

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

JOÃO THIAGO RODRIGUES DE SOUSA

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E CONTRIBUIÇÃO DA PALMEIRA
RUDERAL BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart.) PARA A BIOMASSA
RADICULAR SOB SISTEMA DE AGRICULTURA ITINERANTE NO
ESTADO DO MARANHÃO**

SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil
Julho - 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JOÃO THIAGO RODRIGUES DE SOUSA
Engenheiro Agrônomo

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E CONTRIBUIÇÃO DA PALMEIRA
RUDERAL BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart.) PARA A BIOMASSA
RADICULAR SOB SISTEMA DE AGRICULTURA ITINERANTE NO
ESTADO DO MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agroecologia da
Universidade Estadual do Maranhão,
para obtenção do título de Mestre em
Agroecologia.

Orientador: **Prof. Dr. Christoph Gehring**

SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil
Julho - 2009

MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E CONTRIBUIÇÃO DA PALMEIRA RUDERAL BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart.) PARA A BIOMASSA RADICULAR SOB SISTEMA DE AGRICULTURA ITINERANTE NO ESTADO DO MARANHÃO

JOÃO THIAGO RODRIGUES DE SOUSA

Aprovada em: 21/07/2009

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Christoph Gehring (UEMA)
Orientador

Prof. Dr. José Geraldo Donizetti dos Santos (UEMA)

Prof. Dr. Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior (UEMA)

Aos meus avós, João e Dione, pela criação exemplar para toda a vida que muito me ajudaram para ser uma pessoa de bem.

Aos meus pais, Mário e Alla que por alguma razão não puderam ficar juntos, mas separados tiveram cada um a sua contribuição para minha formação.

Aos meus irmãos Mário Sérgio e Camila, pela amizade, companheirismo e carinho que sempre tiveram por mim e pela confiança incondicional.

Ofereço

À minha namorada linda, agora minha noiva por todos os momentos maravilhosos que passamos, pelo companheirismo, pela ajuda, pelo amor, pela confiança, incentivo constante nos momentos mais difíceis e por estar comigo sempre e para toda a vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À toda divindade cósmica que nos energiza e nos conduz ao verdadeiro caminho, ao Reto caminho.

Aos meus grandes amigos Edílson Máximo por todo companheirismo, pela preocupação, pela amizade e por tudo o que lutou e brigou para que pudéssemos chegar ao final dessa etapa; Renato Bernardes amigo de fé, maluco de Brasília, companheiro de curso e de jornada, pelas palavras maravilhosas e filosofais em todas as nossas conversas, amigo do peito; ao Luiz Antonio, mineiro do pé chato, inteligente e bom de coração, companheiro de andanças e das aventuras que fizemos por esse Maranhão; e minha grande amiga e companheira Nárgila Gomes de Moura, namorada e agora noiva, pela compreensão, carinho, afeto e amor, com quem tive meus momentos mais especiais durante esse período e também pelas valiosas ajudas no campo.

Aos grandes amigos do Núcleo de Engenharia Rural, Neto, Renato, Dió, Naldo, o grande Walter, dona Carmelita e Fátima; aos motoristas Seu Penha, Marcelo e o doidão; aos técnicos dos laboratórios, Jozael e João Reis pela amizade e ajuda, aos professores do mestrado, Moisés, Francisca, Alana, Carlos Freitas, Zé Geraldo e Adenir Teodoro; e os trabalhadores de campo Luis, Matias e seus amigos pelo esforço em ajudar nos trabalhos nas aléias e outras atividades.

Ao professor Christoph Gehring, meu orientador e excelente educador, por ter me dado uma missão tão difícil, mas também contribuiu com todo o suporte para cumpri-la; por toda ajuda intelectual e até financeira quando coube; pela amizade, pelas ajudas no campo que foram valiosas e importantes para a concretização deste trabalho.

Ao Prof. Emanuel Gomes de Moura, pela grande ajuda durante a nossa fixação na cidade, pela amizade e confiança na realização dos trabalhos.

Ao Seu Beto, o “Pai Beto”, nosso grande amigo e proprietário da vila da qual fomos moradores por esses 2 anos, agradeço a confiança, a paciência e a compreensão durante os momentos difíceis.

A comunidade do Mato Grosso, dona Terezinha e seus familiares, por terem me recepcionado com tanto carinho, por tantas vezes. Pela admirável humildade de

todos. A comunidade do Cinturão Verde, em especial, Seu Zeca e sua família, que lá muito nos ajudaram na coleta dos dados e por todo o carinho e amizade com que nos receberam.

Aos especiais amigos que fizemos em São Luis, Zaíra e Emilene, todos os amigos e companheiros do curso de Licenciatura em Biologia da UEMA, à todos os amigos da agronomia Thiaguinho, Alan e Antero, e todos os que fizeram parte deste ciclo, Marlon, Paulo, Kátia e Kássia, Camila, Ana Roberta, Sheila, Cristina, Silvia, Adriano, Ana Carolina, Olga, Jackson, Javier, Augusto, e também todas as meninas que nos ajudaram no laboratório, Merijane e Karina.

A prof^a. Lúcia Helena dos Anjos (UFRRJ), por suas importantes contribuições e toda a ajuda durante nossa estadia em Seropédica.

Ao prof. Everaldo Zonta (UFRRJ) pela colaboração na proposição de metodologia e toda a ajuda conveniente.

Ao prof. Eneidas pela amizade, simpatia, alegria e tranqüilidade na nossas conversas.

Ao Aristóteles e todos os amigos do Restaurante Universitário, por sua amizade e pelos momentos de alegria e descontração.

Ao Edinaldo e sua esposa pela recepção e alojamento em Seropédica-RJ.

As bibliotecárias Ludimila e Elizete, pela gentileza e amizade.

A Marinilde por toda ajuda dentro da secretaria do curso e também pela amizade.

Ao ISEC, na pessoa da professora Leuda, pela ajuda financeira nos momentos difíceis de nossa chegada à São Luis.

À dona Rosa e suas filhas, por toda amizade e ajuda durante toda a nossa estadia no bairro do Jardim São Cristóvão.

À FAPEMA pela concessão de bolsa de estudo.

E a todos que por ventura tenha esquecido, peço perdão.

"O irreal não existe e o que é real nunca deixa de existir."
"O ego é o pior inimigo do Eu, mas o Eu é o melhor amigo do ego...
O ego é um péssimo senhor, mas é um ótimo servidor."
"Saija que quem não se altera na tristeza ou na alegria, e em
ambas se mantém firme, é digno da eternidade."
"Os sábios não se lamentam nem pelos vivos nem pelos mortos."
"Eu não invejo nenhum homem, nem sou parcial com ninguém; Eu
sou igual para com todos."
"E aquele que considera igualmente seus amigos e inimigos... me é
muito querido."

Bhagavad Gita 2:11, 2:15, 9:29 , 12:18

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO ----- | 10 |
| ABSTRACT ----- | 12 |
| CAPÍTULO I ----- | 14 |
| Introdução Geral ----- | 15 |
| Objetivos Gerais ----- | 18 |
| Hipóteses ----- | 19 |
| Referências ----- | 20 |
| CAPÍTULO II ----- | 23 |
| Viabilidade e praticabilidade de três métodos de amostragem para quantificação de raízes em agroecossistema de corte-e-queima na periferia sudeste da Amazônia ----- | 23 |
| Resumo ----- | 24 |
| Abstract ----- | 26 |
| Introdução ----- | 28 |
| Objetivo ----- | 30 |
| Material e Métodos ----- | 30 |
| Resultados e Discussão ----- | 36 |
| Conclusão ----- | 44 |
| Agradecimentos ----- | 44 |
| Referências ----- | 45 |
| Anexo 1 ----- | 48 |
| Lista de Figuras ----- | 50 |
| Lista de Tabelas ----- | 51 |
| CAPÍTULO III ----- | 52 |
| Biomassa radicular e a participação da palmeira ruderal babaçu (<i>Attalea speciosa</i> Mart.) sob sistema de agricultura Itinerante na periferia sudeste da Amazônia ----- | 52 |
| Resumo ----- | 53 |
| Abstract ----- | 55 |

| | |
|----------------------------|----|
| Introdução ----- | 56 |
| Objetivo ----- | 58 |
| Material e Métodos ----- | 59 |
| Resultados ----- | 64 |
| Discussão ----- | 69 |
| Conclusões ----- | 72 |
| Agradecimentos ----- | 72 |
| Referências ----- | 73 |
| Lista de Figuras ----- | 77 |
| Lista de Tabelas ----- | 78 |
| CAPÍTULO IV ----- | 79 |
| Considerações Finais ----- | 80 |
| Referências ----- | 82 |

RESUMO

Estudos que quantificam a biomassa radicular em florestas tropicais são raros, e trabalhos de comparação entre estudos são mais difíceis ainda por causa de diferenças de profundidade máxima do solo e dos métodos de amostragem. Este trabalho investigou: (i) o desempenho e a praticabilidade de três estratégias contrastantes de amostragem radicular – monólito grande (M-G, 25 dm³), monólito pequeno (M-P, 1 dm³) e trado (Trd, 196,3 cm³) e (ii) quantificou a biomassa radicular ao longo de 1 metro de profundidade em um agroecossistema de corte-e-queima intensamente explorado na periferia sudeste da Amazônia, em uma área de agricultura itinerante em 1 ano (feijão) e 1,5 anos (mandioca, final da fase de cultivo), e em uma área vizinha de vegetação espontânea (capoeira) de 3 anos de idade. Em relação ao M-G, as amostragens do M-P e Trd causaram uma forte e sistemática superestimativa da biomassa em todas as frações de diâmetro; no entanto as razões desse comportamento não ficaram claras. A superestimativa da biomassa radicular é mais alta para amostragem de Trd, com estimativas diferindo sistematicamente dos valores de M-G em quase todas as profundidades. A superestimativa é menos pronunciada para a amostragem com M-P e não significativa nas camadas superficiais do solo. Com as equações de regressão produzidas, estabeleceu-se uma compatibilidade entre os três esquemas de amostragem, parecendo robustas em termos de sua aplicabilidade geral, sem mudanças sistemáticas ao longo de 1 metro de perfil do solo, entre a roça de agricultura itinerante e a vegetação secundária (capoeira), ou entre as raízes da palmeira babaçu e as raízes de outras espécies. Ao final os custos de trabalho estimados para os três métodos foram similares entre si, pois o esforço reduzido na amostragem de pequenos volumes foi compensado por um aumento no custo de processamento (lavagem

e separação em classes de raiz quanto ao diâmetro médio). A biomassa radicular seca total foi 12,7 t/ha, ao final da fase de cultivo e 38,7 t/ha na capoeira, resultando em relações raiz:parte aérea bem acima dos valores encontrados na literatura. Em torno de 33% a 41% das raízes totais e de 47% a 55% das raízes finas estavam concentradas nos primeiros 10 cm do solo. Um foco especial deste estudo foi direcionado às raízes da palmeira babaçu, o qual é dominante em vastas áreas de terras degradadas por toda a Amazônia. A distribuição vertical das raízes grossas do babaçu foram marcadamente mais profundas do que as do restante da vegetação, um fator importante para a excelente tolerância do babaçu diante dos repetidos ciclos de corte-e-queima e uma séria dificuldade para os esforços de controle de sua densidade. Encontrou-se uma estreita relação entre as raízes finas de babaçu e as raízes de outras origens taxonômicas por todo o perfil do solo, indicando que ambos os componentes ocupam nichos ecológicos similares e estão em competição direta, contrariando a tese da suposta complementaridade (vertical) ou de um bombeamento pelo babaçu de nutrientes lixiviados.

PALAVRAS - CHAVES: raízes finas, monólito, raízes grossas, competição radicular, partição de nichos, variabilidade.

ABSTRACT

Studies which quantify root biomass in tropical forests are rare, and between-study comparisons are further hampered by differing maximum soil depths and sampling methods. This study compares the performance and adequacy of three contrasting root sampling strategies - large monoliths (LM, 25 dm³), small monoliths (SM, 1dm³) and root auger (RA, 196.3 cm³) in a slash-and-burn shifting cultivation field and a paired 3 yr.-old spontaneous secondary forest regrowth down to 1 meter soil depth. Relative to the LM-values, both SM- and RA-sampling cause a strong and systematic overestimation of root biomass in all diameter fractions; we do not know the underlying reasons for this overestimation. Root biomass overestimation is highest for RA-sampling, with estimates differing significantly from LM-values throughout almost all soil depths. Overestimation is less pronounced for SM-sampling and non-significant in the topsoil. With our regression equations, the present study establishes compatibility between the three root sampling schemes. Our equations appear robust in terms of their general applicability, with no systematic changes apparent down the 1 meter soil profile, between shifting cultivation and secondary forest, or between roots of the babassu palm and roots of other origin. Future field studies can utilize SM- or RA-sampling and subsequently transform data to LM-estimates, in order to correct for systematic overestimation of values generated by the small sample volumes. Estimated labour costs of LM-, SM- and RA-methods are similar to one another, since reduced sampling effort in small sample volumes is compensated by increased costs in sample handling (washing, separation into root classes). Total root biomass was 12.7 t / ha at the end of cultivation, and 38.7 t / ha in the fallow site, resulting in root:shoot ratios well above literature values. 33-41% of all roots and 47-55% of fine roots were concentrated in the top

10 cm. Special focus is on the roots of the ruderal babassu palm, which has turned dominant in vast areas of degraded lands throughout Amazonia. Vertical distribution of babassu coarse roots was markedly deeper than that of remaining vegetation, an important factor for the excellent tolerance of babassu to repeated slash-burning and posing serious difficulties for efforts to control its density. We found a close relationship between fine roots of babassu and of other taxonomic origin throughout the soil profile, indicating that both components occupy similar ecological niches and are in direct competition to one another, rather than a supposed (vertical) resource complementarity or deepsoil pumping by babassu.

KEYWORDS: fine roots, monolith, coarse roots, root competition, niche partitioning, ruderal palm, variability.

CAPÍTULO I
INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura itinerante é uma forma econômica de preparar a terra através do efeito fertilizante da queima e alcalinizante das cinzas. Embora sustentável sob baixa densidade demográfica e longos períodos de pousio, a agricultura itinerante entrou em uma crise ambiental e socioeconômica em muitas regiões tropicais, particularmente no Estado do Maranhão.

Além da degradação ambiental provocada pela regeneração incompleta das capoeiras, a crise da agricultura itinerante leva consigo serias consequências socioeconômicas. A procura por alternativas à agricultura itinerante tem sido um foco de pesquisas envolvendo gerações de profissionais.

As capoeiras são muito importantes na Amazônia Brasileira e somente no Maranhão respondem por aproximadamente 10 milhões de ha (MUNIZ, 2006). A capoeira como vegetação de pousio recupera as perdas de N provocadas pela roça, restaura os níveis de fertilidade do solo do ponto de vista produtivo somente após a queima (disponibilidade de nutrientes) ou degradação da matéria orgânica do solo, recuperando a capacidade produtiva do sistema (JUO & MANU, 1996; SZOTT et al., 1999).

Com muitos ciclos de corte e queima da agricultura itinerante aumenta a importância da regeneração vegetativa (rebrote) por espécies selecionadas ao longo dos ciclos de cultivo (KAMMESCHIEDT, 1999). O comportamento de rebrota é uma característica chave para a resiliência do agroecossistema, que influencia a ecologia de indivíduos, populações e comunidades, fazendo do sistema radicular um importante componente para a manutenção das capoeiras frequentemente queimadas no Estado do Maranhão.

A palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart.) é um componente importante na paisagem agrícola do Maranhão, principalmente por ser fonte de renda durante e após a época produtiva das roças. A dominância quase absoluta de

uma única espécie, no caso o babaçu, é um caráter atípico das florestas tropicais, e decorre, primeiro de sua alta resistência ao fogo, muito maior comparada às demais espécies da floresta e segundo durante a implantação da roça se preserva algumas palmeiras adultas (produtivas) de babaçu.

Devido a sua extraordinária importância socioeconômica, uma densidade mínima está regulamentada por lei em suas áreas de ocorrência no Estado do Maranhão, onde a remoção somente é permitida quando há uma densidade mínima acima de 156 palmeiras por hectare (SHIRAISHI NETO, 2006). No entanto, a densidade ainda está muito alta, formando em casos extremos quase pontos monoespecíficos, acima de 10 plantas jovens (pindobas) por metro quadrado. Por isso, dentro do contexto da agricultura itinerante, se faz necessário responder aos novos questionamentos sobre as influências causadas pela palmeira babaçu na concorrência de seu sistema radicular com as raízes das demais espécies vegetais presentes nas áreas produtivas para que se possa definir densidades mais adequadas e garantir maiores produtividades e rendimentos dos cultivos.

