

Raízes finas nos horizontes do topo do solo em relação a atividades extrativistas em fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros, em Sooretama, ES.

Irene Garay^{1,2}, Felipe Noronha¹ e Vanessa Riccioppo de Moraes¹

¹*Laboratório de Gestão da Biodiversidade, Depto. de Botânica, Instituto de Biologia, UFRJ;*

²*Professor Associado do IB / UFRJ. email para correspondência: garay@biologia.ufrj.br*

Recebido em 09 de novembro de 2007

Resumo

A biomassa e a distribuição das raízes finas no perfil húmico foram estudados a fim de avaliar os impactos das vias de passagem sobre o topo do solo em fragmentos florestais submetidos a extrativismo seletivo. Foram coletadas em áreas de mata, bordas de trilhas e trilhas amostras das camadas sobre o horizonte A1 e o próprio A1, na RB Sooretama e em dois fragmentos. Apesar de diferenças quantitativas entre as áreas de mata, 30% a 40% das raízes encontram-se sobrepostas ao A1. Nos fragmentos as diferenças entre as situações internas foram significativas, com perda das camadas de superfície não somente nas trilhas, mas também nas bordas (até 40m). A biomassa e a distribuição de raízes no perfil húmico são relacionadas às modificações da comunidade arbórea e das camadas orgânicas. Discute-se a sustentabilidade das áreas de mata e a perda funcional do subsistema de decomposição nas trilhas e suas adjacências.

Palavras chave: fragmentação florestal, raízes finas, vias de passagem.

Fine roots of the humic profile in the Table-land Atlantic Forest, Sooretama, ES.

Abstract

Fine-root biomass and distribution in the humus profile were investigated for to assess the effects on the top-soil of selective logging and trails in forest fragments. Sampling was carried out in more preserved areas (forest plots), border's trails plots and trails belong a transect. Organic layers and A1 horizon samples were taken in the Sooretama protected area and in two forest fragments. In spite of quantitative differences among forest areas, 30 - 40% fine-root biomass are found above A1 horizon. In the fragments the differences among the internal situations were significant, with loss of the surface layers not only in the trails, but also in the borders. The biomass and the distribution of fine-roots in the profile are related to the tree community's and humus layers modifications. It is discussed the sustainability of the forest areas and the functional loss of the decomposition system in the trails and their adjacencies.

Key words: forest fragmentation, fine roots biomasses, trails and border's trails.

Introdução

Com a acelerada expansão tecnológica e populacional do século passado, o desmatamento das florestas tropicais tomou significativas proporções que causaram drástica perda da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas (UNEP, 2001; Wallace, 2007). Porém, outros usos da floresta pelo homem produzem alterações ecológicas significativas nem sempre plausíveis de serem estimadas por métodos clássicos de sensoriamento remoto, voltados essencialmente à avaliação da cobertura florestal remanescente em amplas escalas (Phillips, 1997; Saatchi *et al.*, 2001; UNEP, 2001; Achard *et al.*, 2002). Segundo ITTO (2002), 60% das florestas tropicais são florestas secundárias ou degradadas em consequência das atividades antrópicas. Assim, os impactos causados pelo homem sobre as regiões florestais provocam não somente a perda de habitats naturais e a fragmentação das florestas, processos ligados, sobretudo, ao desmatamento (Fahrig, 2003), mas também significativas mudanças da estrutura e do funcionamento das florestas primárias que exigem estudos detalhados.

Phillips (1997) considera a extração de plantas e de animais, que não necessariamente remove por inteiro a cobertura florestal, como atividades que acarretam forte impacto sobre a biodiversidade das florestas tropicais e seu funcionamento e que podem estar associadas à fragmentação florestal. Entretanto, os estudos sobre fragmentação consideram, em geral, o efeito de borda como praticamente o único fator de perturbação dos remanescentes florestais (Camargo & Kapos, 1995; Viana & Tabanez, 1996; Didham & Lawton, 1999). Todavia, quando os fragmentos estão submetidos a atividades extrativistas e de visitação, caminhos e trilhas são abertos podendo provocar distintos graus de alteração no interior destes fragmentos. Sendo assim, além das alterações devidas à própria fragmentação e ao extrativismo seletivo, deve ser levantada a questão de que o uso de fragmentos pelo homem provoca alterações adicionais no interior dos remanescentes florestais, amplificando a perturbação gerada apenas pela extração das espécies da floresta. Dentro dessa problemática, avaliar o grau de conservação de paisagens florestais implica considerar as modificações do funcionamento e da estrutura dos remanescentes com respeito às diversas formas de uso e suas consequências.

Em primeira aproximação, a avaliação no nível do ecossistema pode ser abordada em relação à cobertura vegetal e às características dos solos, componentes essenciais dos dois processos maiores: produtividade e decomposição (Garay, 2001). Assim, as formas de húmus, que consideram as características quantitativas e qualitativas dos horizontes orgânicos de superfície, sintetizam o funcionamento do subsistema de decomposição da matéria orgânica (Garay & Silva, 1995; Kindel & Garay, 2002) e podem evidenciar alterações provocadas direta ou indiretamente pelas modificações da vegetação, i.e., extração ou coleta seletiva de espécies vegetais. Kindel *et al.* (1999), Kindel & Garay (2001) e Garay & Kindel (2001) estudaram os efeitos de práticas passadas de extração de madeira e do corte e queimada da floresta sobre as formas de húmus numa área preservada. Noronha *et al.* (2006) por sua vez avaliaram o impacto de vias de passagem sobre as características dos horizontes orgânicos do solo e da fauna edáfica em fragmentos florestais, demonstrando modificações significativas no perfil húmico e na estrutura da comunidade de macroartrópodos edáficos ao longo das trilhas.

Além destes estudos específicos, não existem pesquisas que considerem os impactos da abertura de trilhas e outras vias de passagem sobre o solo e a relação existente entre esses impactos e o grau de conservação de fragmentos florestais. Neste sentido, a caracterização da biomassa e da distribuição das raízes finas nas camadas orgânicas do solo, por estar associada às formas de húmus e aos processos de reciclagem de nutrientes no topo do solo, pode fornecer importante informação sobre o funcionamento do subsistema de decomposição e suas alterações.

Objetivos

Os objetivos do trabalho são: (i) caracterizar as modificações na biomassa e na distribuição de raízes finas do perfil húmico em fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros e; (ii) avaliar o efeito das trilhas sobre este componente associado ao subsistema de decomposição nas próprias trilhas e em áreas adjacentes, i.e., as suas bordas.

Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Sooretama, norte do Espírito Santo, as 19°24'20" de latitude Sul e 40°04'05" de longitude Oeste. O clima corresponde, segundo a classificação de Köppen, ao grupo AW₁. Apresenta acentuada variação sazonal dos índices pluviométricos e uma relativa estabilidade da temperatura média mensal e da umidade relativa do ar, que são de 23°C e 83% em média, respectivamente (figura 1a e 1b).

O relevo da região corresponde aos tabuleiros costeiros do Grupo Barreiras que são constituídos por depósitos sedimentares do Terciário. As feições predominantes são de colinas de topos aplanados, vales largos e rasos e variação altimétrica média de 100m (Vicens, 2003).

A Floresta Atlântica de Tabuleiros, ecossistema

predominante na região, foi classificada pelo RADAMBRASIL (1987) como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas. No entanto, Rolim & Nascimento (1997) e Rolim *et al.* (2001) adotam única e exclusivamente a segunda classe, alegando que esta está de acordo com recentes estudos conduzidos na Reserva Natural da CVRD que levam em conta regimes pluviométricos e padrões fenológicos. Este núcleo florestal apresenta altíssima diversidade biológica, por vezes maior que a da Floresta Amazônica, e alto grau de endemismo (Rizzini *et al.*, 1997; Rizzini, 1997; Thomaz *et al.*, 1998; Jesus & Rolim, 2005).

Os solos são em sua grande maioria do tipo Argissolo Amarelo distrófico (Garay *et al.*, 1995; Garay *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2004). Essa classe de solo é constituída por

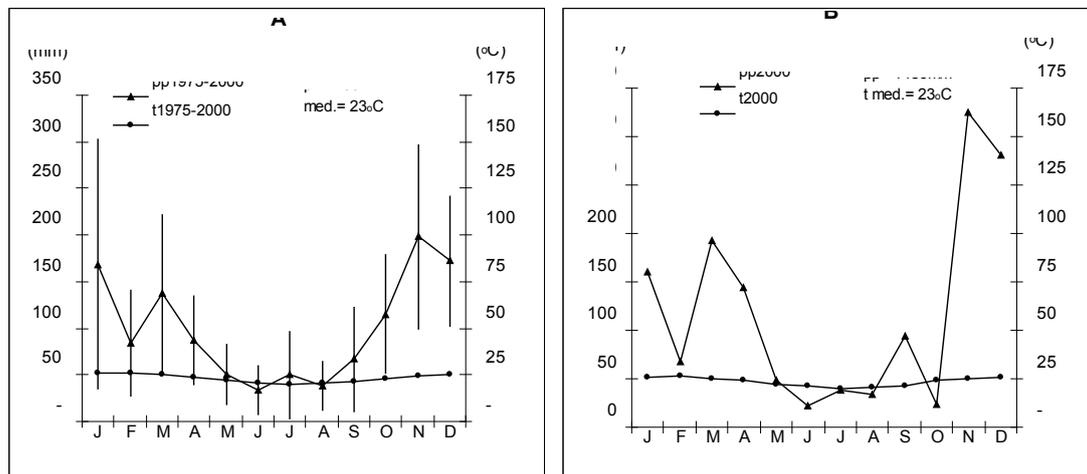


Figura 1. A: diagrama ombrotérmico de uma seqüência temporal de 25 anos. B: diagrama ombrotérmico do ano 2000 (ano da coleta do presente estudo). Dados da Reserva Natural da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES.

Figure 1. A: Ombrothermic diagram of a temporal sequence of 25 years. B: ombrothermic diagram of the year 2000 (year of the sampling). Data from the CVRD Natural Preserve, Linhares, ES.

perfis de profundidade média e seqüência bem definida dos horizontes A, B_t e C. Caracteriza-se por apresentar horizonte A moderado e de textura arenosa. Os húmus florestais são do tipo mull mesotrófico tropical que se caracteriza pela presença de um horizonte de interface (A_t) entre os restos foliares e o horizonte A₁, com espessura de 1 a 3 cm, onde se concentram a matéria orgânica, o nitrogênio e as bases de troca (Garay *et al.*, 1995; Kindel & Garay, 2002); a decomposição dos aportes foliares é da ordem de um ano (Kindel *et al.*, 2001).

O município de Sooretama é constituído por uma paisagem dominada por uma matriz essencialmente

agrícola. Possui em seu território a maior parte da Reserva Biológica de Sooretama e 213 fragmentos florestais de diversos tamanhos distribuídos essencialmente em propriedades particulares. Atualmente, esses fragmentos somam, no total, 3.000ha de floresta (Agarez *et al.*, 2004). De maneira geral, são intensamente visitados e submetidos à extração seletiva de madeira ou de ervas. Porém, as maiores pressões extrativistas sofridas pelos fragmentos datam das décadas 50 a 80 do século passado, quando chegaram a serem instaladas mais de 200 serrarias, e foram paralelas ao desmatamento que liberou os solos para o uso agrícola (Garay, 2006). Esses fragmentos

foram classificados em três grupos segundo o grau de alteração da comunidade arbórea: 1) alta diversidade, 2) média diversidade e 3) baixa diversidade. O estudo da vegetação demonstrou nessa seqüência um gradiente de diminuição progressiva da área basal, modificações da biodiversidade arbórea e substituição das famílias mais importantes na composição da comunidade arbórea (Agarez *et al.*, 2004).

Materiais e métodos

Amostragem

Três sítios de estudo foram selecionados: 1) a Reserva Biológica de Sooretama (SOO) com 24.000ha de Floresta Atlântica de Tabuleiros, escolhida como sítio controle, 2) o fragmento Pasto Novo (PN) com 80ha, representando o grupo dos fragmentos com alta diversidade e 3) o fragmento Bionativa (BIO) com 20ha, representando os fragmentos com média diversidade.

Em PN e BIO foram amostradas três situações conformando um transecto: 1) a denominada área de mata, em sítios preservados, 2) bordas de trilha e 3) trilhas. Em SOO foi amostrada apenas área de mata. Para as áreas de mata foram demarcadas quatro parcelas de 20m x 20m em cada sítio de estudo. Foram coletadas três amostras por parcela perfazendo um total de doze amostras por sítio. Para as bordas de trilha foram demarcadas seis parcelas de 10m x 10m, tendo seu centro distante 40m das trilhas. Foram coletadas duas amostras por parcela, totalizando 12 amostras por fragmento. Com relação às trilhas foram escolhidos ao acaso seis trechos em cada fragmento, ao longo dos quais foram coletadas aleatoriamente duas amostras por trecho, somando um total de doze amostras por sítio. As coletas foram realizadas em março (estação chuvosa) e agosto (estação seca) do ano 2000.

