	211,6	4469	425
20 – 40 cm	2,1	198,2	2498,7	243,3	27,5	362,6	2712	351,8	35,4	176,7	3280	366
40 – 60 cm	2,4	168,2	2114,9	212,9	40,2	392,3	2219	343,7	26,1	230,4	2570	370
Total (0-60 cm)	23,0	669,0	7668,4	790,7	107,8	1210,2	8498	1089,8	97,0	618,7	10319	1161
Balanço: S-(At+Ser)	12,6	551,1	7595,1	780,4	62,6	843,8	8115	1018,1	-6,2	-61,4	9412	1019

3.5 Informações utilizadas para a parametrização do subsistema planta

Com os dados obtidos nas árvores abatidas, abrangendo as idades de 17 a 90 meses, foram ajustadas as equações para densidade do lenho e tronco: $D_{LH} \text{ (kg/m}^3\text{)} = 154,01 + 64,84 \text{ Ln (ID)}$, $R^2 = 0,86$; $D_{TR} \text{ (kg/m}^3\text{)} = 165,77 + 50,73 \text{ Ln (Id)}$, $R^2 = 0,79$, em que ID é a idade em meses. Essas equações permitem estimar a biomassa de lenho e de tronco a partir dos respectivos volumes sólidos.

Para estimar os valores de conteúdos de nutrientes no lenho e no tronco, a partir dos valores das respectivas biomassas, optou-se por usar os valores médios de CUB, para a produção de lenho ou de tronco, das quinze árvores abatidas (Tabela 6 e Tabela 17). É esperado aumento do CUB com a idade do povoamento, em razão da ciclagem bioquímica de nutrientes (Neves, 2000), e decréscimo com o aumento da disponibilidade do nutriente no solo (Barros et al., 1986). A avaliação ao longo de uma seqüência de idades, para o mesmo sítio, contempla o refinamento dos valores de CUB do FERTI-TECA proposto por Oliveira (2003). No entanto, a avaliação das árvores em diferentes classes diamétricas, conforme apresentado no capítulo 4, mostrou não haver diferenças significativas de CUB entre as classes de DAP, exceto para o P, optou-se então, somente pela árvore média. Cabe ressaltar aqui, que esta é uma situação específica do sítio estudado, devido a elevada qualidade do solo.

Obtidas essas estimativas para as árvores de teca estudadas, foram calculadas as relações da biomassa e dos conteúdos de nutrientes entre (copa+raiz)/tronco e (copa+raiz+serapilheira)/tronco. De modo semelhante, foram também calculadas as referidas relações envolvendo o lenho.

As equações ajustadas para as relações da biomassa e dos conteúdos de macronutrientes entre componentes das árvores (Tabela 18 e Tabela 19), especificamente volume de casca/volume de lenho, (casca + raiz + serapilheira)/tronco ou lenho e (copa + raiz)/tronco ou lenho, refletem o aumento da partição de carbono e desses nutrientes minerais para o tronco ou lenho com a idade dos plantios. Permitem, com base nos conteúdos de nutrientes no tronco ou no lenho, estimarem os conteúdos nos componentes das árvores que permanecem na área após a colheita.

A grande variabilidade existente entre as idades, para as relações envolvendo os micronutrientes estudados, não permitiu um ajuste de equações significativas aos dados. Problema que recai novamente sobre a determinação de micronutrientes, associado ao problema de contaminação das raízes como também a serapilheira.

Tabela 18. Coeficientes da equação $\hat{y} = ae^{(bx)}$ para a relação casca/tronco, copa + raiz + serapilheira/tronco e copa + raiz/tronco em função da idade (meses) de plantios de teca, aplicáveis a biomassa e conteúdos de nutrientes.

Variável	Casca/tronco			(Copa+Raiz)/tronco			(Copa+Raiz+Ser.)/tronco		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
Biomassa	0,201	-0,007	0,465	1,149	-0,009	0,704	1,187	-0,007	0,497
N	0,481	-0,005	0,487	5,486	-0,011	0,563	5,242	-0,006	0,247
P	0,468	-0,016	0,871	2,012	-0,015	0,611	2,063	-0,012	0,503
K	0,365	-	-	1,533	-0,005	0,310	1,587	-0,005	0,290
Ca	0,789	-	-	3,172	-0,008	0,354	3,247	-0,004	0,149
Mg	0,373	-0,008	0,180	1,300	-	-	1,442	-	-
S	0,270	-0,010	0,731	2,346	-0,006	0,453	2,198	-	-
Zn	0,466	2,461	0,156	2,361	-6,287	0,124	4,631	-17,128	0,473
Fe	0,434	-	-	4,600	-	-	13,400	-	-
Mn	0,548	-	-	3,900	-	-	7,309	-	-
Cu	0,533	-0,012	0,366	1,970	-	-	2,800	-	-
B	0,331	10,556	0,191	1,360	-	-	1,600	-	-

Tabela 19. Coeficientes da equação $\hat{y} = ae^{(bx)}$ para a relação casca/lenho, copa + raiz + serapilheira/lenho e copa + raiz/lenho em função da idade (meses) de plantios de teca, aplicáveis a biomassa e conteúdos de nutrientes.

Variável	Casca/lenho			(Copa+Raiz)/lenho			(Copa+Raiz+Ser.)/lenho		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
Biomassa	0,260	-0,008	0,462	1,460	-0,011	0,735	1,493	-0,008	0,586
N	0,885	-0,007	0,567	10,065	-0,014	0,632	9,675	-0,009	0,366
P	0,782	-0,021	0,894	3,276	-0,019	0,687	3,332	-0,016	0,604
K	0,590	-	-	2,431	-0,005	0,197	2,514	-0,005	0,195
Ca	4,039	-	-	10,371	-	-	13,152	-	-
Mg	0,348	-	-	1,766	-	-	1,957	-	-
S	0,363	-0,012	0,724	3,149	-0,008	0,592	2,714	-	-
Zn	0,874	5,572	0,180	4,066	-	-	8,911	-15,724	0,405
Fe	2,125	-	-	10,232	-	-	39,392	-	-
Mn	3,310	-	-	29,154	-	-	62,215	-	-
Cu	0,477	-	-	3,162	-	-	4,346	-	-
B	1,207	-	-	4,636	-	-	5,490	-	-

3.6 Aplicação do sistema

De modo a exemplificar o uso do FERTITECA, considerou-se o valor médio de IMA obtido na idade de 90 meses no espaçamento de plantio de 3 x 2,4 m, bem como os respectivos resultados médios das análises de solo das camadas de 0-20 e 20-40 cm, conforme apresentado no capítulo 2, onde 83 % das raízes finas e 77 % para as raízes

médias (2 a 5 mm) encontram-se nesta camada do solo. De modo a facilitar o acompanhamento dos cálculos e estimativas feitas, esses são apresentados, passo a passo:

3.6.1 Subsistema solo

O suprimento estimado de nutrientes do solo (0-20 e 20-40) foi obtido em função dos resultados da Tabela 20 e das respectivas taxas de recuperação pelo extrator (TRext, Tabela 1).

Tabela 20. Resultados de análises de solo sob plantios de teca com 90 meses.