O sistema radicular é um componente do ecossistema terrestre ainda pouco entendido (TRUMBORE, 2006). Tal situação é explicável pela relativa inacessibilidade às raízes como objetos de estudo e experimentação, sua complexidade tridimensional e sua marcada variabilidade espacial e temporal (BÖHM, 1979; VAN NOORDWIJK, 1993).

Particularmente, em algumas espécies, além das funções primárias de sustentação e absorção de água e nutrientes, houve evolutivamente, a necessidade das raízes cumprirem outras funções, em parte moduladas pelo ambiente a que estavam submetidas.

O estudo das raízes demanda a separação das raízes em classes funcionais, e a quantificação da sua contribuição ao sistema total (ROSSIELLO et al., 1995). A simples divisão do sistema radicular em duas classes funcionais distintas nos permite uma melhor compreensão da sua dinâmica e da sua importância específica na ampla maioria dos processos de um ecossistema. As raízes finas e os pêlos radiculares podem contribuir com mais de 90 % da área superficial e do comprimento radicular total (alta superfície específica) (BRASIL, 2001), e em conjunto com os processos de absorção de água e exsudação de substâncias orgânicas, constituem a fração do sistema radicular mais efetiva para a formação e estabilidade dos agregados no solo (HAYNES & BEARE, 1996; MIELNICZUCK, 1999). A produção anual de raízes, em ecossistemas naturais, pode facilmente ultrapassar a da parte aérea, já que podem crescer continuamente ao longo de todo o ano e em função da disponibilidade de água e nutrientes. Em estudos de solos sob florestas da Amazônia Oriental, as raízes finas constituem mais que 50% do total de carbono encontrado nos primeiros 10 cm (SILVER et al., 2000; TELLES et al., 2003).

Os principais entraves para a realização das avaliações do sistema radicular são de natureza metodológica (SMIT et al., 2000). O solo, enquanto meio de crescimento não transparente, provê uma barreira para a observação e para a avaliação dos sistemas radiculares, o que significa que o pesquisador trabalha constantemente “no escuro” (BENGOUGH et al., 2000). Extrair raízes do solo por meio de escavação continua a ser o procedimento mais usado neste tipo de estudo (SMIT et al., 2000).

Todos os métodos de avaliação da biomassa de raízes em condições de campo, estão baseados no princípio de separação e lavagem destas raízes (BÖHM, 1979). Até hoje, as técnicas destrutivas, tais como o trado, o monólito, a

escavação do sistema radicular e a abertura de trincheiras, predominam neste tipo de investigação (BÖHM, 1979, VOGT et al., 1998; OLIVEIRA et al, 2000).

As extrações com o trado continuam a ser o método mais usado. Sua ampla aceitação, em parte, decorre da possibilidade de obter-se um elevado número de repetições com um investimento de tempo e trabalho menores do que nos outros métodos, o que pode significar uma vantagem em termos estatísticos e em evitar maiores perturbações o que é importante em muitas situações experimentais, especialmente envolvendo medições repetidas. Böhm (1979) e van Noordwijck (1987) chamaram a atenção para alguns problemas. O pequeno diâmetro do método do trado (em geral 5,0 cm) é uma desvantagem na amostragem de camadas com baixas densidades radiculares, a menos que o número de repetições seja muito alto.

Algumas fontes de erro são quase que inevitáveis: da mesma forma que é impossível, sob condições de campo, amostrar a totalidade do sistema radicular de uma planta, é quase impossível evitar perdas de algumas raízes, especialmente aquelas muito finas, na etapa de lavagem e limpeza (OLIVEIRA et al., 2000).

A melhor solução possível para a minimização dos erros associados à recuperação, limpeza e classificação de raízes consiste na rigorosa padronização de todas as fases e o emprego de uma mesma equipe de operadores treinados no uso dos mesmos critérios de trabalho (OLIVEIRA et al., 2000).

OBJETIVOS GERAIS

1. avaliar três diferentes estratégias de amostragem radicular;
2. quantificar a biomassa radicular dos diferentes componentes da vegetação sob sistema de agricultura itinerante.

HIPÓTESES

1. Diferentes estratégias de amostragem resultam em qualidade de dados diferentes; Existe uma estratégia otimizada de amostragem.
2. A dinâmica radicular é de importância maior em áreas frequentemente queimadas.
3. A forte competitividade da palmeira ruderal babaçu se baseia em um sistema radicular específico para garantia da sua sobrevivência.

REFERÊNCIAS

BENGOUGH, A.G.; CASTRIGN, A.; PAGÉS, L.; VAN NOORDWIJK, M. Sampling strategies, scaling and statistics. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) **Root methods: a handbook**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.147-174, 2000.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. New York, Springer-Verlag, 1979. 194 p.

BRASIL, F.C. **Estudos de características radiculares de uma pastagens de *Brachiaria humidicola* com auxílio de análise digital de imagens**. 2001, 106f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2001.

HAYNES, R.J.; BEARE, M.H. Aggregation and organic matter storage in mesothermal humid soils. In: CARTER, M.R.; STUART, B.A., (Eds) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. p. 213-262.

KAMMESCHIEDT, L. Forest recovery by root suckers and above-ground sprouts after slash-and-burn agriculture, fire and logging in Paraguay and Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**, v. 15, p. 143-157, 1999.

JUO, A.S.R.; MANU, A.: Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**,v.58, p.49-60, 1996,

MIELNICZUCK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: **Anais Workshop sobre sistema radicular: Metodologias e Estudo de Casos**. FERNANDES, M.F.; TAVARES, E.D.; LEAL, M. L. da S (Ed.). Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, 1999. p. 13-17.

MUNIZ, F.H. A vegetação da região de transição entre a Amazônia e o Nordeste, diversidade e estrutura. In: MOURA, E.G. (Ed) **Agroambientes de transição**. UEMA, São Luis, MA, 2006. p. 53-69.

OLIVEIRA, M.R.G.; VAN NOORDWIJK, M.; GAZE, S.R.; BROUWER, G.; BONA, S.; MOSCA, G.; HAIRIAH, K. Auger sampling, ingrowth cores and pinboard methods. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) **Root methods: a handbook**. Springer-Verlag, Berlin, 2000. p.176-206.

ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V.; FERNANDES, M.S. Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1995. v. 30, p. 633-638.

SHIRAISHI NETO, J. **Leis do babaçu livre – Práticas jurídicas das quebradeiras de coco babaçu e normas correlatas**. UFAM / Fundação Ford, Manaus, AM, 2006, 77 p.

SILVER, W.L.; NEFF, J.; MCGRODDY, M.; Silver, W. L.; Neff, J.; McGroddy, M.; Veldkamp, E.; Keller, M.; Cosme, R. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, v. 3, p. 193-209, 2000.

SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) **Root methods: a handbook**. Springer-Verlag, Berlin, 2000. 587 p.

SZOTT, L.T.; PALM, C.A.; BURESH, R.J. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. **Agroforestry Systems**, v. 47, p. 163-196. 1999.

TELLES, E.D.C.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. **Global Biochemical Cycles**, n. 1040, v. 17, 2003.

TRUMBORE, S.; COSTA, E.S. da; NEPSTAD, D.C.; CAMARGO, P.B. de; MARTINELLI, L.A.; RAY, D.; RESTOM, T.; SILVER, W. Dynamics of fine root carbon in Amazonian tropical ecosystems and the contribution os roots soil respiration. **Global Change Biology**, v 12, p. 217-229, 2006.

VAN NOORDWIJK, M. Methods for quantification of root distribution pattern and root dynamics in the field. 20th, **Colloquium of the International Potash Institute, Bern**, Switzerland, p. 263-281, 1987.

VAN NOORDWIJK, M. Roots: length, biomass, production and mortality. Em: ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical Soil Biology and Fertility: a Handbook of methods**. CAB International, Wallingford. p. 132-144, 1993.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forest at in ecosystem level. **Plant and Soil**. v. 200, p. 71-89, 1998.

CAPÍTULO II

VIABILIDADE E PRATICABILIDADE DE TRÊS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM PARA QUANTIFICAÇÃO DE RAÍZES EM AGROECOSSISTEMA DE CORTE- E-QUEIMA NA PERIFERIA SUDESTE DA AMAZÔNIA

VIABILIDADE E PRATICABILIDADE DE TRÊS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM PARA QUANTIFICAÇÃO DE RAÍZES EM AGROECOSSISTEMA DE CORTE-E-QUEIMA NA PERIFERIA SUDESTE DA AMAZÔNIA

João Thiago Rodrigues de Sousa¹; Christoph Gehring¹

¹ Mestrado em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo VI s/n Tirirical, 65000-000, São Luis-MA, Brasil.

RESUMO

Este estudo comparou o desempenho e a praticabilidade de três estratégias contrastantes de amostragem radicular – monólitos grandes (M-G, 25 dm³), monólitos pequenos (M-P, 1 dm³) e trado (Trd, 196,3 cm³) em uma área de corte-e-queima de cultivo itinerante e uma área adjacente de capoeira de 3 anos de idade ao longo de 1 metro de profundidade de perfil de solo. Comparou-se as estimativas de biomassa radicular e aplicou-se mais dois critérios para avaliar a confiabilidade e a relevância dos métodos do M-P e Trd como substitutos da amostragem com M-G: (i) variabilidade dos dados associados e (ii) a porcentagem de valores ‘zero’ falsos. Dada a alta variabilidade e freqüente falha em detectar a presença de raízes grossas na amostra de solo, ambos os métodos M-P e Trd estão inadequados quanto à confiabilidade em quantificar as raízes da fração grossa, para a qual os M-G continuam a ser o único método de quantificação confiável. O método M-P parece aceitável para estimativa da biomassa das raízes de tamanho médio (2 a 5 mm) e ambos os métodos estão adequados para quantificação das raízes finas. Relativo aos valores do M-G, os métodos M-P e Trd causaram uma forte e sistemática superestimativa da biomassa radicular em todas as frações de diâmetro; não se conhece as razões desse comportamento. A superestimativa da biomassa radicular é maior para amostragem de Trd, com estimativas diferindo significativamente dos valores

encontrados por M-G em quase todas as profundidades do solo. A superestimativa é menos pronunciada para amostragem usando M-P e não é significativa nas camadas superficiais do solo. Com equações de regressão, o presente estudo estabeleceu compatibilidade entre os três esquemas de amostragem radicular. As equações se mostram robustas em termos de sua aplicação geral, sem mudanças sistemáticas aparentes ao longo de 1 metro de perfil de solo, entre a agricultura itinerante e a capoeira, ou entre as raízes da palmeira babaçu e as raízes de outras origens. Futuros estudos de campo poderão utilizar amostragens com M-P e TR e subsequentemente transformar os dados para estimativas de M-G, com intuito de corrigir a superestimativa sistemática dos valores gerados pela amostragem de pequenos volumes. O custo de trabalho estimado dos métodos M-G, M-P e Trd são similares uns com os outros, porque o reduzido esforço na amostragem com pequenos volumes de amostra é compensado por um aumento no custo do processamento (lavagem, separação em classes de raiz). No entanto, os pequenos volumes de amostra de M-P e Trd podem ser preferíveis em circunstâncias onde os experimentos de campo, focados na dinâmica de raízes finas, necessitem evitar maiores perturbações, especialmente com repetidos esquemas de amostragem. Para este propósito, recomenda-se a utilização de M-P em vez do Trd, por causa de seu menor grau de superestimativa da massa radicular, menor variabilidade dos dados e menor porção de estimativas de 'zero' falsos.

Palavras – chaves: raízes finas, biomassa radicular, monólito, esquema de amostragem, variabilidade.

ADEQUACY OF CONTRASTING SAMPLING METHODS FOR ROOT MASS QUANTIFICATION IN SLASH-AND-BURN AGROECOSYSTEMS IN THE SOUTH-EASTERN PERIPHERY OF AMAZONIA

ABSTRACT

This study compares the performance and adequacy of three contrasting root sampling strategies - large monoliths (LM, 25 dm³), small monoliths (SM, 1 dm³) and root auger (RA, 196.3 cm³) in a slash-and-burn shifting cultivation field and a paired 3 yr.-old spontaneous secondary forest regrowth down to 1 meter soil depth. We compare root biomass estimates and apply two further criteria to assess the reliability and relevance of SM- and RA-methods as substitutes for LM-sampling: (i) associated data variability, and (ii) the percentage of false 'zero'-values. Given the high variability and frequent failure to detect the presence of coarse roots in the sample soil, both SM- and RA-methods are inadequate to reliably quantify coarse root fractions, for which large monoliths continue to be the only reliable quantification method. The SM-method appears acceptable for mid-sized (2-5 mm) root biomass estimation, both methods are adequate for fine root (<2 mm) quantification. Relative to the LM-values, both SM- and RA-sampling cause a strong and systematic overestimation of root biomass in all diameter fractions; we do not know the underlying reasons for this overestimation. Root biomass overestimation is highest for RA-sampling, with estimates differing significantly from LM-values throughout almost all soil depths. Overestimation is less pronounced for SM-sampling and non-significant in the topsoil. With our regression equations, the present study establishes compatibility between the three root sampling schemes. Our equations appear robust in terms of their general applicability, with no systematic changes apparent down the 1 meter soil profile, between shifting cultivation and secondary forest, or between

roots of the babassu palm and roots of other origin. Future field studies can utilize SM- or RA-sampling and subsequently transform data to LM-estimates, in order to correct for systematic overestimation of values generated by the small sample volumes. Estimated labour costs of LM-, SM- and RA-methods are similar to one another, since reduced sampling effort in small sample volumes is compensated by increased costs in sample handling (washing, separation into root classes). Nevertheless, the small sample volumes of SM or RA may be preferable in circumstances in field trial situations focussing on fine root dynamics, with the necessity to avoid major perturbations, especially with repeated root sampling schemes. For such purposes, we recommend the use of the SM- rather than the RA-method, because of the lower degrees of root mass overestimation, lower data variability and lower portion of false 'zero'-estimates.

Keywords: fine roots, root auger, root biomass, monolith, sampling scheme, variability.

1. INTRODUÇÃO

As raízes exercem um papel central na ampla maioria dos processos do ecossistema. O conhecimento dos estoques radiculares e dinâmica das raízes finas é crucial para o entendimento da questão chave assim como os estoques de carbono abaixo do solo (SOMMER et al., 2000), competição por água e nutrientes (SCHROTH et al., 1996), estratégias adaptativas das plantas e partição de nichos (FITTER, 1987), ciclagem de nutrientes (ATTIWIL & ADAMS, 1993; SZOTT et al., 1991), bombeamento de nutrientes lixiviados para o subsolo (SOMMER et al., 2004), e regeneração vegetativa (MIYANISHI & KELLMAN, 1986; KAUFMANN, 1991), dentre outros. No entanto, contrário à dinâmica e composição da vegetação aérea, nosso conhecimento sobre os sistemas radiculares ainda é muito limitado, especialmente na vegetação lenhosa heterogênea espontânea. Esta discrepância é devido ao considerável custo de trabalho e por sérios problemas metodológicos envolvidos na quantificação radicular.

Embora os métodos isotópicos tenham provado seu sucesso para estudos de distribuição das raízes e absorção de nutrientes (WAHID, 2001; PEEK & FORSETH, 2005; GÖTTLICHER et al., 2008) e parcialmente também em estudos de ciclagem das raízes finas (HENDRICKS et al., 1997; MAJDI et al., 2005), escavações destrutivas continuam sendo a única maneira de quantificação da biomassa radicular e dos estoques de C e nutrientes nas raízes (BÖHM, 1979). A geração de dados radiculares confiáveis com frequência tem sido um problema grave em face do alto custo de trabalho em combinação com a variabilidade espacial potencialmente alta dos diferentes componentes radiculares com escalas variando de centímetros até dezenas de metros (CASPER & JACKSON, 1997). Devem ser esperados padrões de variabilidade

diferentes para cada espécie, entre diâmetros radiculares e ao longo do perfil do solo (ESPLETA & CLARK, 2007). Estratégias de amostragem radicular inevitavelmente constituem um compromisso entre a precisão desejável devido à alta variabilidade espacial e a viabilidade diante da alta intensidade de trabalho envolvido na amostragem e processamento das raízes. Outro problema é a falta de consenso e padronização nos esquemas de amostragem que diminuem a comparabilidade entre estudos usando diferentes metodologias e traz sérios obstáculos para a tentativa de sintetizar os resultados dos diferentes estudos em escala regional ou global (ROBINSON, 2004).