Para o estudo da biomassa e distribuição das raízes finas no perfil húmico foram utilizadas nove das doze amostras coletadas em cada situação. Para a coleta da camada holorgânica F_2 , formada por restos foliares e matéria orgânica amorfa, e do primeiro horizonte hemiorgânico A_1 (com profundidade de 0-2cm) utilizou-se um quadrado metálico de 0,25m de lado. Para a coleta do horizonte hemiorgânico A_1 (-2-12 cm de profundidade) utilizou-se um cilindro metálico de 10 cm de diâmetro por 10 cm de altura (Malagón *et al.*, 1989; Kindel *et al.*, 2003).

Tratamento em laboratório

As raízes foram triadas manualmente separando-as do material mineral e dos restos foliares com o auxílio de uma peneira de 2 mm de malha e uma pinça. Após secagem em estufa a 60°C por 48 horas, as raízes foram pesadas e a biomassa quantificada. A unidade utilizada é t/ha.

Tratamento estatístico

As diferenças entre as áreas de mata dos três sítios de estudo foram testadas utilizando-se o teste Kruskal-Wallis, seguido de um teste de Mann-Whitney (teste U). O mesmo procedimento foi realizado para se testar as diferenças entre as áreas de mata, bordas de trilha e trilhas (análise da heterogeneidade interna dos fragmentos). As diferenças sazonais na biomassa de raízes finas em cada situação amostrada foram testadas por meio do teste de Mann-Whitney (teste U). Todas as análises estatísticas foram efetuadas no programa *Statistica 6.0*.

Resultados

Áreas de mata

Uma característica comum aos três sítios é a presença de um gradiente vertical crescente com a profundidade da biomassa de raízes, gradiente que acompanha os distintos estágios de decomposição da matéria orgânica no perfil húmico (figura 2). Verifica-se, portanto, um aumento de raízes finas que vai desde a camada superior de folhas fragmentadas e matéria orgânica amorfa (F_2), à camada orgânico-mineral de interface entre as folhas (A_1) até o primeiro horizonte orgânico mineral A_1 , onde se concentra cerca de 60-70% da biomassa total de raízes em SOO e 70-80% nos fragmentos (tabela 1). O restante da biomassa (20-40%), alocado nas camadas superiores (F_2 e A_1), representa, porém, um valor considerável de biomassa radicular em relação direta com as camadas superficiais mais orgânicas.

A comparação entre os sítios revela que não houve diferença significativa na biomassa de raízes para nenhum dos horizontes. No entanto, observa-se que o fragmento BIO se diferencia dos demais sítios por não apresentar biomassa de raízes na camada F_2 em nenhuma das estações do ano como consequência lógica da ausência dessa camada no perfil húmico de BIO.

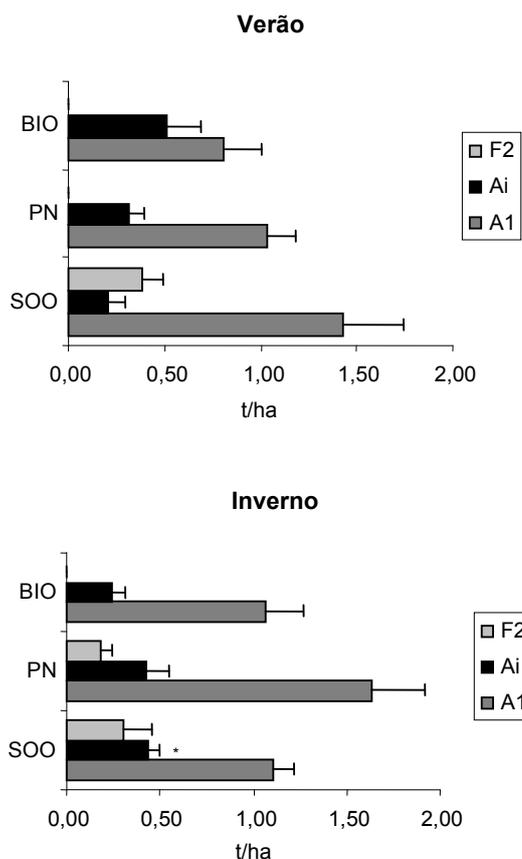


Figura 2. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata dos sítios de estudo. Médias e erros padrão. *: p= 0,01 (Mann-Whitney – teste U entre as estações). n= 9.

Figure 2. Biomass distribution of the fine roots in the humic profile in the forest plots of the study area. Means and standard errors. *: p= 0,01 (Mann-Whitney U-test between seasons). n=9.

Tabela 1. Biomassa de raízes finas (t/ha) no perfil húmico das áreas de mata. Média (erro padrão); U: teste de Mann-Whitney entre as estações. °: p> 0,05 e *: p< 0,05. Kruskal-Wallis: (comparação entre matas). n= 9.

Table 1. Fine roots biomass (t/ha) in the humic profile of the forest plots. Mean (standard error); Mann-Whitney U-test between seasons. °: p> 0,05 and *: p< 0,05. Kruskal-Wallis test (comparison between forest plots). n=9.

	SOO			PN			BIO			Kruskal-Wallis	
	verão	inverno	U	verão	inverno	U	verão	inverno	U	verão	inverno
Camada F₂	0,39 (0,10)	0,31 (0,15)	°	–	0,18 (0,06)	–	–	–	–	–	–
Horizonte A_i	0,21 (0,08)	0,43 (0,07)	*	0,31 (0,08)	0,43 (0,12)	°	0,51 (0,18)	0,24 (0,07)	°	NS	NS
Horizonte A₁	1,43 (0,32)	1,11 (0,11)	°	1,03 (0,19)	1,64 (0,34)	°	0,81 (0,19)	1,06 (0,20)	°	NS	NS
Total	2,03 (0,29)	1,85 (0,24)	°	1,34 (0,20)	2,24 (0,36)	°	1,33 (1,31)	1,31 (0,21)	°	NS	NS

SOO = Reserva Biológica de Sooretama; PN = Fragmento Pasto Novo; BIO = Fragmento Bionatura

O estoque total de raízes finas no perfil húmico evidencia padrões distintos em cada sítio (tabela 1 e figura 3). Para PN os valores tendem a aumentar do verão para o inverno e para SOO e BIO os valores se mantêm similares de uma estação a outra. No geral, as diferenças entre os sítios não são significativas, porém, se compararmos separadamente BIO, sítio que apresenta as menores biomassas, com os demais sítios verifica-se para a estação inverno uma diferença significativa com PN (teste de Mann-Whitney; $p = 0,04$).