Característica	0-20 cm	20-40 cm	Método
pH H ₂ O	6,57	6,55	-
P (mg/dm ³)	6,21	4,96	Mehlich-1
K (mg/dm ³)	84,11	67,00	Mehlich-1
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	8,56	6,28	KCl 1 mol /L
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	1,40	1,20	KCl 1 mol /L
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	0,00	0,00	KCl 1 mol /L
H+Al (cmol _c /dm ³)	2,52	2,59	Acetato de Ca 0,5 mol/L, pH 7,0
Cu (mg/dm ³)	1,42	1,79	Mehlich-1
Fe (mg/dm ³)	18,21	23,07	Mehlich-1
Zn (mg/dm ³)	3,62	1,99	Mehlich-1
Mn (mg/dm ³)	70,03	63,51	Mehlich-1
Prem-60 (mg/L)	22,99	17,22	-
M.O (dag/kg)	6,62	5,87	Walkley-Black

Os valores de TRext estimados e as quantidades supridas pelo solo constam na Tabela 21.

Tabela 21. Valores de taxa de recuperação de nutrientes pelo extrator e respectivo suprimento de macronutrientes e micronutrientes (kg/ha) por camadas de solo sob povoamento de teca com 90 meses de idades.

Nutriente	0 - 20 cm		20 - 40 cm		0 - 40 cm
	TRext	Suprimento	TRext	Suprimento	Suprimento
Fósforo	0,35	35,4	0,28	35,4	70,8
Potássio	0,79	211,6	0,76	176,7	388,3
Cálcio	0,77	4469,4	0,77	3280,3	7749,7
Magnésio	0,80	424,8	0,80	366,1	790,9
Zinco	0,29	50,1	0,31	25,9	76,0
Ferro	0,50	72,8	0,50	92,3	165,1
Manganês	0,50	280,1	0,50	254,0	534,2
Cobre	0,78	3,6	0,78	4,6	8,2

3.6.1.1 Calagem

Não há Necessidade de Calagem (NC) tanto pelo método de neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ quanto pelo método da saturação por bases. A disponibilidade de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ no solo na camada de 0-20 cm ($9,96 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) é aproximadamente quatro vezes maior que a exigência recomendada para a cultura ($2,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). A saturação por bases é 1,2 vezes maior que a saturação por bases esperada $Ve = 65 \%$. O pH, encontra-se acima de 6,5.

3.6.2 Subsistema planta

3.6.2.1 Cálculos do volume e estimativas de densidade do tronco e de biomassa de componentes das árvores

3.6.2.1.1 Volume do tronco (V_{TR})

Foi obtido através da equação $V_{TR} = IMA_{TR} \left(\frac{ID}{12} \right)$, em que V_{TR} é expresso em m^3/ha , IMA_{TR} é o incremento médio anual do tronco ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$), e ID é a idade do povoamento (em meses). Considerando $IMA_{TR} = 27,0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ e $ID = 90$ meses, obtém-se V_{TR} igual a $202,5 \text{ m}^3/\text{ha}$.

3.6.2.1.2 Densidade do tronco (D_{TR})

Foi obtida mediante a equação $D_{TR} = 165,77 + 50,73 \ln(ID)$, em que D_{TR} é expressa em kg/m^3 . Para a idade de 90 meses, D_{TR} seria de $394 \text{ kg}/\text{m}^3$.

3.6.2.1.3 Biomassa do tronco (B_{TR})

A biomassa do tronco foi obtida pela equação $B_{TR} = V_{TR} \times D_{TR}$, em que B_{TR} é expressa em t/ha. Para 90 meses, sendo $V_{TR}=99,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ e $D_{TR} = 394 \text{ kg/m}^3$, o valor de B_{TR} calculado é de 79,8 t/ha.

3.6.2.1.4 Volume do lenho (V_{LH})

O volume do lenho foi calculado através da equação $V_{LH} = IMA_{TR} (1 - (V_{casca}/V_{tronco}))(ID/12)$, em que: V_{LH} é expresso em m^3/ha , e $V_{casca}/V_{tronco} = 0,235$, conforme verificado nas árvores abatidas. Aos 90 meses, para $IMA_{TR} = 27,0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$, V_{LH} seria de $155,0 \text{ m}^3/\text{ha}$.

3.6.2.1.5 Densidade do lenho (D_{LH})

A D_{LH} (kg/m^3) foi obtida pela equação: $D_{TL} = 154,01 + 64,84\ln(ID)$. Para a idade 90 meses, o valor calculado é de 446 kg/m^3 $D_{LH} (\text{kg/m}^3) = 154,01 + 64,84 \ln (ID)$

3.6.2.1.6 Biomassa do lenho (B_{LH})

A B_{LH} (t/ha) foi calculada por: $B_{TR} = V_{LH} \times D_{LH}$. Aos 90 meses, o valor estimado para B_{LH} é de 69,0 t/ha.

3.6.2.1.7 Biomassa da copa+raiz (B_{CR})

O valor de B_{CR} (t/ha) foi obtido de: $B_{CR} = B_{TR} \times ((\text{copa} + \text{raiz})/\text{tronco})$. Aos 90 meses, o valor estimado para copa + raiz/tronco (y), 0,504, foi obtido da equação: $Y = 1,149e^{-0,009ID}$. Desta forma, nessa idade, B_{CR} é estimada em 40,2 t/ha.

3.6.2.1.8 Biomassa de copa+raiz+serapilheira (B_{CRS})

A B_{CRS} (t/ha) foi obtida da expressão: $B_{CRS} = B_{TR} \times ((\text{copa} + \text{raiz} + \text{serapilheira})/\text{tronco})$. Para a idade de 90 meses, copa + raiz + serapilheira/tronco é estimada em 0,631, tendo sido obtida da equação: $Y = 1,187e^{-0,007ID}$. Logo, o valor estimado de B_{CRS} é de 50,3 t/ha.

3.6.2.1.9 Volume de casca (V_{CA})

O V_{CA} foi obtido por: $V_{CA} = V_{TR} - V_{LH}$. Assim, no exemplo, o valor obtido foi de $47,5 \text{ m}^3/\text{ha}$.

3.6.2.1.10 Biomassa de casca (B_{CA})

A B_{CA} foi obtida por: $B_{CA} = B_{TR} - B_{LH}$. No exemplo, $B_{CA} = 10,7 \text{ t/ha}$

3.6.2.1.11 Biomassa Serapilheira (B_{SER})

A B_{SER} foi obtida por: $B_{SER} = B_{CRS} - B_{CR}$. No exemplo, $B_{SER} = 10,1$ t/ha.

3.6.2.2 Estimativas de conteúdo de nutrientes nos componentes das árvores e na serapilheira

3.6.2.2.1 No tronco

O quociente da B_{TR} (78,2 t/ha) pelo valor de CUB de cada nutriente para produção de tronco forneceu os conteúdos de nutrientes no tronco. Assim, foram obtidos os seguintes valores, expressos em kg/ha (macronutrientes) e em g/ha (micronutrientes): N = 134,4; P = 56,8; K = 318,0; Ca = 258,2; Mg = 53,4; S = 22,5; Zn = 255,3; Fe = 7.518; Mn = 528,5; Cu = 224,3; B = 1053,7.