A biomassa radicular e os estoques de carbono são dominados pelo componente radicular grosso, o qual de acordo com Cairns et al. (1997) combina em média cerca de 70% da biomassa radicular total. Raízes médias e grossas são tipicamente muito irregularmente distribuídas dentro do perfil do solo, esquemas adequados de amostragem envolvendo grandes volumes de solo são, portanto, decisivos para a geração de dados confiáveis. As raízes finas são de menor importância em termos da parte total da biomassa radicular. No entanto, as raízes finas formam o componente dinâmico do sistema radicular e são decisivas na absorção de nutrientes e competição, na produtividade primária líquida, para a ciclagem de carbono no solo (EISSENSTAT et al., 2000; GIL & JACKSON, 2000), e para o acúmulo de matéria orgânica no solo (SIX et al., 2002). A variabilidade espacial deste componente tende a ser menor, permitindo volumes de amostra de solo muito menores. O processamento das raízes finas (lavagem, classificação e separação manual) é trabalhoso e ao mesmo tempo crucial para a qualidade e relevância dos dados gerados. O processamento das raízes tipicamente é a parte mais trabalhosa da estimativa de biomassa radicular, por isso representa um fator limitante para muitos estudos. Os custos

do processamento das raízes, por sua vez, são ditados pelo respectivo esquema de amostragem e por isso são decisivos para a qualidade dos dados, já que as perdas de massa radicular causadas por lavagem/processamento podem atingir até mais de 40% da biomassa radicular (ROBINSON, 2004).

2. OBJETIVO

Este trabalho apresenta uma comparação da precisão e viabilidade de três estratégias contrastantes de amostragem (monólito grande, M-G; monólito pequeno, M-P e trado amostrador de raiz, Trd) para quantificação de raízes finas e grossas em áreas sob vegetação espontânea e corte-e-queima com pousio de regeneração na periferia sudeste da Amazônia (Ilha de São Luis, Estado do Maranhão). Especificamente empenhou-se para:

- a. Comparar a precisão dos métodos de M-P e Trd com o método de M-G na quantificação correta das raízes finas e grossas e na distinção entre as raízes da palmeira babaçu e das outras raízes da vegetação lenhosa espontânea;
- b. Estabelecer a comparabilidade entre os valores gerados por estes métodos e avaliar o grau de generalidade das relações até um metro de profundidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Região e local de estudo

A pesquisa foi conduzida na periferia sudeste da Amazônia, na Ilha de São Luis, Estado do Maranhão (2°41'S, 44°16'W). O clima é classificado de acordo com Köppen como *Aw*, com cerca de 2000 mm de precipitação anual concentrada em 7 meses de estação chuvosa. Os solos das áreas de estudo são classificados como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (EMBRAPA, 2006), são ácidos e de baixa fertilidade (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1: Características físicas do solo das duas áreas de estudo (médias de um total de 68 amostras).

| Prof. Solo | % Areia grossa (2-0,2 mm) | % Areia fina (0,02-0,05 mm) | % Silte (0,05-0,002 mm) | % Argila (<0,002 mm) | Densidade (g/cm ³) |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 0-10 cm | 32.4 | 56.4 | 2.8 | 8.3 | 1.28 |
| 10 - 40 cm | 33.7 | 55.3 | 3.3 | 7.6 | 1.34 |
| 40 - 100 cm | 33.8 | 53.5 | 4.8 | 7.9 | 1.40 |

Tabela 2: Características químicas do solo das duas áreas de estudo (medianas de um total de 68 amostras)

| Prof. Solo | pH (CaCl ₂) | MOS (g/kg) ¹ | P (mg/kg) ² | K (mg/kg) ² | Ca (mg/kg) ³ | M-G (mg/kg) ³ |
|-------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 0-10 cm | 5.10 | 34.13 | 3.97 | 6.42 | 478.16 | 105.27 |
| 10 - 40 cm | 4.80 | 15.86 | 2.68 | 2.96 | 163.73 | 67.30 |
| 40 - 100 cm | 4.60 | 9.25 | 1.41 | 2.90 | 85.72 | 40.99 |

1) Bloco digestor; 2) Extração por resina; 3) Extração 1M KCl

Investigou-se duas áreas, as quais representam a fase de cultivo e a fase de capoeira, o pousio da agricultura itinerante. O estudo na área de cultivo cobriu 1,5 anos de produção com uma sequência de milho (*Zea mays* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) seguido de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.), esquema típico da agricultura familiar na Amazônia. A área adjacente em pousio consiste de capoeira de 3 anos.

3.2. Amostragem radicular

A primeira coleta foi realizada em junho de 2007 em área de roça queimada com 6 meses de implantação utilizando os M-G para as profundidades de 0-10 cm, subdivididos em 0-5 e 5-10 cm, 10-20 e 20-30 cm, utilizando um quadro de 50 x 50 cm totalizando um volume de 25 dm³ por 10 cm e contando ainda com 5 pontos de amostragem distintos dentro da área da roça.

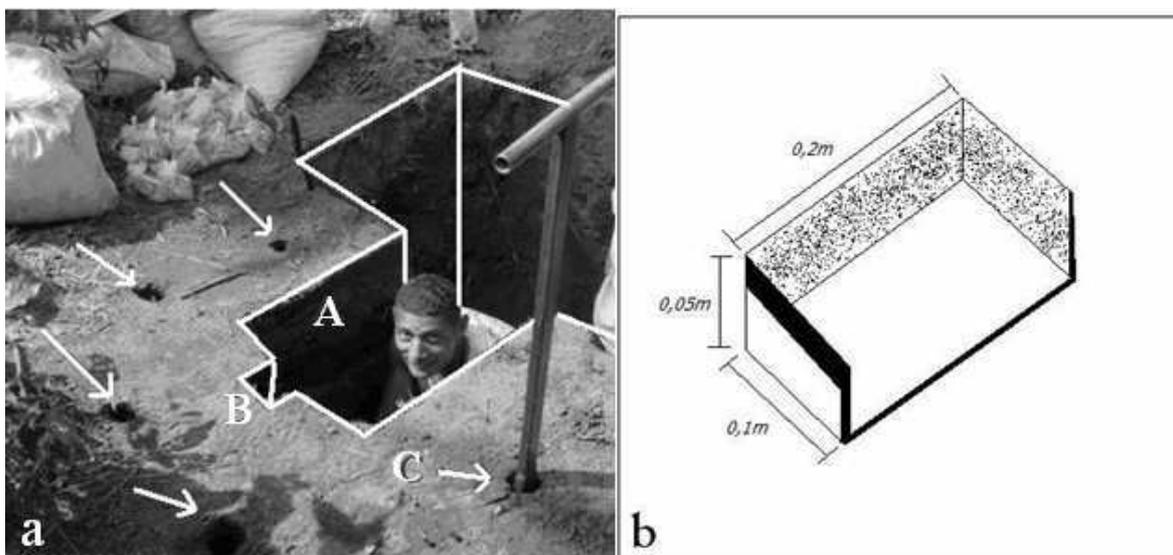


Figura 1: Foto do esquema de amostragem (a), com as posições do (A) M-G, (B) M-P e (C) Trd e (b) ilustração do M-P utilizado na coleta de amostras das raízes.

A segunda coleta ocorreu em dezembro de 2007 em uma capoeira próxima a área da roça queimada e na mesma área de roça queimada da primeira coleta. A coleta na capoeira seguiu o mesmo protocolo de amostragem para o M-G totalizando 5 pontos de amostragem. No espaço onde foram retirados os M-G, utilizando uma peça de metal cortante de 1dm^3 (Figura 1b) procedeu-se a retirada de um monólito de volume menor (M-P), nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm e com 3 repetições internas das faces abertas por cada M-G retirado (Figura 1a) e mais 5 pontos de amostragem distribuídos pela capoeira. Finalizando o esquema de amostragem, foram retiradas amostras utilizando o Trd com um volume de $196,3\text{ cm}^3$ circundando a área de onde foram retirados os M-G e M-P, num total de 5 repetições internas por ponto de amostragem e nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, conforme a diagramação da Figura 1a.

Ainda no mês de dezembro de 2007, novas amostras foram retiradas na roça queimada. Desta vez utilizando o M-P (Figura 1b) para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm nos mesmos pontos anteriormente amostrados em junho de 2007 aproveitando os buracos deixados pela coleta com M-G e novamente com 5 pontos de amostragem. Amostras de trado também foram retiradas para

as mesmas profundidades seguindo o mesmo protocolo de coleta com 5 repetições internas e os mesmos 5 pontos de amostragem.

Em julho de 2008 ocorreu a terceira coleta na área de roça de roça queimada e a segunda na área de capoeira. Como já tinham sido coletadas amostras para as profundidades de 0-30 cm, optou-se por um esquema de amostragem em maior profundidade. Novamente retirou-se amostras de 0-10 cm para manter a comparação em superfície, e depois retiradas amostras das profundidades como se segue: 40-50, 70-80 e 90-100 cm.

Foram abertas trincheiras em 3 pontos de amostragem somente nas dimensões de 1 x 0,75 x 1,20 m totalizando 3 trincheiras por área de coleta. De cada trincheira foram coletadas amostras para 1 M-G e 5 repetições internas de TR para as profundidades anteriormente citadas

Todas as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas da Universidade Estadual do Maranhão para o processamento das etapas seguintes.

3.3. Processamento das amostras radiculares

3.1.1 Lavagem e peneiramento úmido: o conteúdo da amostra individual ensacada foi despejado em um balde de volume conhecido e adicionada água para o destorroamento e separação das raízes do solo. Com uma peneira de 0,71 mm de malha foi realizado o peneiramento do material sobrenadante com diferentes ciclos de lavagem e peneiramento para a total remoção de raízes da amostra como se segue: M-G = 3 a 4 ciclos; MP = 2 a 3 ciclos; e TR = 2 a 3 ciclos de lavagem e peneiramento. Após isso as amostras foram acondicionadas em sacos de papel individuais e levadas a estufa de circulação forçada de ar quente por 48 h a 55 °C e após isso partiram para o armazenamento no Laboratório de Nutrição de Plantas da Universidade Estadual do Maranhão.

3.1.2 Classificação das raízes: o conteúdo das amostras era constituído de uma massa de raízes de diferentes diâmetros e grupos vegetais e ainda uma quantidade de carvão oriundo das queimadas anteriores. Distinguiu-se as raízes seguindo 2 critérios: (i) diâmetro radicular e (ii) origem taxonômica. (i) diâmetro limite para raízes “finas” e “grossas” difere entre espécies e posição das raízes (MAJDI et al., 2005), os limites mais comumente usados são menor ou maior do que 2 mm e menor ou maior do que 5 mm (SIERRA et al., 2003). Distinguiu-se, portanto entre ‘raízes finas’ (< 2 mm), ‘raízes intermediárias’ (2 a 5 mm) e ‘raízes grossas’ (> 5 mm). Combinou-se 2 classes de diâmetro (5 a 10 mm e > 10 mm) para uma simples classe de raízes grossas, para reduzir a alta variabilidade destas classes. (ii) Além disso, distinguiram-se as raízes por sua origem taxonômica em raízes da palmeira babaçu e raízes das demais espécies. Esta distinção foi facilitada pela cor característica marrom-avermelhada e a condição lignificada de suas raízes. Não foi feita uma tentativa para distinguir entre raízes vivas e mortas, devido à falta de objetivos e de um critério robusto de seleção (SIERRA et al., 2003).

3.1.3 Pesagem e separação de carvão e raízes finas: A grande dificuldade do presente trabalho foi na separação das frações mais finas representadas pelo carvão e das raízes < 2 mm. Utilizando uma balança de precisão foi feita a pesagem de todas as frações dos diferentes grupos e classes individualmente e para a fração mais fina utilizou-se o esquema de sub-amostras representativas. Após tomada a massa da amostra tomou-se uma sub-amostra representativa da massa total, utilizando uma pinça de relojoeiro foi feita a separação manual das diferentes frações (raízes de babaçu, outras raízes e carvão) e por diferença da massa total conseguiu-se o valor das massas para cada fração chegando-se aos valores estimados das massas das frações aqui diferenciadas.

3.4. Avaliação da precisão

Avaliou-se a precisão dos métodos do M-P e Trd tomando o M-G como referência, supostamente representando os valores 'verdadeiros'. Para esse propósito nós aplicamos os seguintes critérios:

- Tamanho e significância das diferenças nas estimativas de biomassa entre os métodos ao longo do perfil do solo;
- R^2 e valores de p dos modelos de regressão;
- Similaridade dos valores: relativos ao tamanho do 'intercept' e dos desvios de inclinação de 1:1;
- Porcentagem dos valores 'zero' errados (ex., falha em detectar a presença das respectivas classes de diâmetro radicular com M-P e Trd, e
- Variabilidade das estimativas (% Coeficiente de Variação - CV).

3.5. Avaliação do custo

Quantificou-se os custos de trabalho e o correspondente financeiro dos 3 esquemas contrastantes de amostragem distinguindo em amostragem (escavação), peneiramento e,ou lavagem, separação manual (separando o carvão e outras impurezas) e distinção em 4 classes de diâmetro e 2 grupos taxonômicos (raízes da palmeira babaçu e outras espécies). Os custos foram calculados em homem-dia (supondo pessoal bem treinado) e com custo financeiro associado, baseado em diárias no valor de R\$ 25,00 por 8 horas de trabalho por homem por dia.

3.6. Estatística

Testou-se todos os dados para a normalidade da distribuição (Testes Kolmogorov-Smirnov & Lilliefors). A normalidade de distribuição das estimativas de biomassa radicular foi conseguida através da transformação \ln para M-G e M-P das raízes de babaçu e das outras raízes e todas as classes de diâmetro. A porcentagem da biomassa radicular do babaçu apresentou distribuição normal. Possíveis redundâncias da relação entre as variáveis foram investigadas visualmente por meio de gráficos que relacionaram os valores residuais com os valores estimados. Os resíduos sempre seguiram uma distribuição normal, sem correlação entre eles e os valores estimados. Nenhuma redundância foi detectada com o teste de Duncan. A significância das ANOVAs e das análises de regressão é dada como *** ($p < 0,001$), ** ($p < 0,01$), * ($p < 0,05$) e n.s. ($p > 0,05$). As análises estatísticas foram efetuadas pelo programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2a e b compara as estimativas da biomassa radicular total (esquerda) e biomassa das raízes finas (direita) obtidas pelos 3 métodos na profundidade até um metro no perfil do solo. Diferenças amplas e sistemáticas entre os 3 métodos são evidentes para todas as classes de diâmetro através do perfil. As estimativas com Trd foram consistentemente maiores do que os valores de M-G, com diferenças significativas em quase todas as profundidades. Por contraste, as estimativas baseadas em valores obtidos com M-P têm diferenças intermediárias com os valores do M-G sem significância estatística dessas diferenças em muitos casos.

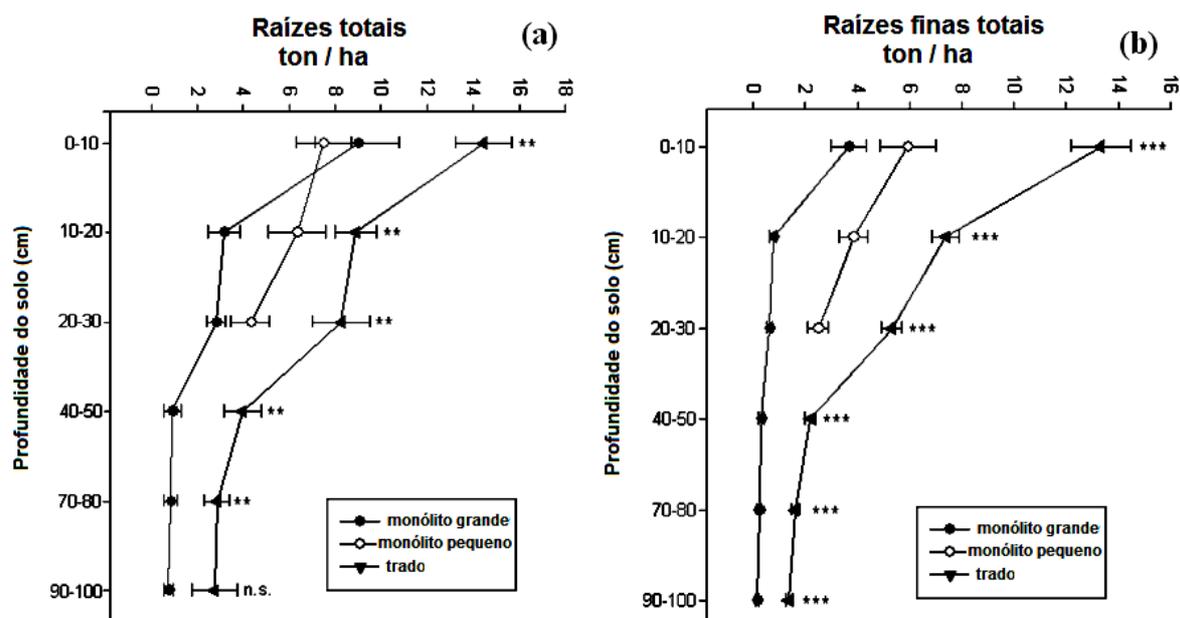


Figura 2: Biomassa radicular total (a) e biomassa das raízes finas (b) (\pm erro padrão) gerados por 3 métodos de amostragem radicular M-G (círculos fechados), M-P (círculos abertos) e Trd (triângulos fechados). Diferenças significativas entre os métodos na mesma camada de perfil do solo são indicadas pelas estrelas.