Além disso, quando se comparam separadamente os estoques médios de raízes das áreas de mata de SOO com as das áreas de mata do fragmento BIO constatam-se diferenças significativas com quantidades menores em BIO, seja para as amostras do verão, seja para as do inverno (teste de Mann-Whitney; $p = 0,04$).

Em relação à comparação sazonal foi observado para SOO um aumento significativo ($p = 0,05$) no estoque de raízes do horizonte A_i do verão para o inverno (de 0,21 t/ha para 0,43 t/ha) apesar das pequenas quantidades estimadas.

Situações internas aos fragmentos

Uma característica comum às áreas estudadas é a ausência de raízes finas na camada F_2 – exceto para

as áreas de mata no fragmento PN na estação inverno, quando foi estimado um estoque de 0,18 t/ha (figuras 4 e 5) –; nas outras situações analisadas a falta de raízes acompanha a ausência desta camada.

No horizonte hemiorgânico A_1 verifica-se a maior biomassa de raízes no perfil para todas as situações amostradas. No caso das áreas de mata, o estoque de raízes no horizonte hemiorgânico A_1 corresponde para os dados das duas estações $1,33 + 0,18$ t/ha em média para o fragmento PN e a $0,94 + 0,14$ t/ha para o fragmento BIO, o que representa cerca de 70% do estoque total de raízes no perfil húmico. Os 30% restantes representam uma quantidade não desprezível da ordem de 0,5 t/ha de raízes que se situam acima do horizonte A_1 , sobretudo no horizonte de interface A_i em contato com as camadas de folhas em decomposição (tabela 2). Por outro lado, nas bordas de trilha o estoque de raízes se encontra quase restrito ao primeiro horizonte pedológico A_1 . Para as trilhas dos fragmentos praticamente a totalidade das raízes está integrada a este horizonte, havendo desaparecido tanto a camada de folhas com matéria orgânica F_2 e a camada de interface A_i como as raízes finas que a integram.

A comparação entre as situações internas a cada fragmento (área de mata versus borda de trilha versus trilha) revela para o fragmento PN maiores diferenças

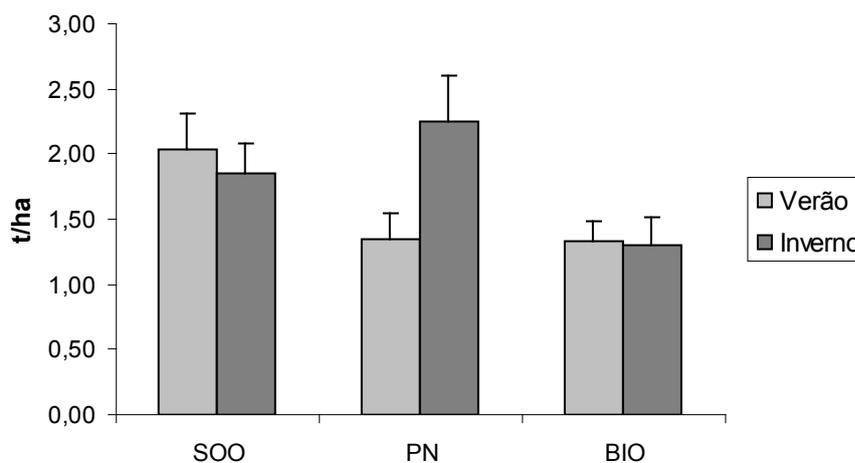


Figura 3. Biomassa total de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata dos sítios de estudo. Valores médios e erro padrão. $n = 9$. SOO= Reserva Biológica de Sooretama, PN: fragmento Pasto Novo, BIO: fragmento Bionativa.

Figure 3. Total fine roots biomass in the humic profile of the forest plots. Means and standard errors. $n = 9$. SOO: Sooretama Biological Reserve, PN: Pasto Novo fragment, BIO: Bionativa fragment

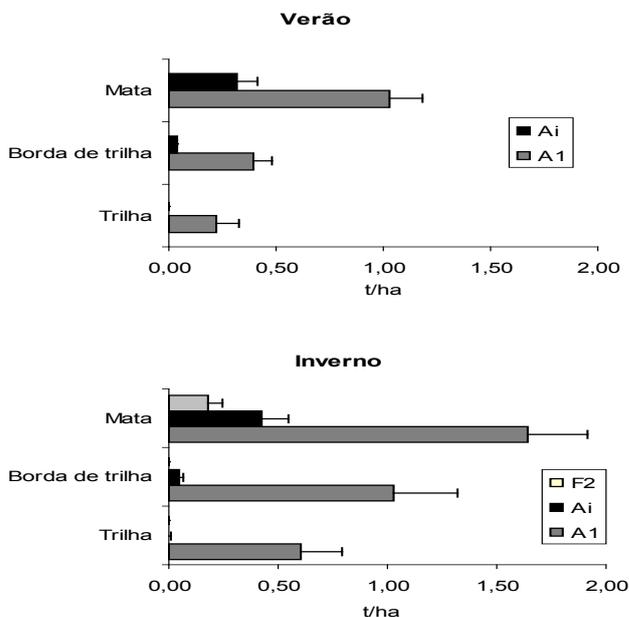


Figura 4. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico do fragmento Pasto Novo nas diferentes situações internas. Valores médios e erros padrão. n= 9.

Figure 4. Biomass distribution of the fine roots in the humic profile of the Pasto Novo forest fragment on different internal situations. Means and standard errors. n=9.

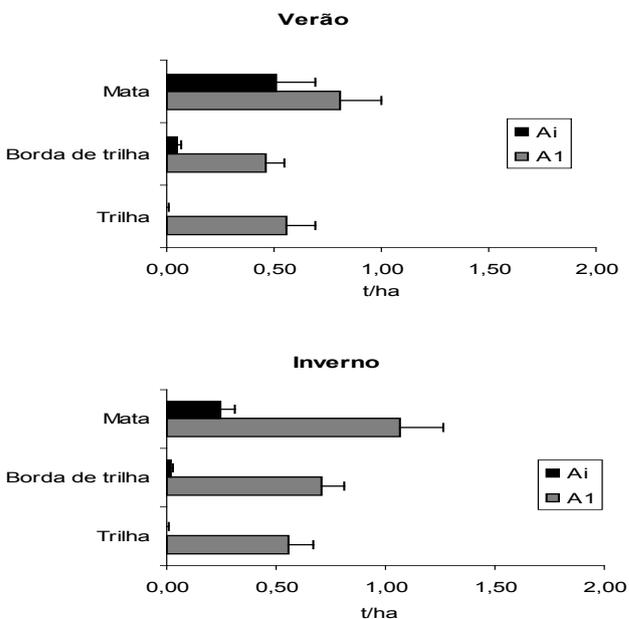


Figura 5. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico do fragmento Bionativa nas diferentes situações internas. Valores médios e erros padrão. n= 9.