3.6.2.2.2 Na casca

Com base nesses conteúdos e na relação casca/tronco, foram estimados os conteúdos na casca, expressos em kg/ha (macronutrientes) e em g/ha (micronutrientes): N = 41,0; P = 6,4; K = 115,9; Ca = 203,7; Mg = 9,5; S = 2,4; Zn = 122,4; Fe = 3.264; Mn = 289,5; Cu = 41,1; B = 392,7.

3.6.2.2.3 No lenho

Os conteúdos de nutrientes no lenho foram obtidos pela subtração dos respectivos valores no tronco e na casca, e expressos em kg/ha (macronutrientes) e em g/ha (micronutrientes), são: N = 93,4; P = 50,4; K = 202,1; Ca = 54,5; Mg = 44,0; S = 20,0; Zn = 132,9; Fe = 4.254; Mn = 239,0; Cu = 183,3; B = 661.

3.6.2.2.4 Na copa + raiz + serapilheira

Aos 90 meses, com as equações da Tabela 18, foi obtido para cada nutriente seu conteúdo na copa + raiz + serapilheira. Obtidos com base no conteúdo no tronco e na respectiva relação copa + raiz + serapilheira. Os valores estimados dessas relações são: N (2,98), P (0,72), K (0,99), Ca (2,32), Mg (1,44), S (2,29), Zn (2,64), Fe (13,43), Mn (7,32), Cu (2,80) e B (1,63). Desse modo, os conteúdos de nutrientes na copa + raiz + serapilheira, expressos em kg/ha para macronutrientes e em g/ha para micronutrientes, são: N = 400,1, P = 40,7, K = 315,7, Ca = 597,7, Mg = 77,0, S = 51,3, Zn = 674,1, Fe = 100.995; Mn = 3869, Cu = 628,1 e B = 1721,4.

3.6.2.2.5 Na copa + raiz

Quanto aos conteúdos de nutrientes na copa + raiz, seus valores foram estimados a partir dos valores no tronco e das relações (copa + raiz)/tronco. Estas, aos 90 meses, foram estimadas pelas equações da Tabela 18, resultando em: N (1,98), P (0,54), K (0,96), Ca (1,55), Mg (1,30), S (1,42), Zn (2,20), Fe (4,60), Mn (3,90), Cu (1,97) e B (1,36). Assim, os conteúdos estimados de nutrientes na copa + raiz, nas mesmas unidades utilizadas para tronco, foram: N = 265,6; P = 30,7, K = 306,5; Ca = 401,1; Mg = 69,4; S = 32,0; Zn = 562,2; Fe = 34.583; Mn = 2.061; Cu = 441,8; e B = 1433,1.

3.6.2.2.6 Na serapilheira

A diferença entre os conteúdos estimados nos itens anteriores fornece os conteúdos existentes na serapilheira. Nas mesmas unidades que vem sendo utilizadas, tem-se: N = 134,5; P = 10,0; K = 9,2; Ca = 196,6; Mg = 7,6; S = 19,3; Zn = 112,0; Fe = 66.412; Mn = 1.809; Cu = 186,3; B = 288,3.

3.6.2.2.7 Na árvore

O somatório dos conteúdos de nutrientes estimados para os diferentes componentes, resulta nos conteúdos nas árvores. Estes, expressos em kg/ha (macronutrientes) e em g/ha (micronutrientes) são: N = 400,0; P = 87,6; K = 624,5; Ca = 659,3; Mg = 122,8; S = 54,4; Zn = 817,5; Fe = 42.101; Mn = 2.590; Cu = 666,1; B = 2487 g/ha.

3.6.2.2.8 Nos plantios

Os conteúdos do povoamento (árvore + serapilheira), nessas mesmas unidades, são: N = 534,5; P = 97,5; K = 633,7 kg/ha; Ca = 855,9; Mg = 130,4; S = 73,8; Zn = 929,4; Fe = 108.513; Mn = 4.398; Cu = 852 e B = 2.775.

3.6.2.3 Estimativas do requerimento de nutrientes

O requerimento de nutrientes foi estimado com base nos conteúdos de nutrientes nos plantios (árvore + serapilheira) e em suas taxas de recuperação (TR_{pl} , Tabela 2). Portanto, o requerimento é em termos de dose-equivalente. Desta forma, para o exemplo, os valores estimados de TR_{pl} e o requerimento constam na Tabela 22.

Tabela 22. Taxa de recuperação de nutrientes (TR_{pl}) pelas árvores de teca, aos 90 meses, e respectivas quantidades requeridas.

Nutriente	TR_{pl}	Requerimento	Unidade
N	0,65	822,3	kg/ha
P	0,33	297,0	kg/ha
K	0,76	833,0	kg/ha
Ca	0,48	1.783,1	kg/ha
Mg	0,57	228,8	kg/ha
S	0,19	395,7	kg/ha
Zn	0,10	9.294,4	g/ha
Fe	0,10	1.085.135,2	g/ha
Mn	0,10	43.983,7	g/ha
Cu	0,10	8.524,0	g/ha
B	0,10	27.751,4	g/ha

3.6.2.4 Balanço nutricional e recomendação de adubação

O balanço nutricional é feito pela comparação das quantidades de nutrientes supridas pelo solo (0-40 cm, Tabela 21) com aquelas requeridas pelas árvores (Tabela 22). Para Ca e Mg, como se parte da premissa que a cultura da teca apresenta sensibilidade a acidez do solo, as quantidades desses dois nutrientes veiculadas pela calagem, são também consideradas no suprimento. No caso específico do sítio estudado, seus teores no solo são suficientemente elevados, dispensando a prática de calagem. Como observado na Tabela 1 do capítulo 1, devido a aplicação de fosfato natural e superfosfato triplo em datas prévias a coleta aos 90 meses, foi considerado um valor médio de 42 kg/ha de suprimento P através de adubação no balanço nutricional.

Considerando apenas P, K, Ca, Mg e Zn essas informações constam na Tabela 23.

Tabela 23. Balanço de P, K, Ca, Mg e Zn para plantios de teca com 90 meses em Tangará da Serra-MT.

Nutriente	Requerimento (kg/ha)	Suprimento (kg/ha)			Ad. Manutenção (kg/ha)
		Solo	Calagem	Adubação	
P	297,0	70,8	-	42,0	142,2
K	833,0	388,3	-	-	445,0
Ca	1.783,1	7.749,7	-	-	-
Mg	228,8	790,9	-	-	-
Zn	9,3	76,0	-	-	-

3.7 Avaliação do FERTITECA

A avaliação do Sistema FERTITECA foi feita pela comparação de suas estimativas com os valores verificados (em termos da média das árvores avaliadas) nas diferentes idades estudadas. A produtividade desejada foi aquela efetivamente verificada em cada idade. As comparações foram feitas para algumas variáveis de crescimento e produção de biomassa, bem como para os conteúdos de macro e micronutrientes no tronco e no lenho.