A Tabela 3 mostra as diferenças das estimativas (média, \pm erro padrão – EP) da biomassa radicular total ao longo de um metro no perfil do solo, nas duas áreas de estudo. Os valores médios de M-P mostram pequenas diferenças em relação ao M-G, já para o Trd os valores médios apresentados são maiores do que os de M-P e em relação aos valores de M-G. As possíveis diferenças nos valores encontrados podem ser devido ao número de amostras diferentes entre os métodos avaliados o não permite uma comparação mais precisa entre eles.

Tabela 3: Estratégias de amostragem radicular em pares (n = número de pontos de amostragem) e média (\pm erro padrão) das estimativas da biomassa radicular total (em toneladas por hectare por profundidade de solo) em duas áreas de estudo (cultivo e pousio).

| Prof. solo (cm) | Monólito grd. (M-G) | | | Monólito peq. (M-P) | | | Trado (Trd) | | |
|-----------------|---------------------|----------|----|---------------------|----------|----|-------------|----------|----|
| | Média | \pm EP | n | Média | \pm EP | n | Média | \pm EP | N |
| 0 - 10 | 8.97 | 1.82 | 13 | 7.49 | 1.19 | 10 | 14.46 | 1.21 | 10 |
| 10 - 20 | 3.17 | 0.70 | 13 | 6.34 | 1.23 | 10 | 8.90 | 0.92 | 10 |
| 20 - 30 | 2.80 | 0.39 | 13 | 4.32 | 0.85 | 10 | 8.26 | 1.24 | 10 |
| 40 - 50 | 0.92 | 0.36 | 6 | - | - | 0 | 3.98 | 0.83 | 6 |
| 70 - 80 | 0.83 | 0.28 | 6 | - | - | 0 | 2.84 | 0.53 | 6 |
| 90 - 100 | 0.74 | 0.20 | 6 | - | - | 0 | 2.74 | 0.97 | 6 |

A Tabela 4 mostra a porcentagem média do desvio das estimativas de M-P e Trd para as raízes totais finas estimadas, bem como as respectivas estimativas da porcentagem de contribuição da palmeira babaçu na biomassa radicular total e das raízes finas em comparação com valores do M-G.

Tabela 4: Qualidade das estimativas radiculares geradas por M-P e Trd: Comparação em pares e porcentagem de desvio dos valores de M-G.

| Prof. solo (cm) | Monólito pequeno | | | | Trado | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | Raízes finas (%) | Raízes totais (%) | % Babaçu nas raízes finas | % Babaçu nas raízes totais | Raízes finas (%) | Raízes totais (%) | % Babaçu nas raízes finas | % Babaçu nas raízes totais |
| | 0-10 | 101.1 | 59.1 | 141.0 | 243.6 | 432.3 | 123.1 | 95.4 |
| 10-20 | 421.5 | 197.9 | 121.8 | 189.7 | 981.2 | 166.4 | 83.3 | 187.9 |
| 20-30 | 296.3 | 145.3 | 139.3 | 129.8 | 659.7 | 284.5 | 108.7 | 59.6 |
| 40-50 | - | - | - | - | 1024.6 | 513.0 | 100.9 | 157.2 |
| 70-80 | - | - | - | - | 1032.8 | 397.7 | 120.9 | 85.4 |
| 90-100 | - | - | - | - | 1906.6 | 473.1 | 169.0 | 157.5 |
| média | 286.9 | 138.2 | 128.5 | 187.9 | 659.6 | 275.6 | 105.1 | 137.9 |

Como já foi comentado, ambos os métodos M-P e Trd superestimaram a biomassa radicular. A compactação do solo pode fornecer uma explicação parcial, porém não pode explicar este alto grau de superestimativa, já que os solos amostrados são arenosos (Tabela 1), e, portanto, presumivelmente, não estão sujeitos a sérios problemas de compactação durante a amostragem. A superestimativa relativa da biomassa aumenta com a profundidade, provavelmente como consequência do decréscimo dos valores absolutos da biomassa radicular com a profundidade. A superestimativa da massa radicular é mais acentuada pela amostragem do Trd do que pela amostragem com M-P.

A Tabela 5 sintetiza os resultados das análises entre os dados de M-P e Trd e os valores de M-G. As relações são mais fortes para raízes finas do que para as raízes médias e grossas.

Tabela 5: Síntese dos resultados das análises de regressão entre amostragem de M-P e Trd e dos valores gerados pelo M-G (que supostamente representam os valores reais).

| M-G/MP | Equação | R ² | p |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------|------|
| Raízes finas (< 2 mm) | $\ln(M-G) = -0.65 + 0.970 * \ln(M-P)$ | 0.43 | ** |
| Raízes médias (5-2 mm) | $\ln(M-G) = 6.51 + 0.076 * \ln(M-P)$ | | n.s. |
| Raízes grossas (> 5 mm) | $\ln(M-G) = 5.0 + 0.442 * \ln(M-P)$ | 0.34 | * |
| Raízes totais | $\ln(M-G) = 3.94 + 0.544 * \ln(M-P)$ | | n.s. |
| % Babaçu finas | $M-G = 11.11 + 0.614 * M-P$ | 0.25 | 0.06 |
| % Babaçu total | $M-G = 78.62 - 0.913 * M-P$ | 0.70 | *** |
| % Raízes finas | $M-G = -15.49 + 0.673 * M-P$ | 0.55 | ** |

| M-G/TR | Equação | R ² | p |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------|
| Raízes finas (< 2 mm) | $\ln(M-G) = -6.31 + 1.510 * \ln(Trd)$ | 0.78 | *** |
| Raízes médias (5-2 mm) | $\ln(M-G) = 4.97 + 0.205 * \ln(Trd)$ | | n.s. |
| Raízes grossas (> 5 mm) | $\ln(M-G) = -1.85 + 1.110 * \ln(Trd)$ | 0.41 | 0.06 |
| Raízes totais | $\ln(M-G) = -4.33 + 1.368 * \ln(Trd)$ | 0.56 | *** |
| % Babaçu finas | $M-G = 57.03 - 0.352 * Trd$ | | n.s. |
| % Babaçu total | $M-G = 16.69 + 0.340 * Trd$ | 0.09 | 0.07 |
| % Raízes finas | | | n.s. ⁽¹⁾ |

(1): distribuição não-normal dos valores de T-R, Spearman R = 0.35*

As Figuras 3 e 4 detalham as relações entre as estimativas baseadas no M-P e Trd e os valores de M-G para as raízes finas. As relações são similares nos primeiros 30 cm do perfil do solo. A inclinação da reta da regressão é mais acentuada para as estimativas do Trd do que para o M-P, resultando em uma forte e significativa superestimativa da biomassa radicular para os valores baseados nas estimativas com Trd representados nas Figuras 2a e b.

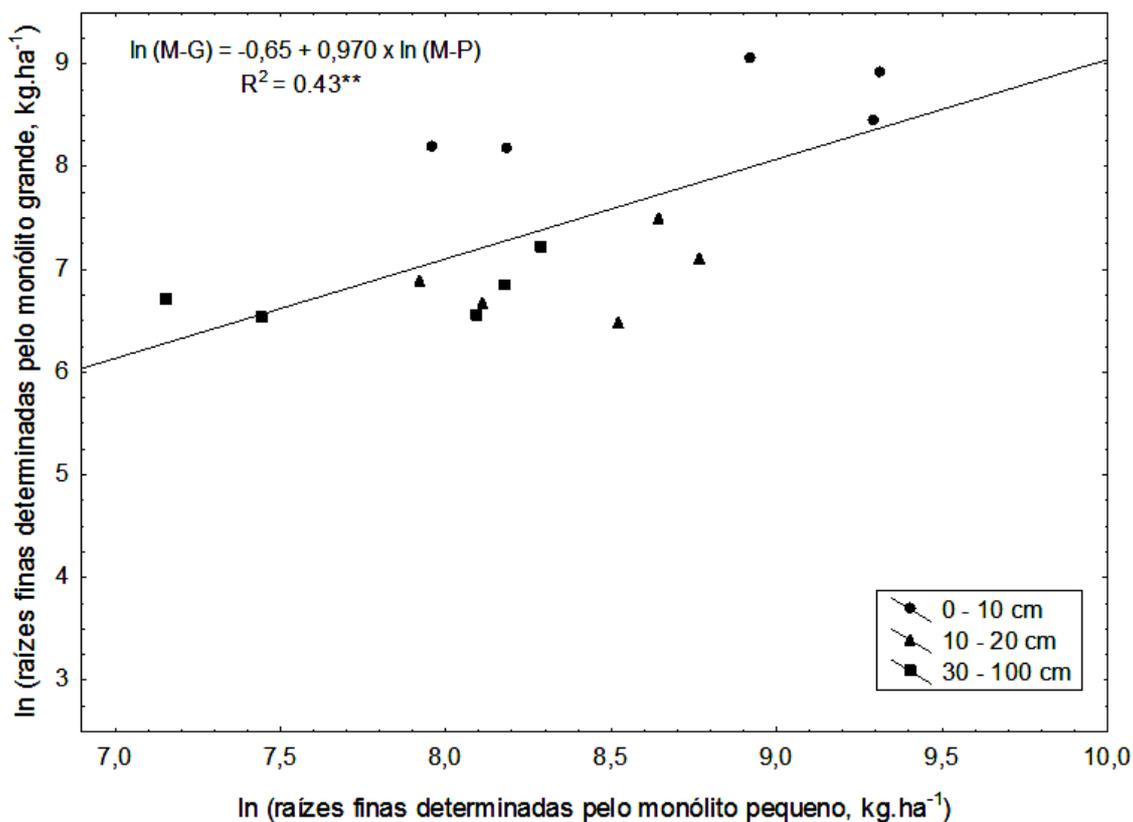


Figura 3: Relação In-linear entre as estimativas das raízes finas geradas pelos métodos M-P e M-G.

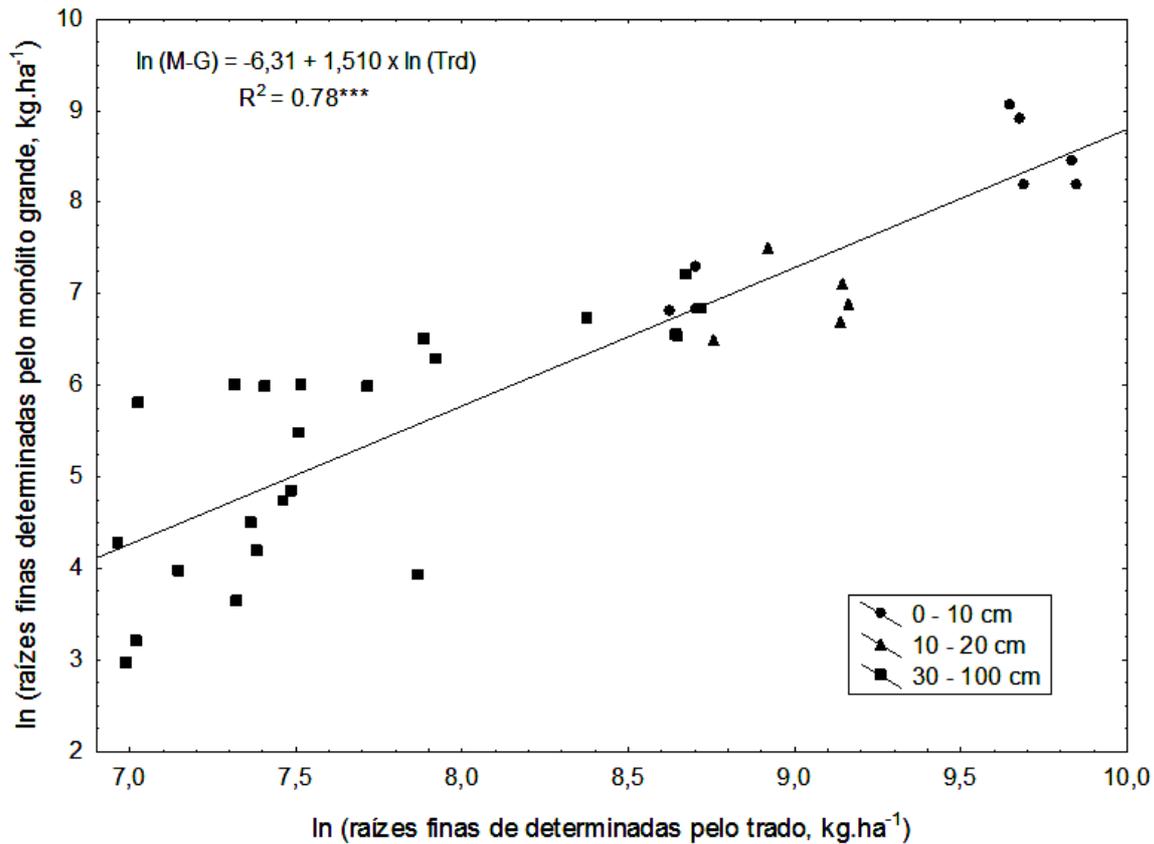


Figura 4: Relação In-linear entre as estimativas das raízes finas geradas pelos métodos Trd e M-G.

A habilidade ou falha dos diferentes métodos de amostragem radicular em detectar a presença de todas as frações de raízes presentes no solo (como constatado pelos resultados de M-G) foi definido como mais um critério de qualidade e confiabilidade dos métodos de amostragem radicular. A Tabela 6 mostra a porcentagem das estimativas dos valores 'zero' falsos gerados pelos métodos M-P e Trd. Os métodos de M-P e Trd sempre detectaram raízes finas (de babaçu e outras raízes) quando presentes. Como era esperado, as porcentagens de valores 'zero' falsos aumentaram conforme o aumento do diâmetro radicular e com o aprofundamento no perfil do solo (ex., com diminuição da densidade radicular), ambos para as raízes da palmeira babaçu e as raízes de outras origens. O método M-P teve melhor desempenho do que o método Trd. No entanto, ambos os métodos, principalmente o Trd, falharam em detectar as raízes grossas, o que leva à conclusão que ambos os métodos não são confiáveis para raízes com diâmetro > 2 mm, mas pode ser considerada a possibilidade do método M-P detectar raízes médias.

Tabela 6: Porcentagem das estimativas de 'zero' falsos gerados pelos métodos M-P e Trd (como verificados pelos valores de M-G).

| | Monólito pequeno (M-P) | | | Trado (Trd) | | |
|--------|------------------------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|
| | 0-10 cm | 10-40 cm | 40-100 cm | 0-10 cm | 10-40 cm | 40-100 cm |
| > 5 mm | 0 | 30 | - | 62.5 | 60 | 46.2 |
| 5-2 mm | 0 | 0 | - | 50 | 20 | 16.7 |
| < 2 mm | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |

Como era esperado, a variabilidade aumentou quando se aprofundou no perfil do solo, e foi maior para as raízes grossas do que para as classes de diâmetro mais finas em todos os três métodos de amostragem, refletindo na variabilidade natural de ocorrência das raízes (Tabela 7). No entanto, a variabilidade também foi afetada pelo método de amostragem radicular, sendo substancialmente mais elevada no Trd, exceto para as raízes finas de uma modo

geral, do que no M-P e M-G. Assim enxerga-se a alta variabilidade associada aos dados do Trd como uma séria desvantagem deste método quando queremos estimar a biomassa de raízes maiores do que 2 mm. Não se tem informações, se um aumento da quantidade das repetições internas (ex., mais do que 5 repetições internas aplicadas neste estudo), poderia ter reduzido a variabilidade (e ao mesmo tempo ter aumentado a quantidade de trabalho destinado à coleta das amostras). Em um estudo envolvendo estimativa da biomassa de gramíneas com Trd, Bengough et al. (2000) não detectaram redução sistemática do %CV entre 4 e 100 repetições, sugerindo que a variabilidade dos dados de Trd é mais uma consequência de volumes insuficientes das amostras (196,3 cm³ em trado padronizado). A variabilidade excessiva das estimativas de raízes grossas em ambos os métodos M-P e Trd põem em questão a relevância das estimativas das raízes grossas geradas por esses métodos. Os volumes das amostras de ambos os métodos obviamente são insuficientes para adequadamente cobrir a variabilidade espacial de escala maior das raízes grossas.