Figure 5. Biomass distribution of the fine roots in the humic profile of the Bionativa forest fragment on different internal situations. Means and standard errors. n=9

do que as observadas para o fragmento BIO (tabela 2). No primeiro, as áreas de mata apresentam valores significativamente superiores às bordas de trilha e trilhas em todos os horizontes. O estoque total médio estimado para as trilhas nesse fragmento representa 25% do estoque total médio estimado para as áreas de mata. Para o fragmento BIO foi estimado um estoque total médio de raízes para as trilhas correspondente a 42% do estimado para as áreas de mata. Essa diferença menos expressiva entre as situações internas para o fragmento BIO é decorrente da ausência de diferenças significativas no estoque de raízes do horizonte A₁, local de maior acúmulo de raízes no perfil húmico.

Verifica-se como característica comum a ambos os fragmentos, estoques praticamente desprezíveis de raízes no horizonte A_i para as bordas de trilhas (0,035 t/ha, em média) e inexistentes para as trilhas.

As quantidades de raízes das camadas húmicas são semelhantes entre as amostras de verão e inverno para cada fragmento e para as diferentes situações analisadas: mata, borda de trilha e trilha (Tabela 2).

A figura 6 resume o conjunto dos resultados obtidos, reagrupando os dados correspondentes ao verão e ao inverno sem diferenças significativas. Para PN, pode ser aceita a existência de um gradiente nas quantidades de raízes: mata > borda de trilha > trilha (diferenças

Tabela 2. Biomassa de raízes finas (t/ha) no perfil húmico do fragmento Pasto Novo e Bionativa nas diferentes situações internas. Média (erro padrão); U: teste de Mann-Whitney. °: p> 0,05. Kruskal-Wallis (comparação entre as situações internas). n=9.

Table 2. Fine roots biomass (t/ha) in the humic profile of the Pasto Novo and Bionativa fragments on different internal situations. Mean (standard error); Mann-Whitney U test between seasons. °: p> 0,05 and *: p< 0,05. Kruskal-Wallis test (comparison between internal situations). n=9.

PN											
	Mata			Borda de trilha			Trilha			Kruskal-Wallis	
	verão	inverno	U	verão	Inverno	U	verão	inverno	U	verão	inverno
F ₂	–	0,18 (0,06)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
A _i	0,31 (0,08)	0,43 (0,12)	°	0,03 (0,01)	0,04 (0,02)	°	–	–	–	H= 20,77 p< 0,001	H= 20,44 p< 0,001
A ₁	1,03 (0,16)	1,64 (0,28)	°	0,40 (0,08)	1,03 (0,29)	°	0,22 (0,10)	0,61 (0,19)	°	H= 13,96 p< 0,001	H= 6,69 p= 0,03
Total	1,34 (0,20)	2,24 (0,36)	°	0,43 (0,08)	1,07 (0,30)	°	0,23 (0,11)	0,61 (0,19)	°	H=16,87 p<0,001	H=10,54 p=0,005
BIO											
	Mata			Borda de trilha			Trilha			Kruskal-Wallis	
	verão	inverno	U	verão	inverno	U	verão	inverno	U	verão	inverno
A _i	0,51 (0,18)	0,24 (0,07)	°	0,05 (0,02)	0,02 (0,01)	°	–	–	–	H= 17,77 p< 0,001	H= 15,98 p< 0,001
A ₁	0,81 (0,19)	1,06 (0,20)	°	0,46 (0,09)	0,71 (0,10)	°	0,55 (0,14)	0,55 (0,12)	°	NS	NS
Total	1,33 (0,16)	1,31 (0,21)	°	0,50 (0,09)	0,73 (0,10)	°	0,56 (0,14)	0,56 (0,12)	°	H= 10,51 p= 0,005	H= 8,98 p= 0,01

significativas; teste U, $\alpha < 0,001$ para mata versus borda e mata versus trilha e $\alpha < 0,03$ para borda versus trilha). Porém, na situação intermediária, as quantidades de raízes finas são inferiores à metade das correspondentes às áreas menos perturbadas (mata). Para o fragmento BIO verifica-se a ordem seguinte: mata > borda de trilha = trilha, sendo a quantidade estimada para a área denominada mata significativamente superior à borda de trilha e à trilha (diferenças significativas; teste U, $\alpha < 0,001$ para mata versus borda e versus trilha e não significativa para borda versus trilha, $\alpha > 0,05$).

Discussão

Modificações na biomassa e na distribuição de raízes finas entre as áreas de mata dos sítios de estudo

O conjunto dos resultados obtidos sugere que o processo de decomposição da matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes apresentam um funcionamento superficial, uma vez que cerca de 20-40% da biomassa total de raízes no perfil húmico se concentram na camada F2 e no horizonte Ai. A distribuição de raízes finas no