Em cada idade, o desvio percentual entre o valor estimado pelo Sistema para cada variável e o observado é mostrado na Figura 1.

Para as variáveis de crescimento e produção de biomassa, os desvios são pequenos, com exceção da biomassa de serapilheira (B_{SER}) e casca (B_{CA}) que foi subestimada aos 29 meses e superestimada aos 64. Sub ou superestimação que, contudo, não acontece aos 17 e 90 meses. Os desvios, para mais ou para menos, verificados sinalizam a importância de se proceder a trabalhos visando a melhoria das funções utilizadas pelo Sistema para estimar as variáveis de crescimento e produção de biomassa.

Para os conteúdos de nutrientes, percebe-se, pela Figura 1, que os maiores desvios ocorrem, para os micronutrientes catiônicos, especialmente Fe, Mn e Cu. Para Zn e Cu os desvios são menores, tendo o zinco um melhor ajuste. Para os demais nutrientes, os conteúdos estimados pelo Sistema, no tronco ou no lenho, desviaram dos observados em magnitude inferior a 20%. Os resultados podem ser considerados satisfatórios para macronutrientes, contudo o aperfeiçoamento do Sistema é necessário aos micronutrientes.

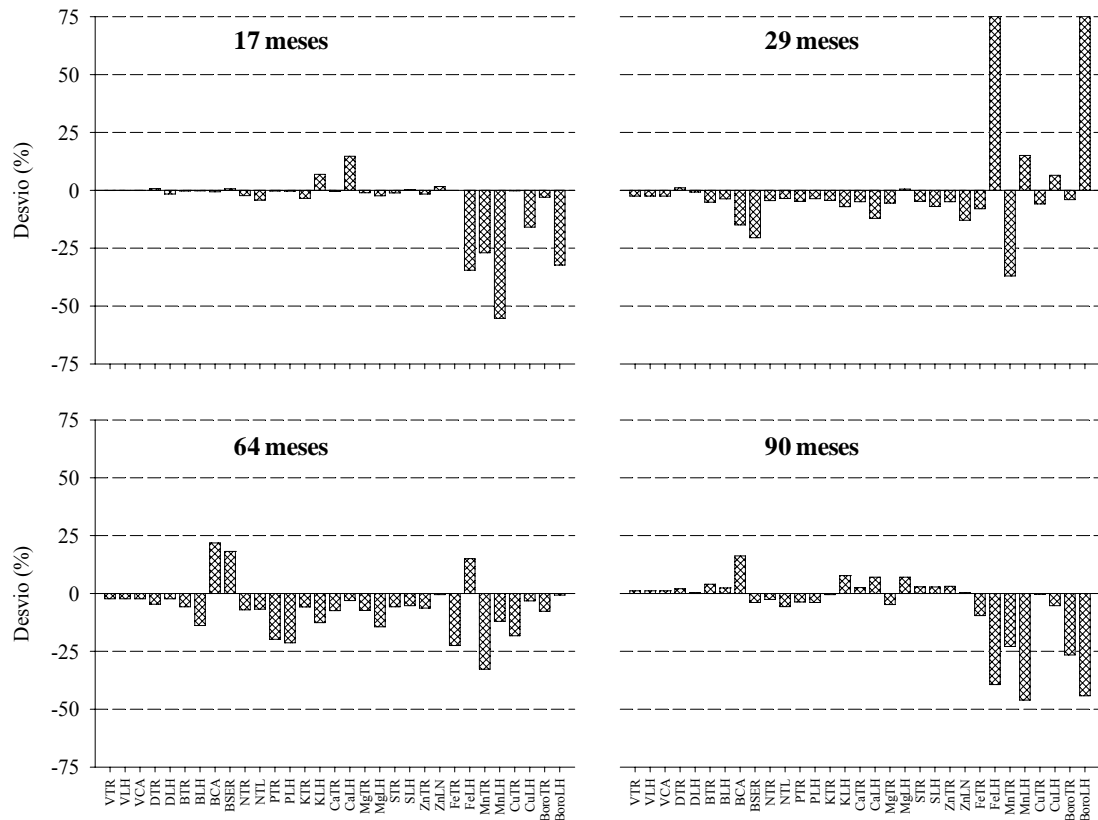


Figura 1. Desvio percentual entre os valores estimados pelo FERTITECA e observados em plantios de teca com 17, 29, 64 e 90 meses em Tangará da Serra-MT, para algumas variáveis de crescimento e produção de biomassa, bem como para os conteúdos de macro e de micronutrientes no tronco (TR) e no lenho (LH).

4 CONCLUSÕES

Os desvios entre valores estimados pelo FERTI-TECA e observados para biomassa e conteúdo de macronutrientes foram menores que 20%. Entre os micronutrientes, apenas para o zinco obteve-se boas estimativas.

As quantidades dos nutrientes Ca e Mg aos 90 meses, são suficientes para garantir o crescimento do povoamento, no entanto, observa-se um aumento da demanda destes nutrientes com a idade. A demanda por P e K é superior ao suprimento pelo solo sendo necessária a reposição via adubação.

O FERTI-TECA permite recomendar fertilizantes e corretivos de forma mais adequada, integrada e com melhor fundamentação teórica do que as tabelas, pois, contabiliza a influência e as variações de maior número de fatores relacionados à resposta da cultura à adubação. Contudo, o Sistema precisa ser aperfeiçoado em futuras versões e ter seu desempenho avaliado em outras condições edafoclimáticas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N. F., NEVES, J. C. L., NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba. IPEF, p.269-286, 2000.
- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F. FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. **Análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 31p. (circular, 87).
- DOURADO NETO, D.; TERUEL, D. A.; REICHARDT, K.; NIELSEN D.R.; FRIZZONE, J. A. & BACCHI, O. O. S. Principles of crop modelling and simulation I: uses of mathematical models in agricultural science. **Sci. Agric.**, v.55, p.46-50, 1998a.
- DOURADO NETO, D.; TERUEL, D. A.; REICHARDT, K.; NIELSEN D. R.; FRIZZONE, J. A. & BACCHI, O. O. S. Principles of crop modelling and simulation II: The implications of the objective in model development. **Sci. Agric.**, v.55, p.51-57, 1998b.
- CARVALHO, F. T. **Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho**. Viçosa: UFV, 2000. 93p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- FREIRE, F. J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. Viçosa: UFV, 2001. 87p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.F.) cultivada na grande Cáceres – Mato Grosso**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2989. 130p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, 1989.
- MELLO, M. S. **Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizantes para a cultura de tomate**. Viçosa: UFV, 2000. 107p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2000.
- MONTEITH, J. L. The quest for balance in crop modeling. **Agron J.**, 88:695-697, 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: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.
- NILSSON, L.O., HUTTL, R. F., JOHANSSON, U. T., JOCHHEIM, H. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems- present status and future research directions. **Plant and Soil** v.168/169, p.5-13, 1995.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C. C.; SOUZA, A. L.; COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 51-59, 2001.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H. Sistemas de interpretação de análise de solo e recomendação de fertilizantes: muito simples ou muito complexo. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 8., Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 6., Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 3., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, SBCS; UFSM, 2000. 1 CD-ROM.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R. F., SMITH, T. J., BARROS, N. F. A natureza não tem palito de fósforo! Queima rápida ou mineralização lenta (nem sempre tão lenta) de resíduos florestais? **Boletim Informativo SBCS**, n.23, p.22-29, 1998.
- OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS R. F.; ALVAREZ V., V. H.; Cantarutti, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.131-143, 2005.
- OLIVEIRA, J. R. V. de. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca – NUTRITECA**. Viçosa: UFV, 2003.