Tabela 7: Variabilidade associada com os 3 métodos de amostragem radicular: %CV das classes de raízes investigadas ao longo do perfil do solo.

| Classe diâmetro | Monólito grande (M-G) | | | Monolito pequeno(M-P) | | | Trado (Trd) | | |
|--------------------|-----------------------|-------------|--------------|-----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | 0-10 cm | 10-40 cm | 40-100 cm | 0-10 cm | 10-40 cm | 40-100 cm | 0-10 cm | 10-40 cm | 40-100 cm |
| > 5 mm | 127.3 | 107.9 | 169.5 | 104.0 | 196.2 | - | 216.4 | 232.3 | 238.6 |
| 5-2 mm | 81.1 | 56.8 | 96.5 | 52.8 | 136.0 | - | 132.7 | 123.5 | 133.4 |
| < 2 mm | 63.0 | 60.6 | 83.1 | 50.0 | 49.3 | - | 42.3 | 31.2 | 36.8 |
| Raízes totais | 73.0 | 67.3 | 80.3 | 50.1 | 63.8 | - | 33.5 | 39.2 | 60.5 |
| %Babaçu < 2 mm | 36.8 | 23.5 | 43.7 | 23.4 | 15.9 | - | 24.1 | 15.1 | 14.5 |
| %Babaçu | 51.0 | 61.9 | 62.0 | 18.2 | 26.1 | - | 23.8 | 32.7 | 45.7 |

A Tabela 8 dá uma visão geral da demanda de trabalho e o correspondente custo financeiro por amostra radicular (ex., composto de 1 a 5 sub-amostras por ponto e faixa de amostragem no perfil do solo) para os 3 métodos de amostragem. Enquanto a necessidade de trabalho para amostragem no campo envolvendo pequenos volumes de amostra é somente metade (M-P) ou um terço (Trd) daquelas associadas com o método M-G, esta economia é compensada pelo aumento da necessidade de trabalho para lavagem e especialmente para a limpeza e separação das amostras em classes de diâmetro. A alta exigência de trabalho para o processamento das raízes está em concordância com outros estudos (VOGT et al., 1998). Os custos totais para os 3 métodos de amostragem são similares (0,23 – 0,25 homem-dia por amostra). Em situações de campo, onde a amostragem radicular não necessita minimizar as perturbações associadas, recomenda-se portanto a amostragem com M-G como método de amostragem preferível.

Tabela 8: Custos estimados de trabalho e financeiro envolvidos nos 3 esquemas de amostragem.

| Método | Nº repetições internas | 1º estágio: Amostragem em campo | | 2º estágio: Lavagem | | 3º estágio: Separação e pesagem | | Custo total por amostra radicular total minutos | Homem-dia por amostra | R\$ por amostra |
|--------|----------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|--|-----------------------|-----------------|
| | | minutos/ repetição | minutos/ amostra | minutos/ repetição | minutos/ amostra | minutos/ repetição | minutos/ amostra | | | |
| M-G | 1 (25 dm ³) | 60 | 60 | 20 | 20 | 30 | 30 | 110 | 0.23 | 5,72 |
| MP | 3 (1 dm ³) | 10 | 30 | 10 | 30 | 20 | 60 | 120 | 0.25 | 6,26 |
| TR | 5 (196,3 cm ³) | 4 | 20 | 8 | 40 | 10 | 50 | 110 | 0.23 | 5,72 |

5. CONCLUSÃO

- ✓ Como era de esperar, as raízes grossas precisam ser quantificadas com M-G.
- ✓ A amostragem radicular em pequenos volumes de amostras não resulta em significantes reduções das exigências de trabalho.
- ✓ Recomenda-se o método M-G como esquema de amostragem confiável em situações de campo em que as perturbações associadas não representam um problema.
- ✓ Em situações de campo em que perturbações do solo causadas pelos grandes volumes de solo precisam ser evitadas, as raízes finas podem ser quantificadas com precisão razoável com amostragem pelos métodos de M-P e Trd.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao suporte financeiro pelo Conselho Nacional de Pesquisa CNPq (CT-Universal 02/2006), também a concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor pelo convênio CAPES/FAPEMA.

7. REFERÊNCIAS

- ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. Nutrient cycling in forests. **New Phytologist**, v. 124, p. 561-582, 1993.
- BENGOUGH, A.G.; CASTRIGNANO, A.; PAGES, L.; VAN NOORDWIJK, M. Sampling strategies, scaling, and statistics, Em: SMIT, A.L., BENGOUGH, A.G., ENGELS, C. VAN NOORDWIJK, M. (Eds.), **Root methods**. Springer, Berlin, p 147-173, 2000.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. New York, Springer-Verlag, 1979. 194 p.
- CAIRNS, M.A.; BROWN, S.; HELMER, E.M.; BAUM-GARDNER, G.A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, p. 1-11, 1997.
- CASPER, B.B.; JACKSON, R.B. 1997. Plant underground competition. **Annual Review in Ecology and Systematics**, v. 28, p. 545-570, 1997.
- EISSENSTAT, D.M.; WELLS, C.E.; YANAI, R.D.; WHITBECK, J.L. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. **New Phytologist**, v. 147, p. 33-42, 2000.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412p.
- ESPLETA, J.F.; CLARK, D.A. Multi-scale variation in fine root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. **Ecological Monographs**, v. 77(3), p. 377-404, 2007.
- FITTER, A.H. An architectural approach to the comparative ecology of plant root systems. **New Phytologist**, v. 106 (Suppl.), p.61-77, 1987.
- GILL, R.A.; JACKSON, R.B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v. 147, p. 13-31, 2000.
- GÖTTLICHER, S.G.; TAYLOR, A.F.S.; GRIP, H.; BETSON, N.R.; VALINGER, E.; HÖGBERG, M.N.; HÖGBERG, P. The lateral spread of tree root systems in boreal forests: Estimates based on ¹⁵N uptake and distribution of sporocarps of

ectomycorrhizal fungi. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 75-81, 2008.

HENDRICKS, J.J.; NADELHOFFER, K.J.; ABER, J.D. ^{15}N tracer technique for assessing fine root production and mortality. **Oecologia**, v. 112, p. 300-304, 1997.

KAUFFMAN, J.B. Survival by sprouting following fire in tropical forests of the eastern Amazon. **Biotropica**, v. 23(3), p. 219-224, 1991.

MAJDI, H.; PREGITZER, K.S.; MORÉN, A.S.; NYLUND, J.-E.; ÅGREN, G.I. Measuring fine root turnover in forest ecosystems. **Plant and Soil**, v. 276, p. 1-8, 2005.

MIYANISHI, K.; KELLMAN, M. The role of nutrient reserves in regrowth of two savanna shrubs. **Canadian Journal of Botany**, v. 64, p. 1244-1248, 1986.

PEEK, M.S.; FORSETH, I.N. Non-destructive estimation of lateral root distribution in an aridland perennial. **Plant and Soil**, v. 273, p. 211-217, 2005.

ROBINSON, D. Scaling the depths: below-ground allocation in plants, forests and biomes. **Functional Ecology**, v. 18, p. 290-295, 2004.

SCHROTH, G.; KOLBE, D.; PITY, B.; ZECH, W. Root system characteristics with agroforestry relevance of nine leguminous tree species and a spontaneous fallow in a semi-deciduous rainforest area of West Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 84, p. 199-208, 1996.

SIERRA, C.A.; DEL VALLE, J.I.; ORREGO, S.A. Accounting for fine root mass sample losses in the washing process: a case study from a tropical montane forest of Colombia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p.599-601, 2003.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, v. 241, p. 155-176, 2002.

SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. **Plant and Soil**, v. 219, p.231-241, 2000.

SOMMER, R.; VLEK, P.L.G.; SÁ, T.D.A.; VIELHAUER, K.; COELHO, R.F.R.; FÖLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon - evidence for subsoil nutrient accumulation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 68, p. 257-271, 2004.

SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v. 45, p. 127-152, 1991.

VOGT, K.A.; VOGT, D.J.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production at an ecosystem level. **Plant and Soil**, v. 200, p. 71-89, 1998.

WAHID, P.A. Radioisotope studies of root activity and root-level interactions in tree-based production systems: a review. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 54, p.715-736, 2001.

Anexo 1: Estrutura dos dados do presente estudo, separado nos 3 métodos de amostragem (M-G, M-P, Trd) e em 3 principais horizontes (0 - 10 cm superfície, 10 - 40 cm meio, 40 - 100 cm subsolo). Biomassa radicular em toneladas por hectare.

| | Monólito grande (M-G) | | | | Monólito pequeno (M-P) | | | | Trado (Trd) | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|------|-------|--------------------------------|------------------------|------|------|--------------------------------|-------------|--------|-------|--------------------------------|-------|------|------------|
| | Média | Min | Max | Erro Pdr. Distr. ¹⁾ | Média | Min | Max | Erro Pdr. Distr. ¹⁾ | Média | Min | Max | Erro Pdr. Distr. ¹⁾ | | | |
| ----- 0 - 10 cm ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| Raízes totais | 8.97 | 1.37 | 21.91 | 1.82 | ln | 7.49 | 2.45 | 12.91 | 1.19 | normal | 14.46 | 5.58 | 22.44 | 1.21 | ln |
| Raízes finas | 3.66 | 0.92 | 8.61 | 0.67 | ln | 5.92 | 1.72 | 11.12 | 1.07 | ln | 13.34 | 5.58 | 18.91 | 1.16 | ln |
| Raízes finas babaçu | 1.39 | 0.09 | 3.67 | 0.31 | ln | 3.12 | 0.59 | 7.31 | 0.69 | ln | 4.81 | 2.47 | 7.79 | 0.41 | ln |
| % Raízes finas | 47,1 | 15.1 | 76.7 | 5,9 | normal | 78.0 | 61.3 | 94.3 | 4.1 | normal | 93.6 | 53.7 | 100.0 | 2.9 | non-normal |
| % babaçu nas raízes finas | 34,7 | 9.7 | 57.5 | 3,5 | normal | 48.9 | 32.1 | 65.5 | 3.6 | normal | 38.6 | 22.4 | 54.4 | 2.3 | ln |
| ----- 10 - 40 cm ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| Raízes totais | 2.99 | 0.60 | 8.57 | 0.39 | normal | 5.33 | 0.81 | 14.12 | 0.76 | normal | 8.58 | 5.05 | 1.60 | 0.75 | normal |
| Raízes finas | 0.69 | 0.13 | 1.77 | 0.08 | normal | 3.16 | 0.32 | 6.44 | 0.37 | normal | 6.36 | 3.84 | 9.57 | 0.39 | normal |
| Raízes finas babaçu | 0.31 | 0.04 | 0.81 | 0.004 | normal | 1.72 | 0.12 | 3.37 | 0.22 | normal | 2.32 | 0.90 | 4.47 | 0.18 | normal |
| % Raízes finas | 26.7 | 4.0 | 60.6 | 2.7 | normal | 65.3 | 38.2 | 93.5 | 4.0 | normal | 83.3 | 48.7 | 100.0 | 2.8 | non-normal |
| % babaçu nas raízes finas | 43.4 | 24.2 | 67.1 | 2.0 | normal | 53.4 | 38.0 | 64.5 | 1.9 | normal | 39.0 | 25.7 | 50.7 | 1.3 | normal |
| ----- 40 - 100 cm ----- | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|-------|-------|------|--------|---|---|---|---|------|------|-------|------|--------|
| Raízes totais | 0.83 | 0.02 | 2.57 | 0.16 | normal | - | - | - | - | 3.19 | 1.19 | 7.52 | 0.45 | normal |
| Raízes finas | 0.22 | 0.02 | 0.67 | 0.05 | ln | - | - | - | - | 1.72 | 1.06 | 2.77 | 0.13 | normal |
| Raízes finas babaçu | 0.11 | 0.004 | 0.34 | 0.03 | ln | - | - | - | - | 0.85 | 0.53 | 1.61 | 0.07 | normal |
| % Raízes finas | 41.3 | 2.2 | 100.0 | 7.5 | normal | - | - | - | - | 71.9 | 16.9 | 100.0 | 5.4 | normal |
| % babaçu nas raízes finas | 40.0 | 7.9 | 62.0 | 4.1 | normal | - | - | - | - | 50.5 | 40.7 | 63.6 | 1.7 | normal |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Foto do esquema de amostragem (a), com as posições do (A) M-G, (B) M-P e (C) Trd e (b) ilustração do M-P utilizado na coleta de amostras das raízes. | 32 |
| 2. | Biomassa radicular total (a) e biomassa das raízes finas (b) (\pm erro padrão) gerados por 3 métodos de amostragem radicular M-G (círculos fechados), MP (círculos abertos) e TR (triângulos fechados). Diferenças significativas entre os métodos na mesma camada de perfil do solo são indicadas pelas estrelas. | 37 |
| 3. | Relação In-linear entre as estimativas das raízes finas geradas pelos métodos M-P e M-G. | 40 |
| 4. | Relação In-linear entre as estimativas das raízes finas geradas pelos métodos Trd e M-G. | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Características físicas do solo das duas áreas de estudo (médias de um total de 68 amostras). | 31 |
| 2. | Características químicas do solo das duas áreas de estudo (medianas de um total de 68 amostras). | 31 |
| 3. | Estratégias de amostragem radicular em pares (n = número de pontos de amostragem) e média (\pm erro padrão) das estimativas da biomassa radicular total (em toneladas por hectare por perfil de solo) em 2 áreas de estudo (cultivo e pousio). | 37 |
| 4. | Qualidade das estimativas radiculares geradas por M-P e Trd: Comparação em pares e porcentagem de desvio dos valores de M-G. | 38 |
| 5. | Síntese dos resultados das análises de regressão entre amostragem de M-P e Trd e dos valores gerados pelo M-G (que supostamente representam os valores reais). | 39 |
| 6. | Porcentagem das estimativas de 'zero' falsos gerados pelos métodos M-P e Trd (como verificados pelos valores de M-G). | 41 |
| 7. | Variabilidade associada com os 3 métodos de amostragem radicular: %CV das classes de raízes investigadas ao longo do perfil do solo. | 42 |
| 8. | Custo estimado de trabalho e financeiro envolvidos nos 3 esquemas de amostragem. | 43 |
| 9. | Anexo 1: Estrutura dos dados do presente estudo, separado nos 3 métodos de amostragem (M-G, MP, TR) e nos 3 principais horizontes (0 - 10 cm superfície, 10 - 40 cm meio, 40 - 100 cm subsolo). Biomassa radicular em toneladas por hectare. | 50 |

CAPÍTULO III

**BIOMASSA RADICULAR E A PARTICIPAÇÃO DA PALMEIRA RUDERAL
BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart.) SOB SISTEMA DE AGRICULTURA
ITINERANTE NA PERIFERIA SUDESTE DA AMAZÔNIA.**

**BIOMASSA RADICULAR E A PARTICIPAÇÃO DA PALMEIRA RUDERAL
BABAÇU (*Attalea speciosa* Mart.) SOB SISTEMA DE AGRICULTURA
ITINERANTE NA PERIFERIA SUDESTE DA AMAZÔNIA.**

João Thiago Rodrigues de Sousa¹; Christoph Gehring¹

¹ Mestrado em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo VI s/n Tirirical, 65000-000, São Luís-MA, Brasil.

RESUMO

Neste artigo quantificou-se a biomassa radicular ao longo de 1 metro de profundidade em um agroecossistema de corte-e-queima intensamente explorado na periferia sudeste de Amazônia, em uma área de agricultura itinerante com 0,5 ano (feijão) e 1,5 anos depois (mandioca, fim da fase de cultivo) de idade, e em uma capoeira (pousio) adjacente de 3 anos de idade. A biomassa radicular total foi de 12,7 t/ha no final da fase de cultivo e 38,7 t/ha na área de pousio, resultando em relações raiz:parte aérea bem acima dos valores da literatura. Observou-se que de 33% a 41% do total das raízes e de 47% a 55% das raízes finas estavam concentradas nos primeiros 10 cm. Raízes finas e grossas tiveram relações estreitas umas com as outras, ao cultivo foi associado com uma significativa perda de raízes finas na superfície do solo. Atenção especial por parte deste estudo foi dada às raízes da palmeira ruderal babaçu, pois esta é dominante em vastas áreas de terras degradadas por toda a Amazônia. Enquanto que a contribuição do babaçu para biomassa radicular total foi similar verificada para a biomassa aérea, a porcentagem nas raízes finas foi substancialmente maior, apontando para a grande força competitiva desta palmeira. A distribuição vertical das raízes grossas do babaçu foi marcadamente mais profunda que o restante da vegetação, um importante fator para a excelente tolerância do babaçu aos constantes ciclos de corte-e-queima e ao longo período de estiagem, também uma séria dificuldade para os esforços de

controle de sua densidade. Observou-se uma forte relação entre as raízes finas de babaçu e aquelas de outras origens taxonômicas por todo o perfil do solo, indicando que ambos os componentes compartilham os mesmos nichos ecológicos, com conseqüente competição direta, em vez de uma suposta complementaridade vertical ou de um bombeamento pelo babaçu de nutrientes lixiviados para o sub-solo.

Palavras – chaves: competição radicular, raízes grossas, raízes finas, partição de nichos, floresta secundária, perfil do solo, diferenciação vertical.