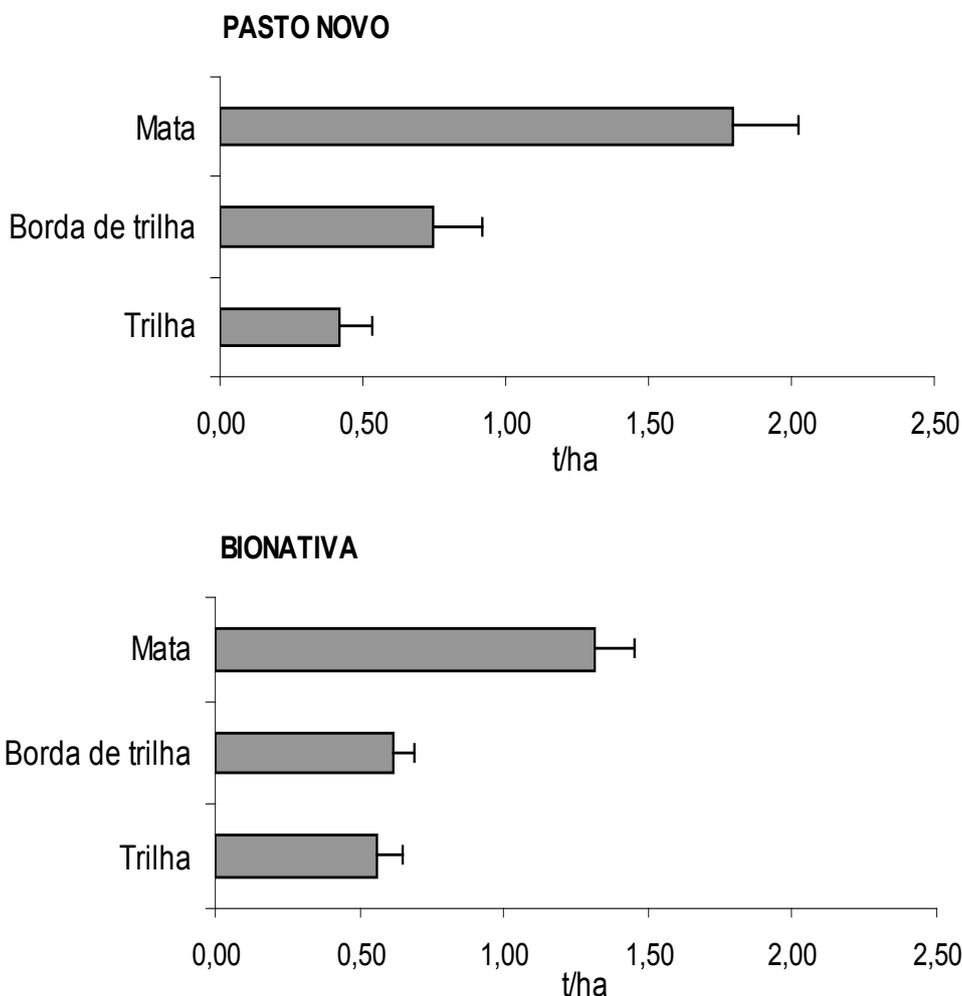


Figura 6. Distribuição da biomassa de raízes finas no conjunto das camadas húmicas (F2, Ai e A1) do fragmento Pasto Novo e no fragmento Bionativa nas diferentes situações internas: mata, borda de trilhas e trilhas. Valores médios e erro padrão. n= 18.

Figure 6. Biomass distribution of the fine roots in the total humus layer ((F2, Ai e A1) of the Bionativa on different internal situations: forest, border's trails and trails. Means and standard errors. n=18.

perfil húmico, acompanhando as distintas camadas de matéria orgânica em decomposição foi também descrita por Garay et al. (1995) e Kindel *et al.* (1999) ao estudarem as formas de húmus em ecossistemas primários e interferidos de Floresta Atlântica de Tabuleiros. Ambos os trabalhos apresentaram padrões semelhantes ao encontrado no presente estudo: presença significativa do estoque de raízes nas camadas superficiais F₂ e, sobretudo, A_i e aumento da proporção de raízes nos primeiros 10cm do horizonte orgânico-mineral A₁. A abundância de raízes finas nos primeiros centímetros do solo foi igualmente observada em solo da Amazônia por Saldarriaga (1994). Aparentemente, nas florestas tropicais, 30% da biomassa do total de raízes encontram-se nos primeiros 30 cm do solo (Jackson *et al.*, 1996). Porém, Sarmiento et al. (2005), numa síntese sobre a biomassa em florestas tropicais da América, assinalam a falta de dados existentes sobre biomassa subterrânea, representada, sobretudo, pelo conjunto das raízes – finas e grossas -, e a provável importância desta biomassa – da ordem de 20% a 50% da biomassa total - no ciclo do carbono.

Segundo Dornbush et al. (2002) o turnover de raízes superficiais representa uma importante via do fluxo de carbono das plantas para o solo, sendo que uma parte importante destas raízes pode estar constituída por necromassa (ver p. ex., Priess *et al.*, 1999) cuja matéria orgânica poderá ser diretamente integrada ao solo. Para os solos de fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros, os resultados de Noronha (2006) apóiam esta hipótese ao evidenciar uma correlação positiva significativa entre o estoque de carbono orgânico e o estoque de raízes no horizonte hemiórgânico A₁. Cavalier (1992) comprova correlações positivas entre o carbono orgânico, a CEC e o nitrogênio e a distribuição vertical das raízes finas numa floresta tropical úmida no Panamá, mostrando que o nitrogênio total explica a maior parte da variação da biomassa de raízes. Na Floresta de Tabuleiros, os maiores conteúdos de nutrientes encontram-se no topo do solo aí onde as raízes finas alcançam as maiores biomassas (Garay *et al.*, 1995, Kindel & Garay, 2002). Neste sentido, Furch e Klinge (1989) em estudo sobre a Floresta Amazônica de terra firme, sugerem que a acumulação das bases de troca, carbono e nitrogênio nos horizontes do topo do solo (0 –2cm) revela um funcionamento superficial da reciclagem de nutrientes, próprio de florestas tropicais (Garay & Kindel, 2001).

De maneira geral, as características químicas e físicas do solo aparecem associadas à produtividade e à distribuição de raízes finas (Gower 1987, Cavalier 1992, Silver *et al.* 2002). Assim, a biomassa de raízes pode ser considerada um indicador do funcionamento do subsistema de decomposição e da reciclagem de nutrientes.

Considerando que o tipo de húmus e a classe de solo são os mesmos em SOO e nos dois fragmentos, as diferenças verificadas nos estoques de raízes finas de cada fragmento podem ser interpretadas não somente em relação a modificações do processo de decomposição e reciclagem de nutrientes, mas, também, com respeito ao grau de impacto sofrido pela comunidade arbórea em cada sítio. Diferenças significativas desta comunidade refletem, de fato, distintas intensidades da extração de madeira nos fragmentos. O fragmento BIO parece haver sido afetado mais drasticamente quando comparado, em particular, a PN. Nesse fragmento, Agarez (2002) e Agarez et al. (2004) estimaram uma menor diversidade arbórea, menor densidade de Leguminosae e Myrtaceae, com as maiores abundâncias de Euphorbiaceae, representadas, sobretudo, pela espécie pioneira *Joannesia princeps* Vell., e menor área basal média, o que levou a sua classificação no grupo dos fragmentos com média diversidade (Agarez *et al.*, 2004). Aliado a isso, os estoques totais de matéria orgânica nas camadas holorgânicas, constituídas somente por restos foliares e matéria orgânica amorfa, representam entre um terço e metade do estimado para SOO (Noronha *et al.*, 2006). Entre o fragmento PN e SOO não foram estimadas diferenças significativas no que diz respeito à biomassa de raízes no topo do solo o que está de acordo com o estudo da vegetação que evidencia semelhança entre o sítio controle SOO e PN, fragmento classificado como de alta diversidade (Agarez *et al.*, 2004).