- 76p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- OLIVEIRA, F. H. T. Sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 78p. (Tese de Doutorado).
- PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? **Agron J.** v. 88, p. 690-694, 1996.
- POSSAMAI, J. M. **Sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do algodoeiro.** Viçosa: UFV, 2003. 80p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2003.
- PREZOTTI, L. C. **Sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do café arábica.** Viçosa: UFV, 2001. 93p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001.
- RAFFAELI, V. **Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes para arroz irrigado.** Viçosa: UFV, 2002. 76p. (Tese de Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2002.
- RAIJ, B. VAN.; CAMARGO, A. P.; CANTARELLA, H. & SILVA, N. M. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, v. 42, p. 149-156. 1983.
- REIS, M. G. F. & BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- ROSA, G. N. G. P. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do coqueiro.** Viçosa: UFV, 2002. 76p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2002.
- SANTOS, F. C. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja.** Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2002, 64p.
- SANTOS, H. Q. **Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagens para bovinos de corte.** Viçosa: UFV, 2003. 142p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2003.
- SILVA, L. F. C. **Necessidade de adubação pós-desbaste, baseada no balanço nutricional de povoamentos de eucalipto.** Tese (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1999, 62 p.
- STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. **Journal Environmental Quality**, 2:159-166, 1973.
- TOMÉ JÚNIOR., J. B. **Uma nova abordagem nas recomendações de adubação.** Viçosa: UFV, 2004. 133p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2004.
- TOMÉ JÚNIOR, J. B.; NOVAIS, R.F. Utilização de modelos como alternativa às tabelas de recomendação de adubação. **Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, 25:8-1, 2000.

CONCLUSÕES GERAIS

Os teores de nutrientes no solo não diferiram entre os pontos de coleta: linha de plantio entre árvores (LP), na entre linha destas mesmas árvores (EL) e linha de plantio entre os desbastes (LD), exceto para o Mg, na camada de 0 a 10 cm de profundidade sugerindo uma possível depleção deste elemento na camada superficial.

O fósforo e o enxofre são os nutrientes com maior eficiência de utilização para formação de área radicular em plantios de teca, no município de Tangará da Serra-MT.

As relações entre a produção de biomassa de raízes e da parte aérea e entre a área superficial de raízes finas com a área foliar em *Tectona grandis* indicam eficiência de mesma ordem de magnitude quanto à utilização do C na produção de superfícies para aquisição dos recursos radiação solar, água e nutrientes.

Independentemente do componente da planta, o Ca é o nutriente mais acumulado, enquanto que o K é o nutriente mais acumulado no lenho e nutriente de maior eficiência de utilização (CUB) nas árvores de teca foi o S.

O sistema de colheita da madeira com casca resulta em maiores exportações de nutrientes em relação à colheita de madeira sem casca. A permanência da casca no campo, por ocasião da colheita, contribui para a ciclagem de nutrientes, pois ela representa 16 % do conteúdo total dos nutrientes da teca.

Foi obtida a parametrização do modelo baseado em processos 3-PG para teca na região sudoeste de Mato Grosso. Os resultados obtidos para seis variáveis de saída do 3-PG (biomassa de folhas, IAF, fuste, DAP, volume de lenho e IMA) mostraram estimativas consistentes, no entanto, são limitadas ao período de 90 meses do ciclo da teca.

Os desvios entre valores estimados pelo FERTI-TECA e observados para biomassa e conteúdo de macronutrientes foram menores que 20 %. Entre os micronutrientes, apenas para o zinco obteve-se boas estimativas.

As quantidades dos nutrientes Ca e Mg aos 90 meses, são suficientes para garantir o crescimento do povoamento, no entanto, observa-se um aumento da demanda destes nutrientes com a idade. A demanda por P e K é superior ao suprimento pelo solo sendo necessária a reposição via adubação.

ANEXO

Tabela 1. Idade, intensidade dos desbastes e histórico das adubações realizadas em sete parcelas instaladas em povoamentos de teca no município de Tangará da Serra-MT.

Parcela	Talhão	Plantio Espaçamento	Idade (mês)	Desbastes		Adubações
				Época	%	
A01	AL C4a 14°44'47" S 57°52'23" O	10/10/1998 3 x 2,4 m Alt. 288 m	92	1° Nov./2002	22	- 200 kg/ha de Super Triplo aplicado com sulcador na entre linha de plantio onde houve o tráfego dos tratores para retirada da lenha do desbaste (18 a 21/07/2006). - 400 kg/ha de ARAD (fosfato natural) aplicado com sulcador na entre linha de plantio onde houve o tráfego do trator para retirada da lenha do desbaste (25/07 a 11/08/2005). - 120 g de Super Triplo por planta com aplicação manual em duas covetas laterais a 70 cm da planta (Abril/2005). - 5 toneladas de cama de aviário (07/2005).
				2° Mar./2004	39	
				3° Fev./2006	33	
A02	AL C1 14°43'97" S 57°51'93" O	05/11/1998 3 x 2,4 m Alt. 292 m	91	1° Jan./2003	25	- 443 kg/ha de ARAD (fosfato natural) aplicado com sulcador na entre linha de plantio onde houve o tráfego do trator para retirada da lenha do desbaste (08/2005). - 180 kg/ha de Super Triplo aplicado com sulcador na entre linha de plantio onde houve o tráfego do trator para retirada da lenha do desbaste (09/2005). - 5 toneladas de cama de aviário (07/2005).
				2° Mar./2004	31	
				3° Fev./2006	33	
A03	AL A2 14°44'01" S 57°50'86" O	03/01/1999 3 x 2,4 m Alt. 230 m	89	1° Jul./2003	31	- 300 kg/ha de Super Triplo aplicado com sulcador na entre linha de plantio onde houve o tráfego do trator para retirada da lenha do desbaste (09/2005). - 10 toneladas de cama de aviário (2003).
				2° Mar./2004	33	
				3° Abr./2006	33	
A04	SJ A1 14°45'06" S 57°53'90" O	10/02/1999 3 x 2,4 m Alt. 358 m	88	1° Out./2003	33	- 90 g de Super Triplo por planta 75 dias após o plantio, aplicado com matraca ao pé da planta.
				2° Abr./2004	33	
				3° Abr./2006	33	
A05	SJ A3 14°45'48" S 57°53'69" O	20/02/1999 3 x 2,4 m Alt. 358 m	88	1° Nov./2003	30	- 90 g de Super Triplo por planta 75 dias após o plantio, aplicado com matraca ao pé da planta.
				2° Abr./2004	33	
				3° Abr./2006	33	
A06	PA B1	05/12/2004 3 x 3 m	17	-	-	
A07	PA A2	15/12/2004 3 x 3 m	17	-	-	