ROOT BIOMASS IN A SLASH-AND-BURN AGRICULTURE OF SOUTHEASTERN PERIPHERY OF AMAZONIA, AND THE PARTICIPATION OF THE RUDERAL BABASSU PALM (*Attalea speciosa* Mart.)

ABSTRACT

This paper quantifies root biomass down to 1 meter depth in an intensely exploited slash-and-burn agroecosystem in southeastern Amazonia, in a shifting cultivation field at 0,5 yrs (beans) and 1,5 yrs (cassava, end of cultivation phase), and in a neighboring 3-yr.-old secondary (fallow) forest. Total root biomass was 12.7 t / ha at the end of cultivation, and 38.7 t / ha in the fallow site, resulting in root:shoot ratios well above literature values. 33-41% of all roots and 47-55% of fine roots were concentrated in the top 10 cm. Fine and coarse roots were closely related to one another, cultivation was associated with a significant loss of fine roots in the topsoil. Special focus is on the roots of the ruderal babassu palm, which has turned dominant in vast areas of degraded lands throughout Amazonia. Whereas babassu shares in total root biomass were similar to aboveground biomass shares, shares in fine roots were substantially higher, pointing to the great competitive strength of this palm. Vertical distribution of babassu coarse roots was markedly deeper than that of remaining vegetation, an important factor for the excellent tolerance of babassu to repeated slash-burning and a serious difficulty for efforts to control its density. We found a strong relationship between fine roots of babassu and of other taxonomic origin throughout the soil profile, indicating that both components occupy similar ecological niches and are in direct competition to another, rather than the supposed (vertical) resource complementarity or deepsoil pumping by babassu.

Keywords: belowground competition, coarse roots, fine roots, niche partitioning, ruderal palm, secondary forest, soil profile, vertical differentiation.

1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia Brasileira, a agricultura de corte-de-queima de pequena escala, é praticada em uma área maior do que 10 milhões de ha, sustenta meio milhão de pessoas e fornece cerca 80% da produção de alimentos da região (SERRÃO, 1995). O rápido declínio de fertilidade durante a curta fase de cultivo e a dinâmica de recuperação natural da vegetação de pousio são decisivos para a produtividade e sustentabilidade deste tradicional sistema de uso da terra (BROWN & LUGO, 1990; PALM et al., 1996; SZOTT et al., 1999). Recomendações de manejo desenhados para melhorar o uso da terra através da agricultura itinerante requerem um entendimento dos mecanismos, processos e interações que levam a perda de fertilidade durante o cultivo e a recuperação da capacidade produtiva ao longo do pousio. A agricultura de corte-e-queima é também um importante componente na dinâmica mundial de carbono (HALL & UHLIG, 1991; SCHROEDER & WINJUM, 1995; HOUGHTON ET AL., 2000; GRACE, 2004).

A preocupação com a sustentabilidade desta forma de uso da terra, ou falta dela, está aumentando nos trópicos, devido à crescente pressão de uso da terra e do encurtamento do período de pousio. Muitas pesquisas tem sido dedicadas para definir um mínimo ou ótimo tempo de pousio (KLEINMANN et al., 1996; MERTZ, 2002) e desenvolver opções de manejo alternativo ou melhorado (KOTTO-SAME et al., 1997; DENICH et al., 2005; ALEGRE et al., 2005; KOUTIKA, 2005). Um sintoma característico de degradação do agroecossistema de corte-e-queima é o aumento na dominância de espécies ruderais agressivas, durante ambas as fases de cultivo e pousio (de ROUW, 1995; SZOTT et al., 1999). Isto pode desacelerar a sucessão secundária e reduzir a produtividade dos cultivos subseqüentes, devido à competição.

As raízes exercem um papel central no funcionamento do agroecossistema da agricultura itinerante, no equilíbrio competitivo entre os cultivos da roça e os diferentes grupos funcionais da capoeira, e no estoque e dinâmica de carbono do solo. No entanto, muito pouco é conhecido da dinâmica durante as fases de cultivo e pousio (HUGHES et al., 1999; SOMMER et al., 2000; JARAMILLO et al., 2003). Isto está associado a sérios problemas metodológicos na quantificação radicular. As raízes continuam sendo a parte oculta deste ambiente alterado pelo homem e também da maioria dos ecossistemas naturais.

Historicamente, a periferia sudeste da Amazônia, foi a primeira a ser colonizada e então representa a mais antiga região na qual se pratica a agricultura de corte-e-queima da Amazônia. A densidade demográfica está igualmente entre as mais altas da Amazônia, resultando em intensa exploração com fases de pousio, tipicamente, com apenas 2 a 3 anos de cultivo. Neste sentido, temos aqui uma representação do futuro de muitos outros agroecossistemas de corte-e-queima do mundo. A frequência excessiva de queimadas e períodos de pousio insuficientes tem causado severa degradação ambiental e estão associados com uma produtividade agrícola marginal e a pobreza rural.

Uma característica comum de terras degradadas pelo corte-e-queima é a excessiva dominância da palmeira babaçu. Embora ocorra naturalmente na floresta Amazônica primária, a importância do babaçu tem aumentado drasticamente com o uso da terra pelo homem. Esta palmeira é virtualmente onipresente e domina as paisagens antropogenicamente transformadas como resultado da agricultura itinerante e extensivas pastagens (MUNIZ, 2004). A dominância desta espécie ruderal é resultado de vários fatores socioeconômicos

e ecológicos. O aumento inicial na dominância ocorre com o início da ação antropogênica, por exemplo, o desmatamento da floresta primária e devido à implantação da roça poupando as palmeiras adultas (produtivas) dedicadas para a produção de óleo. Esta prática de poupar as palmeiras adultas continua sendo uma característica do manejo em todos os ciclos de corte-e-queima, desse modo dando ao babaçu uma importante vantagem competitiva sobre os outros componentes da vegetação espontânea. Além desta vantagem socioeconômica, o aumento da dominância do babaçu também é consequência de sua excelente adaptação ao frequente corte-e-queima do componente aéreo. A dormência dos seus frutos é quebrada com as altas temperaturas provocadas pelo fogo, causando germinação simultânea após a queima quando as condições de crescimento são ótimas. Além disso, o meristema apical das palmeiras juvenis (palmeiras ainda sem um tronco aéreo lenhoso) está bem protegido de 0,5 a 1 metro abaixo do solo. Deste modo, as palmeiras nesta fase estão bem protegidas do corte-e-queima e também contra qualquer esforço mecânico de eliminação e mais ainda resistência contra utilização dos herbicidas mais comuns, comprometendo seriamente a habilidade dos produtores de efetuar um manejo racional desta palmeira.

2. OBJETIVOS

- a. Quantificar a biomassa radicular ao longo de 1,5 anos de cultivo e em vegetação espontânea de pousio de 3 anos de idade;
- b. Verificar a composição dos diâmetros radiculares e a proporção das raízes finas;
- c. Verificar a distribuição vertical das raízes ao longo de 1 metro de profundidade do solo e;
- d. Verificar a participação da palmeira ruderal babaçu no estoque da biomassa radicular total e nas raízes finas, na superfície e ao longo do perfil do solo.

Os resultados aqui gerados são relevantes para um melhor entendimento da dinâmica de regeneração (resiliência) da vegetação de pousio e da dinâmica de carbono radicular como importantes critérios de sustentabilidade desta agricultura itinerante com curtos tempos de pousio. Foi dado um foco especial na dinâmica radicular e na força competitiva da palmeira ruderal babaçu dentro deste agroecossistema degradado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Região e Local de estudo

A pesquisa foi conduzida na periferia sudeste da Amazônia, na Ilha de São Luis, Estado do Maranhão (2°41'S, 44°16'W). O clima é classificado de acordo com Köppen como *Aw*, com cerca de 2000 mm de precipitação anual, concentrado na sua maioria em 7 meses de estação chuvosa.

Foram estudadas duas áreas, as quais representam a fase de cultivo e a fase de pousio do corte-e-queima baseado na agricultura itinerante. O estudo na área de cultivo cobriu 1,5 anos de cultivo com uma seqüência de milho (*Zea mays* L.) consorciado com arroz (*Oryza sativa* L.) seguido por feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), seqüência típica para a agricultura familiar na Amazônia. A área em pousio consiste de uma capoeira de 3 anos de idade.

Os solos das áreas de estudo são classificados NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (EMBRAPA, 2006), são ácidos e de baixa fertilidade (Tabela 1), sem diferenças sistemáticas na textura ou densidade do solo entre duas áreas (dados não apresentados).

Tabela 1: Características físicas do solo das duas áreas de estudo (médias de um total de 68 amostras).

| Prof. Solo | % Areia grossa (2-0,2 mm) | % Areia fina (0,02-0,05 mm) | % Silte (0,05-0,002 mm) | % Argila (<0,002 mm) | Densidade (g/cm ³) |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 0-10 cm | 32.4 | 56.4 | 2.8 | 8.3 | 1.28 |
| 10 - 40 cm | 33.7 | 55.3 | 3.3 | 7.6 | 1.34 |
| 40 - 100 cm | 33.8 | 53.5 | 4.8 | 7.9 | 1.40 |

Embora ácido e pobre em nutrientes, o corte-e-queima influenciou substancialmente nos parâmetros químicos da fertilidade do solo. O pH, P-trocável e os níveis de cátions continuaram elevados depois de 1,5 anos de cultivo (Tabelas 2a e b). Com exceção do K, este aumento foi significativo abaixo os 50 ou 80 cm (teste-U Mann-Whitney $p < 0.05$). As concentrações de matéria orgânica do solo (MOS) foram significativamente mais altos na área de cultivo. No entanto, esta elevação da MOS se limitou às camadas superficiais do solo e às frações de baixa densidade ($<1,8 \text{ g.cm}^{-3}$) e então de natureza lábil (ex., material vegetal em fase de decomposição) ou carvão (ALMEIDA ALVES 2009).

Tabela 2a: Características químicas do solo da área de cultivo após 1,5 anos de cultivo (medianas de um total de 56 amostras)

| Prof. Solo | pH (CaCl ₂) | MOS (g/kg) ¹ | P (mg/kg) ² | K (mg/kg) ² | Ca (mg/kg) ³ | M-G (mg/kg) ³ |
|-------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 0-10 cm | 5,20 | 44,8 | 49,8 | 9,4 | 867,9 | 173,6 |
| 10 - 40 cm | 5,30 | 22,3 | 11,1 | 2,9 | 358,3 | 125,4 |
| 40 - 100 cm | 4,90 | 9,0 | 4,6 | 2,6 | 130,2 | 64,2 |

1) Bloco digestor; 2) Extração por resina; 3) Extração 1M KCl

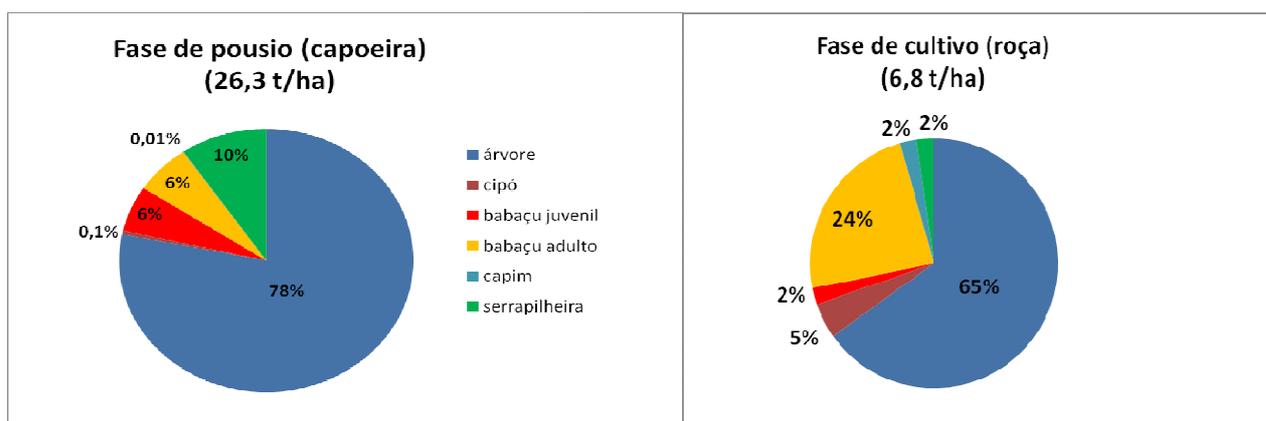
Tabela 2b: Características químicas da área de pousio de 3 anos (medianas de um total de 80 amostras)

| Prof. Solo | pH (CaCl ₂) | MOS (g/kg) ¹ | P (mg/kg) ² | K (mg/kg) ² | Ca (mg/kg) ³ | M-G (mg/kg) ³ |
|-------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 0-10 cm | 4,75 | 27,8 | 4,0 | 5,9 | 333,0 | 63,6 |
| 10 - 40 cm | 4,60 | 15,9 | 2,6 | 3,0 | 145,9 | 54,5 |
| 40 - 100 cm | 4,40 | 9,5 | 1,3 | 2,9 | 63,3 | 28,5 |

1) Bloco digestor; 2) Extração por resina; 3) Extração 1M KCl

A porcentagem da biomassa das palmeiras adultas do babaçu aumentou de 12% na capoeira para 26% na área de cultivo. Este aumento é resultado do preparo da roça que poupa as palmeiras adultas (produtivas) durante o corte e queima, a qual é a prática de manejo comum na região em estudo (Figura 1).

Figura 1: Composição da biomassa aérea da área de cultivo precedendo a preparação para o corte-e-queima (esquerda) e após 1,5 anos de cultivo (direita). A biomassa foi estimada na área toda (palmeiras adultas de babaçu) e em 5 parcelas de 3 x 3 m por área (componentes restantes) por uma combinação de métodos alométricos e destrutivos. Para mais detalhes veja o capítulo anterior.



3.2. Quantificação e estimativa do estoque radicular.

Quantificou-se a biomassa das raízes grossas, médias e finas da palmeira babaçu e do restante da vegetação ao longo de 1 metro no perfil do solo em 3 pontos de amostragem por área de estudo.

Os valores de biomassa radicular apresentados aqui se baseiam em dois diferentes esquemas de amostragem. Utilizaram-se monólitos grandes (M-G) para as quantificações ao longo de 1m de perfil do solo e usaram-se monólitos pequenos (M-P) para a estimativa da variabilidade das raízes finas na superfície ao longo de 1,5 anos de sequência de cultivos. Os M-G consistiram de uma área de amostragem simples de 50 x 50 cm, resultando em 25 dm³ de volume por 10 cm de solo e ponto de amostragem, enquanto que os M-P consistiram da média de três amostras de 1 dm³ de volume. Ambos os métodos apresentaram

relações estreitas para uma ou outra área de estudo, independente da profundidade do solo ou tipo de vegetação (SOUSA & GEHRING, submetido). Utilizaram-se relações de transformação estabelecidas por este estudo para correção da superestimativa da biomassa das raízes finas associadas com a amostragem do M-P (Equação 1).

Equação 1: $\ln(\text{estimativa pelo M-G}) = -0,65 + 0,970 * \ln(\text{estimativa pelo M-P})$
 $R^2 = 0,43, p < 0,001$.

A amostragem radicular foi conduzida em cinco camadas de 10 cm. Pularam-se 5 camadas com intuito de economizar o esforço no processamento das raízes. Os valores das camadas não quantificadas (30-40, 50-60, 60-70 e 80-90 cm) foram obtidos por interpolação das médias das camadas adjacentes para obter estimativas do estoque radicular total ao longo de 1 metro do perfil do solo. Esta forma de interpolação pode ter causado uma leve superestimativa dos estoques de biomassa radicular em termos absolutos (COOK & KELLIHER, 2006), porém não deve ter afetado as diferenças relativas entre as áreas, classes de diâmetro ou espécies.

Mudanças na biomassa das raízes finas ao longo de 1,5 anos de cultivo foram quantificadas por amostragem das camadas superficiais do solo após 6 meses de produção (fim do primeiro ano de cultivo, feijão e vegetação espontânea associada) e após 18 meses de cultivo (final do ciclo de produção, mandioca e vegetação espontânea associada). Ambas as ocasiões de amostragem ocorreram na estação chuvosa.

As raízes foram lavadas, postas para secar e separadas manualmente do carvão e outros resíduos leves, e divididos em classes de diâmetro para raízes grossas (> 5 mm), raízes de tamanho médio (5 a 2 mm) e raízes finas (< 2 mm) após isso houve a determinação do peso seco. Além disso, distinguiu-se as raízes de acordo com sua origem taxonômica em (i) raízes originárias da

palmeira babaçu que são facilmente reconhecidas por sua coloração marrom-avermelhada e estrutura lignificada e (ii) todas as outras raízes (originárias dos cultivos e da vegetação espontânea). Não se tentou distinguir entre raízes vivas e mortas devido à amplitude de objetivos e critérios de seleção indiferentes (SIERRA et al., 2003). As raízes foram, finalmente, pesadas em uma balança de precisão para subsequente cálculo das estimativas dos estoques radiculares.