Em suma, esses resultados indicam que as áreas de mata do fragmento BIO apresentam-se mais perturbadas do que as demais tanto em relação à estrutura da comunidade arbórea como com respeito ao subsistema de decomposição que as áreas amostradas do fragmento PN. Apesar destas alterações, pode ser formulada a hipótese de que a sustentabilidade do fragmento BIO não está completamente comprometida pelas atividades extrativistas, que já remontam a mais de cinco décadas, notadamente no que diz respeito ao subsistema de decomposição. Neste sítio, a estrutura das camadas orgânicas é similar à dos húmus dos sítios

menos perturbados (Noronha, 2006) e a comunidade de mesofauna edáfica é relativamente semelhante àquela dos ecossistemas das áreas protegidas vizinhas aos fragmentos (RB Sooretama e Reserva de Linhares); a semelhança entre as formas de húmus e a estrutura da comunidade de artrópodos edáficos é, ainda, maior entre PN e SOO (Pellens & Garay, 1999; Pellens, 2002; Kindel, 2001; Kindel & Garay, 2002; Noronha *et al.*, 2006), o que sugere que apesar de modificações na estrutura do dossel, o subsistema de decomposição conserva uma relativa integridade de sua estrutura e de seus componentes bióticos.

Modificações na biomassa e na distribuição de raízes finas entre as áreas de mata, as bordas de trilhas e trilhas no interior dos fragmentos.

Os resultados referentes às trilhas e as áreas que as contornam evidenciam que as vias de passo relacionadas às atividades extrativistas produzem uma redução

significativa nos estoques de raízes finas das camadas superiores do solo, o que pode ser associado a uma diminuição da decomposição da matéria orgânica e da reciclagem de nutrientes. Estas vias de passagem criam, assim, nos fragmentos uma heterogeneidade espacial interna de áreas não funcionais no interior do remanescente. Note-se que a perturbação se prolonga além das trilhas nas áreas próximas que as circundam sobre uma superfície bem mais considerável que a das próprias trilhas.

O estoque desprezível de raízes finas no horizonte A_i de interface, horizonte que é característico dos solos dos Tabuleiros (Kindel & Garay, 2002), tanto em áreas que contornam as trilhas como em elas próprias, apóia a hipótese da não funcionalidade dessas áreas (Figura 7).

Os resultados detalhados sobre as quantidades de raízes - e não sobre as porcentagens - evidenciam que as diferenças constatadas entre áreas de mata, bordas de trilhas e trilhas são mais importantes para o fragmento PN do que para BIO. Na realidade, pode se supor, por um

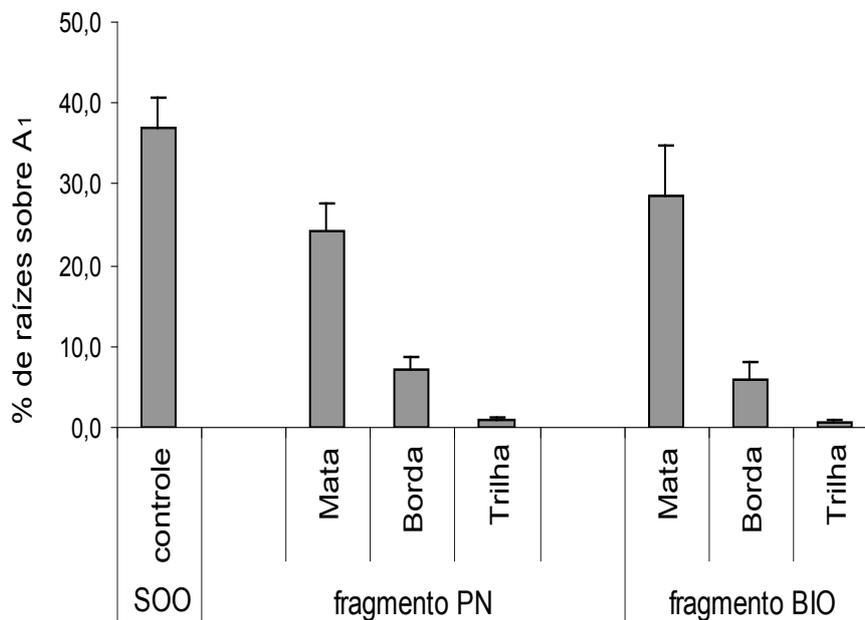


Figura 7. Distribuição em porcentagem da biomassa de raízes finas no topo do solo - $(F_2, + A_i) / A_1\%$ - no sítio controle SOO, no fragmento Pasto Novo e no fragmento Bionativa segundo as diferentes situações internas: mata, borda de trilhas e trilhas. Valores médios e erro padrão. n= 18.

Figure 7. Relative biomass distribution of the fine roots at the top soil - $(F_2, + A_i) / A_1\%$ - for the SOO control site and Pasto Novo and Bionativa forest fragments on different internal situations: forest, border's trails and trails. Means and standard errors. n=18.

lado, que o fragmento BIO encontra-se mais perturbado como um todo, reduzindo as diferenças entre as situações internas, e por outro, que a intensidade e a forma de uso do fragmento PN – atividades, sobretudo, de extração de madeira de grande porte – afetaram sobremaneira as trilhas e suas adjacências, mas mantiveram áreas melhor conservadas. Deve-se assinalar que o fragmento BIO está situado na vizinhança de um centro urbano pouco povoado e com características tradicionais o que submete este remanescente a extrações contínuas para uso doméstico. Iskandar et al. (2006) mostram, em estudo de usos extrativistas controlados, que populações locais podem danificar a cobertura florestal de maneira intensa devido à coleta maciça de árvores de tamanho pequeno e intermediário. Por outro lado, Gerwing (2002) analisa, para Amazônia, como os ciclos extrativistas que levam à queima e ao desmatamento passam por uma etapa de extração de árvores de todos os tamanhos, inclusive de aquelas de pequeno fuste.