Tabela 2. Valores da soma de quadrados de micro e macronutrientes da análise de variância e X² do teste de Friedman para o efeito do local de coleta (linha de plantio com árvores (LP) na entre linha com árvores (EL) e linha de plantio entre desbastes (LD)) nas parcelas com plantas de 90 meses.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
profundidade 0-10 cm												
Parcela	4	0,009 ^(0,84)	448,1 ^(0,53)	5849 ^(0,21)	33,8 ^(0,01)	1,48 ^(0,00)	24,6 ^(0,00)	1701 ^(0,00)	29046 ^(0,00)	14,7 ^(0,00)	0,10 ^(0,10)	47,2 ^(0,46)
Local	2	0,002 ^(0,85)	252,3 ^(0,42)	53 ^(0,97)	3,9 ^(0,23)	0,10 ^(0,04)	1,7 ^(0,19)	30 ^(0,60)	67 ^(0,89)	0,2 ^(0,35)	0,01 ^(0,63)	2,1 ^(0,92)
Erro	8	0,056	1055,0	6324	8,8	0,08	3,2	202	2150	0,5	0,07	94,1
X ² (Friedman)	2	1,60 ^(0,44)	2,80 ^(0,25)	0,40 ^(0,82)	1,20 ^(0,55)	4,80 ^(0,04)	6,40 ^(0,04)	0,40 ^(0,82)	1,20 ^(0,55)	0,11 ^(0,95)	0,40 ^(0,82)	0,40 ^(0,82)
profundidade 10-20 cm												
Parcela	4	0,022 ^(0,11)	483,8 ^(0,49)	4387 ^(0,15)	19,3 ^(0,55)	1,83 ^(0,00)	25,4 ^(0,01)	1742 ^(0,00)	55151 ^(0,00)	23,8 ^(0,00)	0,05 ^(0,15)	16,5 ^(0,03)
Local	2	0,007 ^(0,24)	225,6 ^(0,46)	1520 ^(0,27)	2,2 ^(0,83)	0,01 ^(0,87)	1,2 ^(0,58)	66 ^(0,17)	1361 ^(0,42)	0,1 ^(0,15)	0,01 ^(0,35)	0,9 ^(0,61)
Erro	8	0,016	1040,5	3904	46,9	0,29	7,9	118	5609	0,2	0,04	7,1
X ² (Friedman)	2	2,80 ^(0,25)	0,32 ^(0,85)	2,63 ^(0,27)	0,40 ^(0,82)	0,40 ^(0,82)	1,60 ^(0,44)	1,60 ^(0,45)	2,80 ^(0,25)	3,11 ^(0,21)	2,80 ^(0,25)	0,20 ^(0,90)
profundidade 20-30 cm												
Parcela	4	0,015 ^(0,01)	691,3 ^(0,47)	4848 ^(0,23)	6,0 ^(0,64)	1,32 ^(0,00)	18,2 ^(0,03)	2015 ^(0,00)	29433 ^(0,00)	40,0 ^(0,00)	0,06 ^(0,13)	109,8 ^(0,16)
Local	2	0,002 ^(0,17)	338,5 ^(0,42)	982 ^(0,52)	3,7 ^(0,49)	0,01 ^(0,75)	0,2 ^(0,92)	17 ^(0,53)	1053 ^(0,38)	0,0 ^(0,63)	0,01 ^(0,60)	18,6 ^(0,51)
Erro	8	0,004	1407,4	5575	18,8	0,18	7,8	99	3820	0,1	0,05	100,8
X ² (Friedman)	2	2,80 ^(0,25)	0,78 ^(0,68)	4,80 ^(0,09)	0,40 ^(0,82)	1,60 ^(0,25)	0,40 ^(0,82)	1,20 ^(0,55)	1,20 ^(0,55)	0,32 ^(0,85)	1,20 ^(0,55)	0,57 ^(0,75)
profundidade 30-40 cm												
Parcela	4	0,013 ^(0,00)	124,1 ^(0,45)	3096 ^(0,35)	8,3 ^(0,02)	2,19 ^(0,00)	4,9 ^(0,00)	2806 ^(0,00)	52861 ^(0,01)	20,7 ^(0,00)	0,05 ^(0,09)	406,7 ^(0,00)
Local	2	0,001 ^(0,34)	55,5 ^(0,44)	164 ^(0,87)	2,6 ^(0,08)	0,01 ^(0,85)	0,1 ^(0,91)	45 ^(0,56)	3918 ^(0,38)	0,1 ^(0,37)	0,01 ^(0,23)	73,3 ^(0,08)
Erro	8	0,002	242,1	4801	3,0	0,20	0,9	289	14500	0,3	0,03	85,6
X ² (Friedman)	2	2,00 ^(0,37)	2,38 ^(0,30)	2,80 ^(0,25)	4,80 ^(0,09)	0,40 ^(0,82)	0,40 ^(0,82)	0,11 ^(0,95)	5,20 ^(0,07)	3,60 ^(0,17)	3,26 ^(0,20)	6,00 ^(0,05)
profundidade 40-60 cm												
Parcela	4	0,002 ^(0,37)	85,3 ^(0,45)	2903 ^(0,26)	7,2 ^(0,00)	2,86 ^(0,00)	3,2 ^(0,00)	1744 ^(0,00)	41863 ^(0,02)	15,8 ^(0,00)	0,03 ^(0,23)	1078,4 ^(0,00)
Local	2	0,001 ^(0,47)	41,7 ^(0,41)	309 ^(0,72)	0,1 ^(0,69)	0,05 ^(0,35)	0,1 ^(0,33)	59 ^(0,36)	3588 ^(0,43)	0,1 ^(0,75)	0,01 ^(0,36)	5,5 ^(0,77)
Erro	8	0,003	166,7	3538	1,5	0,17	0,4	202	15163	0,7	0,04	81,5
X ² (Friedman)	2	0,95 ^(0,62)	0,33 ^(0,85)	1,60 ^(0,45)	0,40 ^(0,82)	1,20 ^(0,55)	2,21 ^(0,33)	1,60 ^(0,45)	0,40 ^(0,82)	1,60 ^(0,45)	2,00 ^(0,37)	0,00 ^(1,00)
profundidade 60-100 cm												
Parcela	4	0,001 ^(0,37)	5,9 ^(0,05)	7029 ^(0,50)	7,8 ^(0,00)	2,71 ^(0,00)	2,5 ^(0,28)	1548 ^(0,00)	51995 ^(0,00)	12,0 ^(0,00)	0,00 ^(0,77)	1727,4 ^(0,00)
Local	2	0,001 ^(0,57)	1,3 ^(0,25)	552 ^(0,87)	0,1 ^(0,55)	0,03 ^(0,32)	0,5 ^(0,58)	37 ^(0,65)	2592 ^(0,38)	0,0 ^(0,88)	0,01 ^(0,33)	9,5 ^(0,69)
Erro	8	0,002	3,2	15501	0,5	0,09	3,2	329	9399	0,2	0,02	97,5
X ² (Friedman)	2	0,32 ^(0,85)	2,00 ^(0,37)	0,40 ^(0,82)	1,20 ^(0,55)	2,00 ^(0,37)	2,84 ^(0,24)	1,20 ^(0,55)	2,80 ^(0,25)	1,20 ^(0,55)	0,33 ^(0,85)	1,60 ^(0,55)

* Valores sobrescritos entre parênteses referem-se a significância (p).