3.3. Estatística

Todos os dados foram submetidos às testes de normalidade da distribuição de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors's. A normalidade das estimativas de biomassa foi realizada pela transformação logarítmica (\ln) nos dados gerados tanto pelo método de M-G como de M-P, para as raízes de babaçu e para as outras raízes, e para todas as classes de diâmetro. A possível redundância da redundância entre as variáveis foi checada visualmente por meio de gráficos que relacionaram os valores residuais com os valores estimados. Os resíduos sempre seguiram uma distribuição normal, sem correlação entre os resíduos e os valores estimados. Nenhuma redundância foi detectada com o teste de Duncan. Níveis de significância são dados como * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$) e *** ($p < 0,001$). As análises estatísticas foram conduzidas com o programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

4. RESULTADOS

4.1 Biomassa radicular total

A biomassa total até 1 m de profundidade somou 12,7 t /ha na área de cultivo no final (1,5 anos) da fase de produção, e 38,7 t/ha na área de pousio de 3 anos de idade. Isto resulta em relações raiz:parte aérea de 1,91 (área de cultivo) e 1,34 (área de pousio). Cerca de 33,3% (área de cultivo) e 46% (área de pousio) de todas as raízes estavam concentradas nos primeiros 10 cm, e 67,9% (área de cultivo) e 88% (área de pousio) nos primeiros 40 cm do solo (Figura 2).

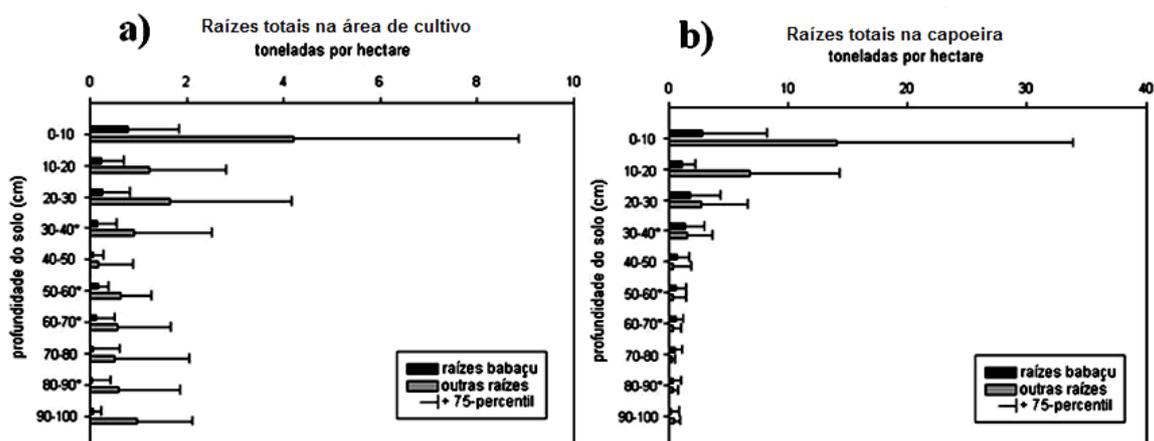


Figura 2: Biomassa radicular total (medias e 75-percentis) após 1,5 anos de cultivo a) e na capoeira de 3 anos de idade b).

A biomassa das raízes grossas e médias foi duas vezes maior na área de pousio (24,7 t/ha) do que na área de cultivo (9,2 t/ha), mas não variou significativamente entre 6 meses e 1,5 anos de cultivo (dados não apresentados). A biomassa das raízes finas foi marcadamente menor na área de cultivo do que na área de pousio, e diminuiu ainda mais ao longo dos 1,5 anos de cultivo (Figura 3). A redução na biomassa das raízes finas entre a área de pousio e a área de cultivo (após 1,5 anos) foi cerca de 100% e perto do nível de significância (teste t: $p = 0,05$), enquanto que a redução nas raízes finas entre 0,5 e 1,5 anos de cultivo foi de cerca de 75% e significativa (teste t: $p < 0,05$).

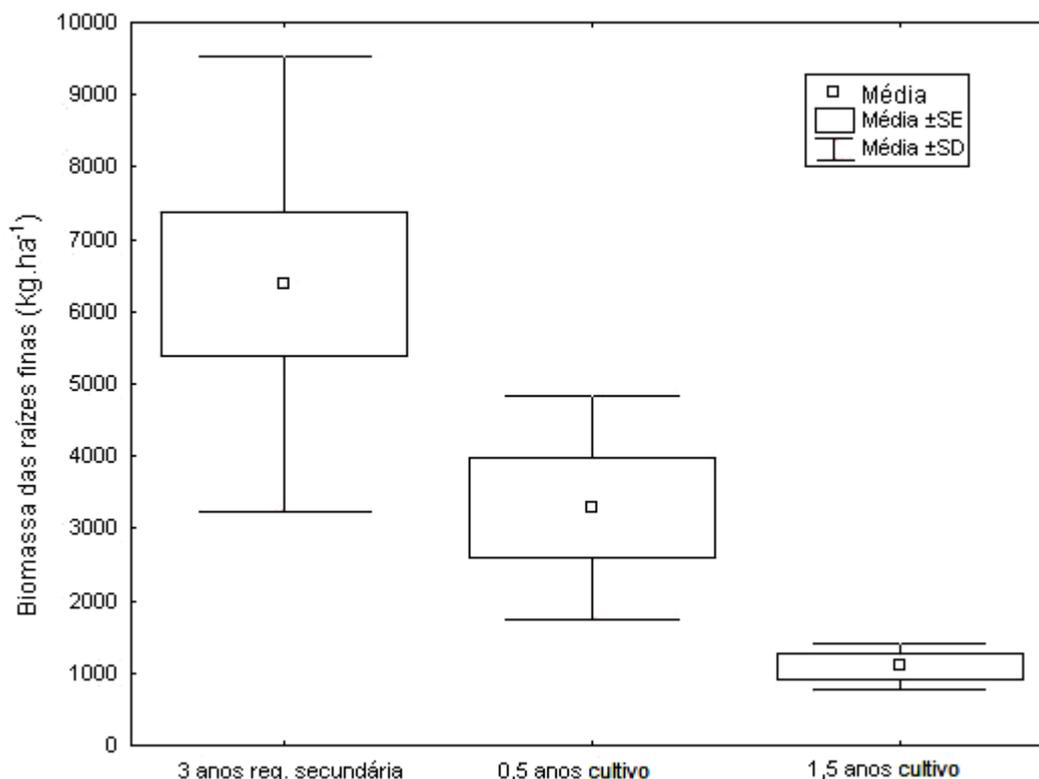


Figura 3: Biomassa das raízes finas na camada superficial do solo (0-10 cm) na área de pousio (esquerda) e na área de cultivo em 0,5 e 1,5 anos de cultivo (meio e direita).

A menor biomassa das raízes finas na camada superficial do solo na área de cultivo em relação à área de pousio pode simplesmente refletir a menor biomassa das raízes grossas na área produtiva, pois ambas as frações de diâmetros estão ln-linearmente correlacionados (veja abaixo). Alternativamente, esta redução pode ser consequência da remoção da biomassa aérea como fonte para a produção de raízes finas e da redução na demanda por nutrientes da vegetação que foi retirada. A grande redução ao longo do cultivo (ex., entre 0,5 e 1,5 anos de cultivo) é provavelmente causada pela decomposição das raízes mortas. Isto implicaria que uma elevada proporção de raízes finas encontradas após 0,5 ano de cultivo na realidade eram raízes mortas.

A biomassa das raízes finas estava relacionada (ln-linear) com a biomassa das raízes grossas (Figura 4). A inclinação foi similar em ambas as áreas de estudo, porém a relação foi mais forte na área de cultivo ($R^2 = 0,64^{***}$) do que na área de pousio ($R^2 = 0,16^*$). Esta relação foi limitada às raízes dos

outros grupos taxonômicos, enquanto que as relações não foram significativas nas raízes de babaçu (dados não apresentados). A ausência de relações nas raízes de babaçu pode ser devido às diferenças sistemáticas no modo de distribuição das raízes grossas desta planta (veja abaixo).

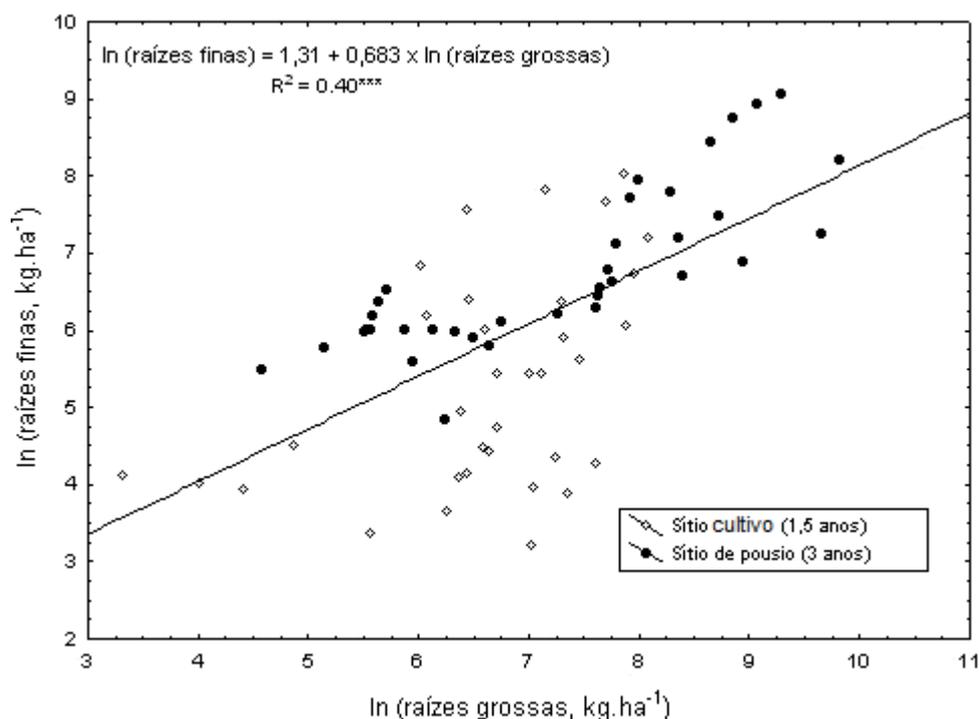


Figura 4: Relação In-linear entre a biomassa das raízes grossas e das raízes finas nas duas áreas estudadas ao longo de 1 metro de perfil de solo.

A relação estreita entre as raízes grossas e finas é provavelmente consequência das raízes finas serem formadas da base das raízes grossas. Alternativamente, ambos os tipos de raízes podem ser afetadas por fatores externos similares assim como a enraizabilidade da matriz do solo ou a variação espacial das características quantitativas e qualitativas da parte aérea da vegetação.

4.2 Proporção da palmeira ruderal babaçu na biomassa radicular da área

A porcentagem média das raízes da palmeira babaçu ao longo de 1 metro de perfil de solo foi 14,9% após 1,5 anos de cultivo e 25,2% na área de pousio, similar às porcentagens na biomassa aérea de 26% (1,5 anos de cultivo) e 12%

(pousio). Consequentemente, as relações raiz:parte aérea da palmeira babaçu (2,28 na área de cultivo e 1,07 na de pousio) são similares com o restante da vegetação. Por contraste, a porcentagem de babaçu na biomassa das raízes finas foi substancialmente maior, com porcentagens médias ao longo de 1 metro de profundidade do solo de 29% (após 1,5 anos de cultivo) e 44,1% (pousio).

A porcentagem média da biomassa das raízes de babaçu de diâmetro intermediário 2-5 mm e das raízes grossas (> 5 mm diâmetro) foi 12,1% nas duas áreas de estudo, bem menor do que as respectivas porcentagens na biomassa aérea. A porcentagem da biomassa das raízes grossas aumentou sistematicamente com a profundidade do solo (Figura 5). Isto é porque a distribuição vertical das raízes grossas do babaçu difere sistematicamente do restante da vegetação. Somente 4,5% da biomassa das raízes grossas do babaçu se encontravam nos primeiros 10 cm do solo (ao contrario de 35,6% das raízes grossas do restante da vegetação), enquanto que 42,1% estavam localizadas entre 50 e 100 cm de profundidade do solo (ao contrario de 19% do restante da vegetação).

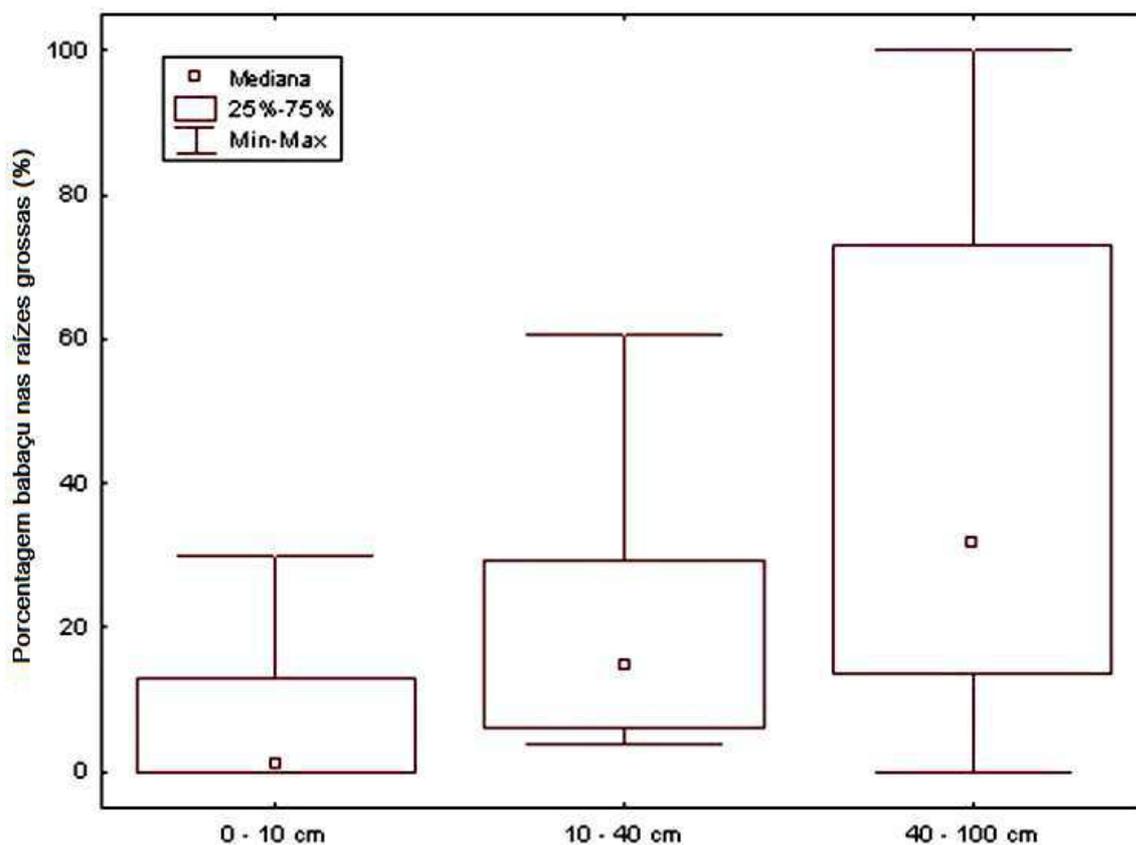


Figura 5. Proporção a biomassa de babaçu (%) nas raízes grossas (> 2 mm) em duas áreas de estudo ao longo do perfil do solo.

A Figura 6 mostra a relação entre a biomassa das raízes finas de babaçu e das raízes de outras origens taxonômicas na vegetação secundária (A) e na vegetação de pousio (B). As relações são estreitas, In-lineares e similares em inclinação em ambas as áreas. Conseqüentemente, a porcentagem de raízes finas de babaçu permaneceu constante entre 30 e 50% por toda a profundidade do solo em ambas as áreas de estudo (dados não apresentados).