Tabela 3. Valores da soma de quadrados de características químicas do solo da análise de variância X² do teste de Friedman para o efeito do local de coleta (linha de plantio com árvores (A) na entre linha com árvores (E) e linha de plantio entre desbastes (N)) nas parcelas com plantas de 90 meses.

FV	GL	pH	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	MO	P-rem
profundidade 0-10 cm									
Parcela	4	0,69 ^(0,00)	11,97 ^(0,03)	27,99 ^(0,02)	27,99 ^(0,02)	12,44 ^(0,19)	653,80 ^(0,01)	38,93 ^(0,01)	36,98 ^(0,48)
Local	2	0,02 ^(0,63)	2,62 ^(0,20)	4,49 ^(0,21)	4,49 ^(0,21)	7,36 ^(0,16)	90,62 ^(0,24)	2,00 ^(0,50)	1,51 ^(0,92)
Erro	8	0,20	5,21	9,54	9,54	12,51	211,14	10,58	76,90
X ² (Friedman)	2	2,80 ^(0,25)	2,33 ^(0,31)	1,20 ^(0,55)	1,20 ^(0,55)	2,80 ^(0,25)	1,20 ^(0,55)	0,78 ^(0,68)	0,40 ^(0,82)
profundidade 10-20 cm									
Parcela	4	0,39 ^(0,02)	9,25 ^(0,00)	22,58 ^(0,54)	22,58 ^(0,54)	9,34 ^(0,86)	681,15 ^(0,00)	35,09 ^(0,05)	59,22 ^(0,14)
Local	2	0,05 ^(0,31)	0,44 ^(0,37)	2,49 ^(0,84)	2,49 ^(0,84)	1,14 ^(0,93)	35,41 ^(0,45)	4,19 ^(0,45)	0,71 ^(0,95)
Erro	8	0,14	1,56	54,12	54,12	60,42	159,37	18,83	51,08
X ² (Friedman)	2	1,20 ^(0,55)	1,33 ^(0,51)	0,40 ^(0,82)	0,40 ^(0,82)	1,20 ^(0,55)	1,20 ^(0,55)	2,84 ^(0,24)	1,20 ^(0,55)
profundidade 20-30 cm									
Parcela	4	0,29 ^(0,04)	2,53 ^(0,57)	4,81 ^(0,77)	4,81 ^(0,77)	1,65 ^(0,98)	258,58 ^(0,29)	38,64 ^(0,04)	206,76 ^(0,01)
Local	2	0,05 ^(0,27)	1,30 ^(0,48)	3,93 ^(0,51)	3,93 ^(0,51)	1,11 ^(0,89)	139,42 ^(0,26)	4,75 ^(0,41)	2,60 ^(0,83)
Erro	8	0,14	6,45	21,23	21,23	36,48	346,14	19,10	54,03
X ² (Friedman)	2	2,80 ^(0,25)	0,33 ^(0,85)	0,40 ^(0,82)	0,40 ^(0,82)	0,00 ^(1,00)	1,20 ^(0,55)	1,00 ^(0,61)	0,00 ^(1,00)
profundidade 30-40 cm									
Parcela	4	0,39 ^(0,01)	14,28 ^(0,44)	9,69 ^(0,02)	9,69 ^(0,02)	31,13 ^(0,31)	553,24 ^(0,29)	39,97 ^(0,03)	98,60 ^(0,06)
Local	2	0,10 ^(0,06)	2,14 ^(0,74)	2,85 ^(0,10)	2,85 ^(0,10)	1,55 ^(0,87)	167,15 ^(0,45)	5,08 ^(0,34)	3,27 ^(0,80)
Erro	8	0,10	27,54	3,63	3,63	43,47	747,75	16,36	56,93
X ² (Friedman)	2	4,53 ^(0,10)	0,67 ^(0,72)	4,80 ^(0,09)	4,80 ^(0,09)	0,40 ^(0,82)	5,20 ^(0,07)	6,00 ^(0,05)	1,60 ^(0,55)
profundidade 40-60 cm									
Parcela	4	0,25 ^(0,22)	6,17 ^(0,39)	10,87 ^(0,00)	10,87 ^(0,00)	9,41 ^(0,27)	713,42 ^(0,16)	38,52 ^(0,04)	121,71 ^(0,00)
Local	2	0,02 ^(0,77)	2,64 ^(0,41)	0,06 ^(0,88)	0,06 ^(0,88)	3,09 ^(0,40)	148,23 ^(0,43)	4,67 ^(0,40)	0,84 ^(0,77)
Erro	8	0,28	10,56	1,97	1,97	11,99	640,95	18,16	45,63
X ² (Friedman)	2	0,40 ^(0,82)	0,95 ^(0,25)	0,11 ^(0,95)	0,11 ^(0,95)	1,20 ^(0,55)	0,40 ^(0,82)	0,82 ^(0,66)	0,32 ^(0,85)
profundidade 60-100 cm									
Parcela	4	0,44 ^(0,03)	18,86 ^(0,12)	13,82 ^(0,00)	13,82 ^(0,00)	16,57 ^(0,17)	2224,85 ^(0,03)	36,40 ^(0,05)	145,78 ^(0,02)
Local	2	0,03 ^(0,56)	5,18 ^(0,30)	0,04 ^(0,72)	0,04 ^(0,72)	5,72 ^(0,29)	310,41 ^(0,30)	4,41 ^(0,42)	0,04 ^(0,93)
Erro	8	0,19	14,72	0,51	0,51	15,59	876,65	18,37	11,34
X ² (Friedman)	2	1,20 ^(0,55)	2,78 ^(0,25)	1,20 ^(0,55)	1,20 ^(0,55)	1,60 ^(0,45)	3,60 ^(0,17)	0,44 ^(0,80)	0,00 ^(1,00)

* Valores sobrescritos entre parênteses referem-se a significância (p).

Tabela 4. Valores calculados da estatística “t” e sua significância (p) para avaliar o efeito da classe de DAP sobre os teores de nutrientes nas plantas das parcelas de teca com de 90 meses.