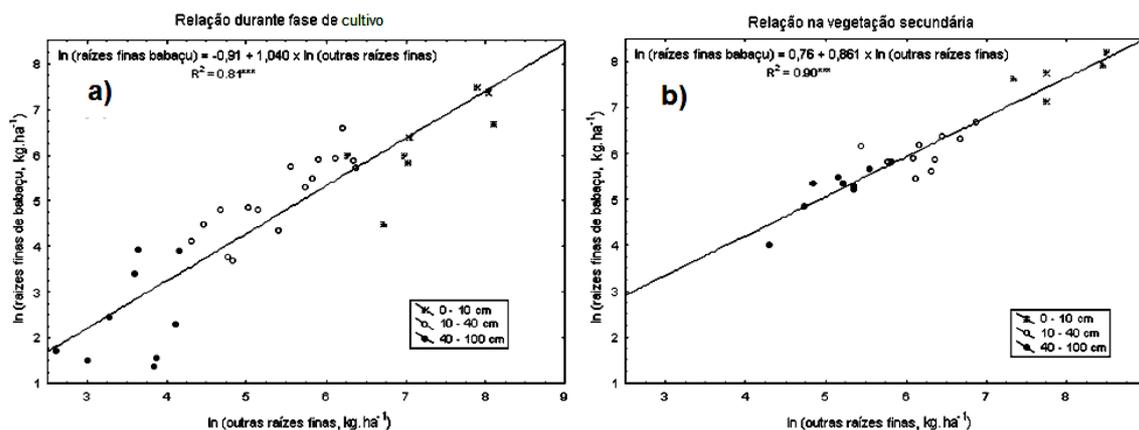


Figura 6: Relações ln-lineares entre demais raízes finas e raízes finas de babaçu ao longo de 1 metro de perfil do solo na área de cultivo a) e na área de pousio b).

5. DISCUSSÃO

Estudos que quantificam a biomassa radicular em floresta tropical são raros, e comparações entre os estudos são difíceis por diferenças nas profundidades máximas do solo e nos métodos de amostragem. Vogt et al. (1996) compilaram estudos radiculares em florestas primárias pantropicais. Cairns et al. (1997) compilaram uma série de estudos radiculares em florestas tropicais e outras florestas, e calcularam médias das relações raiz:parte aérea de 0,24 para as florestas tropicais (primárias e secundárias). As relações raiz:parte aérea observadas em nosso estudo (1,91 na área de cultivo após 1,5 anos de uso da terra, e 1,34 na capoeira com 3 anos de idade) são consideravelmente mais altos do que esse valor médio. A representação insuficiente de capoeiras no estudo de Cairns et al. (1997) pode, parcialmente, explicar esta ampla diferença. Mais notavelmente, era de se esperar que as relações raiz:parte aérea seriam maiores em capoeiras frequentemente cortadas e queimadas (assim como no nosso caso) como adaptação às perturbações regulares, pelo aumento da capacidade de rebrota vegetativa (KAMMESCHIEDT, 1999; VIEIRA et al., 2006).

Os resultados deste estudo apontam para estoques consideráveis de biomassa radicular, tanto na capoeira (38,7 t/ha) e durante a fase de cultivo (12,7 t/ha). Um melhor conhecimento dos estoques e da dinâmica da biomassa radicular no sistema de agricultura itinerante de corte-e-queima é crucial para as estimativas globais de carbono e para as avaliações dos impactos antrópicos nestes estoques (HOUGHTON et al., 2000). Com o aumento na pressão do uso da terra, as áreas de agricultura itinerante de ciclo curto vão expandir por todo o trópico. Enquanto que as conseqüências alarmantes na dinâmica da parte aérea da vegetação tem atraído bastante atenção (STYGER et al., 2007), o conhecimento das alterações associadas às dinâmicas radiculares permanecem insuficientes.

Uma característica de terras degradadas pelo corte-e-queima é a excessiva dominância de plantas ruderais agressivas. Na região de estudada, este é o caso da palmeira babaçu. Embora ocorra naturalmente na floresta primária da Amazônia, a dominância do babaçu aumenta drasticamente com o uso da terra (MUNIZ, 2004). Isto é, o resultado da combinação de uma série de fatores: derrubada seletiva, poupando as palmeiras adultas (produtivas) dedicadas à produção de óleo em todos os ciclos de corte-e-queima que dá ao babaçu uma importante vantagem competitiva sobre os outros componentes da vegetação espontânea. O aumento da dominância do babaçu é também devido a sua excelente adaptação à frequente prática de corte-e-queima da parte aérea. A dormência das sementes do babaçu é quebrada pelo fogo, o meristema apical das palmeiras juvenis (ex., ainda sem caule lenhoso acima do solo) está entre 0,5 e 1 metro abaixo da superfície, bem protegido contra o corte-e-queima. Os resultados do presente estudo indicam que as raízes grossas do babaçu estão bastante profundas, mais do que do restante da vegetação. A capacidade de

rebrotas das palmeiras juvenis é extremamente vigorosa, apontando para a existência substancial de nutrientes no solo e de carboidratos de reserva (MIYANISHI & KELLMAN 1986; BOND & MIDGLEY, 2001). A grande profundidade dessas reservas fornece uma excelente proteção e em consequência impõe sérios obstáculos para um controle da densidade do babaçu, tornando-o resistente contra esforços mecânicos de eliminação e até contra as herbicidas mais comuns, desse modo comprometendo seriamente as opções de um manejo racional desta palmeira.

Uma característica marcante do sistema radicular da palmeira babaçu é a porcentagem elevada na biomassa das raízes finas. Isto, em combinação com uma intensa associação com fungos micorrízicos arbusculares (Nobre et al., dados não publicados), aponta para uma alta competitividade desta palmeira pelos recursos do solo.

As estreitas relações (In-lineares) entre as raízes de babaçu e as de outras origens sugerem que, em termos de processos edáficos, o babaçu ocupa os mesmos nichos que o restante da vegetação, deste modo está em competição direta com as outras espécies vegetais (espontâneas e cultivadas). Isto contraria a hipótese de uma suposta complementaridade e partição vertical dos nichos, ou então de um suposto bombeamento de nutrientes lixiviados do subsolo associados com um 'sistema agroflorestal' com babaçu (MAY, 1990). Os resultados aqui apresentados indicam que o atual uso da terra, com uma incontrolada (espontânea) presença do babaçu na paisagem alterada, pode ser menos sustentável do que originalmente concebido, e exige uma reconsideração e um re-desenho das estratégias de manejo atualmente dominantes.

6. CONCLUSÕES

- (i) Os estoques da biomassa radicular em sistemas de cultivo itinerante intensamente explorados estão bem acima do esperado pelas baixas estimativas de biomassa aérea;

- (ii) A distribuição vertical das raízes grossas do babaçu é mais profunda do que da restante da vegetação, fornecendo uma excelente proteção contra o corte-e-queima e dificultando o controle de densidade desta palmeira agressiva. A porcentagem da biomassa das raízes finas de babaçu é acima da média, apontando à alta competitividade desta palmeira e a sua boa adaptação aos solos pobres em nutrientes. As raízes finas do babaçu e as de outras espécies estão estreitamente correlacionadas umas com as outras, rejeitando a idéia de partição vertical de nichos, indicando em vez disto uma competição direta do babaçu com as culturas econômicas e com a vegetação espontânea.

7. AGRADECIMENTOS

Nós agradecemos enormemente ao suporte financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Pesquisa CNPq (CT-Universal 02/2006), bem como a garantia de realização da pesquisa fornecida ao primeiro autor pela Fundação Amparo à pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA).

8. REFERÊNCIAS

ALEGRE, J.C.; RAO.; M.R.; AREVALO, L.A.; GUZMAN, W.; FAMINOW, M.D. Planted tree fallows for improving land productivity in the humid tropics of Peru. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 110, p. 104-117, 2005.

ALMEIDA ALVES, R.E. **Estoques e fluxos de carbono nas frações da matéria orgânica do solo nos agroecossistemas de roça de derruba-e-queima e roça melhorada (slash-and-mulch)**. 2009, 65f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Maranhão, São Luis, MA, Brasil, 2009.

BOND W.J., MIDGLEY J.J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 16(1), p. 45-51, 2001.

BROWN S., LUGO A.E.. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, p. 1-32, 1990.

CAIRNS, M.A.; BROWN, S.; HELMER, E.H.; BAUM-GARDNER, G.A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, p. 1-11, 1997.

COOK, F.J.; KELLIHER, F.M. Determining vertical root and microbial biomass distributions from soil samples. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 728-735, 2006.

DENICH, M.; VLEK, P.L.G.; SÁ, T.D.A.; VIELHAUER, K.; LÜCKE, W. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 110, p. 43-58, 2005

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412p.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, v. 92, p. 189-202, 2004.

HALL, C.A.S.; UHLIG, J. Refining estimates of carbon release from tropical land-use change. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, p. 118-131, 1991.

HUGHES, R.F.; KAUFFMAN, J.B.; JARAMILLO, V.J. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. **Ecology**, v. 80(6), p.1892-1907, 1999.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L.; NOBRE, C.A.; HACKLER, J.L.; LAWRENCE, K.T.; CHOMETOWSKI, W.H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p. 301-304, 2000.

JARAMILLO, V.J.; AHEDO-HERNÁNDEZ, R.; KAUFFMAN, J.B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p. 457-464, 2003.

KAMMESCHIEDT, L. Forest recovery by root suckers and above-ground sprouts after slash-and-burn agriculture, fire and logging in Paraguay and Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**, v. 15, p. 143-157, 1999.

KLEINMAN, P.J.A.; BRYANT, R.B.; PIMENTEL, D. Assessing ecological sustainability of slash-and-burn agriculture through soil fertility indicators. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 122-127, 1996.

KOTTO-SAME, J.; WOOMER, P.L.; APPOLINAIRE, M.; LOUIS, Z. Carbon dynamics in slash-and-burn agriculture and land use alternatives of the humid forest zone in Cameroon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 65, p. 245-256, 1997.

KOUTIKA, L.S. Leguminous fallows improve soil quality in south-central Cameroon as evidenced by the particulate organic matter status. **Geoderma**, v. 125, p. 343-354, 2005.

MAY, P.H. **Palmeiras em chamas – Transformação agrária e justiça social na Zona do Babaçu**. EMAPA, São Luis, MA, 1990.

MERTZ, O. The relationship between length of fallow and crop yields in shifting cultivation: a rethinking. **Agroforestry Systems**, v. 55, p. 149-159, 2002.

MIYANISHI, K.; KELLMAN, M. The role of nutrient reserves in regrowth of two savanna shrubs. **Canadian Journal of Botany**, v. 64, p. 1244-1248, 1986.

MUNIZ, F.H. A vegetação da região de transição entre a Amazônia e o Nordeste, diversidade e estrutura. Em: de Moura, E.G. (ed) **Agroambientes de transição**. Universidade Estadual do Maranhão, São Luis, MA, Brasil, 2004, p. 53-69.

PALM, C.A.; SWIFT, M.J.; WOOMER, P.L. Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 58, p. 61-74, 1996.

SCHROEDER, P.E.; WINJUM, J.K. Assessing Brazil's carbon budget: II. Biotic fluxes and net carbon balance. **Forest Ecology and Management**, v. 75, p. 87-99, 1995.

SERRÃO, E.A.S. Possibilities for sustainable agricultural development in the Brazilian Amazon: an EMBRAPA proposal. Em: CLUESENER-GODT, M.; SACHS, I. (eds) **Brazilian perspectives on sustainable development of the Amazon region**. UNESCO, MAB Series, v. 15, London, p. 250-273, 1995.

SIERRA, C.A.; DEL VALLE, J.I.; ORREGO, S.A. Accounting for fine root mass sample losses in the washing process: a case study from a tropical montane forest of Colombia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p. 599-601, 2003.

SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. **Plant and Soil**, v. 219, p. 231-241, 2000.

SOUSA, J.T.R.; GEHRING, C. Adequacy of contrasting sampling methods for root mass quantification in a slash-and-burn agroecosystem in the south-eastern periphery of Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**. Submetido.

STYGER, E.; RAKODONDRAMASY, H.M.; PFEFFER, M.J.; FERNANDES, E.C.M.; BATES, D.M. Influence of slash-and-burn farming practices on fallow succession and land degradation in the rainforest region of Madagascar. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 119, p. 257-269, 2007.

SZOTT, L.T.; PALM, C.A.; BURESH, R.J. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. **Agroforestry Systems**, v. 47, p. 163-196, 1999.

VIEIRA, D.L.M.; SCARIOT, A.; SAMPAIO, A.B.; HOLL, K.D. Tropical dry-forest regeneration from root suckers in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, p. 353-357, 2006.

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, climatic forest type and species. **Plant and Soil**, v. 187, p. 159-219, 1996.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Composição da biomassa aérea da área de cultivo precedendo a preparação para o corte-e-queima (esquerda) e após 1,5 anos de cultivo (direita). A biomassa foi estimada na área como um todo (palmeiras adultas de babaçu) e em 5 parcelas de 3x3 m (componentes restantes) por uma combinação de métodos alométricos e destrutivos. | 61 |
| 2. | Biomassa radicular total (medianas e 75-percentis) após 1,5 anos de cultivo a) e em vegetação de pousio de 3 anos de idade b). | 64 |
| 3. | Biomassa das raízes finas na superfície do solo (0-10 cm) na área de pousio (esquerda) e na área de cultivo após 0,5 e 1,5 anos de cultivo (meio e direita). | 65 |
| 4. | Relação In-linear entre a biomassa das raízes grossas e das raízes finas nas duas áreas estudadas ao longo de 1 metro de perfil de solo. | 66 |
| 5. | Proporção da biomassa de babaçu (%) nas raízes grossas (> 2 mm) em duas áreas de estudo ao longo do perfil do solo. | 68 |
| 6. | Relações In-lineares entre outras raízes finas e raízes finas de babaçu ao longo de 1 metro de perfil do solo na área de cultivo a) e na área de pousio b). | 69 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Características físicas do solo das duas áreas de estudo (médias de um total de 68 amostras). | 60 |
| 2. | Características químicas do solo da área de cultivo após 1,5 anos de cultivo (medianas de um total de 56 amostras). | 60 |
| 3. | Características químicas do solo da área de pousio de 3 anos de idade (medianas de um total de 80 amostras). | 60 |

CAPITULO IV
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante muitos anos (até meados do século passado), as raízes foram consideradas como a “metade oculta” dos vegetais (WAISEL et al, 2002), com uma significativa escassez de resultados de pesquisa sobre este tema em todo o mundo. As razões para esta carência de dados são historicamente explicáveis pelas dificuldades metodológicas (VAN NOORDWIJK, 1993), a própria inacessibilidade ao sistema radicular como objeto de experimentação, sua complexidade tridimensional e sua marcada variabilidade espacial e temporal (VAN NOORDWIJK, 1993). Com isso, este trabalho dedicou-se em parte à determinação de uma metodologia que conseguisse quantificar a biomassa radicular nas áreas de agricultura itinerante que sempre foi o objetivo principal, mas que por causa de uma falta de definição metodologia mais adequada à quantificação de estoques radiculares, preferiu-se testar a viabilidade de três estratégias contrastantes de quantificação de raízes em áreas de agricultura itinerante. Devido a essa parte metodológica, foi que se deu um salto qualitativo neste trabalho, já que diminuimos o número inicial das áreas a serem estudadas em favor da qualidade dos dados gerados.

A qualidade dos dados gerados é de relevante importância para a comunidade científica através das equações de regressão geradas para expressar mais verdadeiramente a condição natural da distribuição do sistema radicular em suas classes de diâmetro, colaborando no planejamento da pesquisa dos sistemas radiculares de acordo com a temática de estudo.

Essa importância se estende para o planejamento da roça, pois com a informação de que o babaçu se apresenta como um componente concorrente e não complementar deste agroecossistema, medidas deverão ser tomadas para que se garanta maiores produtividades dos cultivos da roça sem comprometimento da atividade de extração do coco onde houver.

Por causa da grande adaptação da palmeira babaçu à degradação antropogênica, principalmente, porque do seu sistema radicular e mais profundo do que o restante da vegetação, é que alternativas ao corte-e-queima tem de ser mais explorados. O sistema em aléias, por exemplo, já traz resultados positivos quando falamos de retorno de nutrientes ao solo pela poda periódica das árvores leguminosas que compõem o sistema e cada vez mais vem se consolidando como uma alternativa à cultura do uso do fogo no estado do Maranhão.

A partir destes resultados aqui apresentados pode-se perceber a vulnerabilidade do sistema de corte-e-queima da agricultura itinerante que empobrece e degrada as terras agrícolas e favorece cada vez mais a dominância do babaçu. Maior atenção das instituições de pesquisa e mais investimento por parte do poder público são necessários para mudar a situação deste sistema de uso da terra que garante grande parte da alimentação da maior parcela da população do Estado.

REFERÊNCIAS

WAISEL, Y., ESHEL, A., KAFKAFI, U., Eds. **Plant roots** – the hidden half. Marcel Dekker, Inc., 270 Madison Ave., New York, NY 10016. Hardcover, 1120 p. 2002.

VAN NOORDWIJK, M. Roots: length, biomass, production and mortality. Em: ANDERSON, J. M. AND INGRAM, J. S. I. 1993. **Tropical Soil Biology and Fertility: a Handbook of methods**. CAB International, Wallingford. p. 132-144, 1993.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)