Classes DAP ⁽¹⁾	Nutrientes											
	N		P		K		Ca		Mg		S	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p
	Folhas											
1-2	1,27	0,24	0,13	0,90	-0,56	0,59	-1,38	0,21	-1,04	0,33	0,61	0,56
1-3	1,60	0,15	0,12	0,91	-1,07	0,31	-0,87	0,41	1,52	0,17	-0,25	0,81
2-3	0,86	0,41	0,00	1,00	-0,30	0,77	0,15	0,89	2,26	0,05	-0,84	0,43
	Galhos											
1-2	1,28	0,24	-0,12	0,91	-0,44	0,67	-0,16	0,88	-0,76	0,47	0,24	0,82
1-3	0,08	0,94	-0,28	0,78	-0,43	0,68	-2,69	0,03	-1,35	0,21	1,01	0,34
2-3	-1,00	0,34	-0,20	0,85	0,12	0,91	-2,64	0,03	-0,46	0,66	2,25	0,05
	Casca											
1-2	0,01	1,00	0,57	0,59	-0,57	0,58	-0,24	0,81	-0,48	0,65	0,00	1,00
1-3	-0,65	0,53	0,21	0,84	-0,89	0,40	-1,10	0,30	-0,56	0,59	-0,63	0,54
2-3	-0,90	0,39	-0,39	0,70	-0,21	0,84	-0,56	0,59	0,13	0,90	-0,89	0,40
	Lenho											
1-2	-0,07	0,94	-0,53	0,61	-1,04	0,33	-0,25	0,81	-0,38	0,71	0,81	0,44
1-3	1,39	0,20	-0,90	0,40	-2,59	0,03	-1,20	0,26	-0,42	0,69	1,67	0,13
2-3	0,92	0,39	-0,45	0,66	0,55	0,59	-0,90	0,40	-0,03	0,98	1,34	0,22

⁽¹⁾ Classes de diâmetro: 1 - inferior ($\leq \bar{X} - S$), 2 - média ($\bar{X} - S > \bar{X} < \bar{X} + S$) e 3 - superior ($\geq \bar{X} + S$).

Tabela 5. Valores calculados da estatística “t” e sua significância (p) para avaliar o efeito da classe de DAP sobre o CUB nas parcelas de teca com de 90 meses.

Classes DAP ⁽¹⁾	Nutrientes											
	N		P		K		Ca		Mg		S	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p
	Folhas											
1-2	-1,08	0,31	0,01	0,99	0,00	1,00	1,35	0,21	1,07	0,32	-0,31	0,77
1-3	-1,48	0,18	-0,07	0,95	1,07	0,31	0,52	0,61	-1,66	0,14	0,23	0,82
2-3	-0,88	0,40	-0,08	0,94	0,76	0,47	-0,47	0,65	-2,35	0,05	0,65	0,54
	Galhos											
1-2	-1,32	0,22	0,26	0,80	0,12	0,91	0,17	0,87	0,54	0,60	0,57	0,59
1-3	-0,39	0,71	0,44	0,67	0,25	0,81	2,72	0,03	1,61	0,15	-0,14	0,89
2-3	0,39	0,70	0,18	0,86	0,09	0,93	2,46	0,04	0,80	0,44	-2,33	0,05
	Casca											
1-2	0,22	0,83	-0,26	0,80	0,08	0,94	0,02	0,99	-1,13	0,29	0,22	0,83
1-3	0,70	0,50	-0,18	0,86	0,39	0,70	0,99	0,35	-0,35	0,73	0,76	0,47
2-3	0,74	0,48	0,02	0,99	0,24	0,82	0,64	0,54	0,72	0,49	0,84	0,42
	Lenho											
1-2	-0,31	0,77	0,63	0,55	0,70	0,50	-0,09	0,93	0,52	0,62	-0,66	0,53
1-3	-1,45	0,19	0,82	0,43	2,46	0,04	0,92	0,38	0,59	0,57	-1,64	0,14
2-3	-0,76	0,47	0,27	0,80	1,42	0,19	0,83	0,43	0,07	0,95	-1,24	0,25
	Tronco											
1-2	-0,29	0,78	0,61	0,56	0,48	0,65	-0,91	0,39	0,34	0,74	-0,64	0,54
1-3	-0,89	0,40	0,74	0,48	1,33	0,22	1,01	0,34	0,53	0,61	-1,52	0,17
2-3	-0,40	0,70	0,23	0,82	0,38	0,71	1,84	0,10	0,15	0,89	-1,06	0,32
	Parte Aérea											
1-2	-0,84	0,42	0,54	0,61	0,42	0,68	0,74	0,48	0,62	0,55	0,01	0,99
1-3	-1,60	0,15	0,68	0,52	1,35	0,21	1,69	0,13	0,30	0,77	-1,03	0,33
2-3	-0,29	0,78	0,22	0,83	0,41	0,70	1,16	0,28	-0,33	0,75	-3,17	0,01

⁽¹⁾ Classes de diâmetro: 1 - inferior ($\leq \bar{X} - s$), 2 - média ($\bar{X} - s > \bar{X} < \bar{X} + s$) e 3 - superior ($\geq \bar{X} + s$).

Tabela 6. Resultados de análises químicas do solo sob plantios de teca, aos 17, 29 e 90 meses, em Tangará da Serra-MT

Idade	Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
meses	cm	H ₂ O	—mg/dm ³ —	—cmol _c /dm ³ —						%	dag/kg	mg/L	—mg/dm ³ —				
17	00 - 20	6,29	3,65	123,75	5,85	1,10	4,03	7,27	7,27	11,29	66,15	5,63	26,68	3,63	53,33	40,98	0,78
	20 - 40	6,60	0,33	76,50	4,79	0,80	2,60	5,78	5,78	8,38	70,65	4,40	19,35	1,81	35,48	25,88	0,94
	40 - 60	6,70	0,25	60,50	4,05	0,70	1,55	4,91	4,91	6,46	77,40	3,91	11,00	0,49	27,50	11,20	0,68
29	00 - 20	6,32	5,03	169,33	6,83	1,30	3,98	8,56	8,56	12,54	68,07	2,38	14,90	11,60	31,10	84,60	2,87
	20 - 40	6,57	2,07	125,33	5,19	1,16	2,45	6,67	6,67	9,12	73,20	1,36	6,57	8,20	29,80	67,53	3,70
	40 - 60	6,69	2,30	132,00	4,25	1,13	1,85	5,72	5,72	7,57	75,87	0,78	3,63	6,13	40,97	55,97	3,17
90	00 - 20	6,57	6,21	84,11	8,56	1,40	2,52	10,17	10,17	12,69	79,68	6,62	22,99	3,62	18,21	70,03	1,42
	20 - 40	6,55	4,96	67,00	6,28	1,20	2,59	7,66	7,66	10,25	75,80	5,87	17,22	1,99	23,07	63,51	1,79
	40 - 60	6,57	2,92	84,00	4,92	1,22	1,76	6,35	6,35	8,11	78,71	5,59	12,59	0,99	23,30	57,61	1,38
Média	00 - 20	6,39	4,96	125,73	7,08	1,26	3,51	8,67	8,67	12,17	71,30	4,88	21,52	6,28	34,21	65,20	1,69
	20 - 40	6,57	2,45	89,61	5,42	1,05	2,55	6,70	6,70	9,25	73,22	3,87	14,38	4,00	29,45	52,30	2,14
	40 - 60	6,65	1,82	92,17	4,41	1,02	1,72	5,66	5,66	7,38	77,33	3,43	9,07	2,54	30,59	41,59	1,74

Métodos: P, K, Zn, Fe, Mn e Cu: Mehlich-1; Ca, Mg e Al: KCl 1mol/L; H+Al: acetato de cálcio 0,5 mol/L pH 7,0; MO: Walkley e Black; P-rem: Alvarez V et al. (1993).