Conclusão

Nas suas áreas mais preservadas, os fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros estudados se caracterizam por apresentar uma distribuição vertical da biomassa de raízes finas semelhante à encontrada em áreas protegidas, com significativa quantidade no topo do solo, sobre o primeiro horizonte pedológico A₁, o que pôde ser relacionado a estudos sobre as características quantitativas e qualitativas dos horizontes orgânicos e sobre a fauna edáfica. Apesar de existirem diferenças entre os fragmentos, e entre eles e o sítio controle, os resultados indicam que a hipótese da sustentabilidade destes fragmentos não deve ser descartada. Inseridos numa paisagem agrícola fortemente desmatada, na qual a necessidade de restauração das matas ciliares com espécies nativas é premente, eles representam a possibilidade de uma utilização sustentável de seus recursos biológicos e, notadamente, de seus estoques genéticos para a recuperação das áreas degradadas e a facilitação do cumprimento da legislação.

Em contrapartida, os resultados referentes às trilhas e suas bordas evidenciam a forte perturbação que se produz no entorno de vias de passagem: o desaparecimento das raízes mais superficiais, que acompanham a perda dos horizontes do topo do solo, determina certamente a não funcionalidade destas áreas, muito mais extensas

que as das simples trilhas. Relacionados, em geral, a atividades extrativistas que se perpetuam no tempo, o planejamento e controle destes caminhos de entrada, seja em remanescentes florestais, seja em trechos de floresta contínua parecem indispensáveis. Apesar de que pesquisas sobre extrativismo florestal no trópico já consideram esta necessidade (Iskandar *et al.*, 2006; Sist & Ferreira, 2007), o manejo controlado de vias de acesso nem sempre é integrado em medidas de conservação de remanescentes de Floresta Atlântica.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo CNPq, a UFRJ e a FAPERJ. Agradecemos à Dra. Roselli Pellens que realizou as amostragens durante sua Tese de Doutorado, à Fundação BIONATIVA que deu suporte técnico de campo na pessoa de Nivaldo Del Piero. A bióloga Vanessa Riccioppo de Moraes foi bolsista de IC (CNPq/PIBIC) e o M.Sc. Felipe Noronha, bolsista CNPq do programa de Pós-Graduação em Geografia, durante a realização deste trabalho.

Referências bibliográficas

- ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H. J.; MAYAUX, Ph.; GALLEGO, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J. P. Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests. *Science*, V.297, p.999-1002, 2002.
- AGAREZ, F. V.; GARAY, I.; VICENS, R. S. A floresta em pé: Heterogeneidade de fragmentos e conservação. In: Garay, I.; Rizzini, C. M. (orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, 2004. p. 27-34.
- AGAREZ, F. V. **Contribuição para a gestão de fragmentos florestais com vista à conservação da biodiversidade em Floresta Atlântica de Tabuleiros**. 2002. 237f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- CAMARGO, J. L. C.; KAPOV, V. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in Central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, V.11, p. 205-221,

1995.

CAVELIER, J. Fine root biomass and soil properties in a semideciduous and a lower montane rain forest in Panamá. **Plant and Soil**, V.142, p.187-201, 1992.

DIDHAM, R. K.; LAWTON, J. H. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. **Biotropica**, V.31, n.1, p.17-30, 1999.

DORNBUSH, M. E.; ISENHART, T. M.; RAICH, J. W. Quantifying fine-root decomposition: an alternative to buried litterbags. **Ecology**, V.83, n.11, p. 2985-2990, 2002.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, V.34, p. 487-515, 2003.

FURCH, K.; KLINGE, H. Chemical relationships between vegetation, soil and water in contrasting inundation areas of Amazonia. In: Proctor, J. (ed.). **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1989. p.189–204.

GARAY, I. & SILVA, B. A. O. Os húmus florestais: Síntese e diagnóstico das relações vegetação-solo. In: Esteves, F. (ed.). **O Ecologia Brasiliensis, Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros**. Programa de Pós Graduação em Ecologia / UFRJ, 1995. V.1, p.19-46.

GARAY, I. **Avaliação do status da biodiversidade no nível do ecossistema**. In: Garay, I. & Dias, B. (Eds.), **Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Ed.Vozes, Rio de Janeiro, 2001. p. 399-411.

GARAY, I. Construir as dimensões humanas da biodiversidade: um enfoque transdisciplinar para a conservação da Floresta Atlântica. In: Garay, I. & Becker, B. K. (orgs.). **Dimensões humanas da biodiversidade: o desafio de novas relações sociedade-natureza no século XXI**. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, 2006. p. 413-445.

GARAY, I.; KINDEL, A. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica: valor indicador das formas de húmus florestais. In: Garay, I. & Dias, B. (orgs.). **Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, 2001. p. 350-368.

GARAY, I.; KINDEL, A.; JESUS, R. M. Diversity of humus forms in Atlantic Forest ecosystems (Brazil). The Table-land Atlantic Forest. **Acta Oecologica** V.16, p.553-570, 1995.

GARAY, I.; KINDEL, A.; LOUZADA, M. A. P.; SANTOS, R. D. dos. Diversidade funcional dos solos da Floresta Atlântica de Tabuleiros. In: Garay, I.; Rizzini, C. M. (orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, 2004. p. 16-26.

GARAY, I.; RIZZINI, C. M. (orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: Diversidade Funcional da Cobertura Arbórea**. 2ª.ed. Ed. Vozes, Petrópolis. Rio de Janeiro, 2004. 255p.

GERWING, J. J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, V.157, p.131-141, 2002.

GOWER, S. T. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forests: a hypothesis. **Biotropica**, V.19, p.171-175, 1987.

ISKANDAR, H.; SNOOK, L. K.; TOMA, T.; MACDICKEN, K. G.; KANNINEN, M. A comparison of damage due to logging under different forms of resource access in East Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecology and Management**. V.237, p.83-93, 2006.

ITTO. **Guidelines for the restoration management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests**. International Tropical Timber Organization, Policy Development, series nº13, Yokohama, 84p, 2002.

JACKSON, R. B.; CANADELL, J. R.; EHLERINGER, H. A.; MOONEY, O.; SALA, E.; SCHULZE, E. D. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes.

Oecologia, V.108, p.389-411, 1996.

JESUS, R. M.; ROLIM, S. G. Fitossociologia da Floresta Atlântica de Tabuleiro em Linhares (ES). **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, V.19, p.1-149, 2005.

KINDEL, A. **A fragmentação real: heterogeneidade de remanescentes florestais e valor indicador das formas de húmus**. 2001. 188f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

KINDEL, A.; BARBOSA, P. M. S.; PÉREZ, D. V.; GARAY, I. Efeito do Extrativismo Seletivo de Espécies Arbóreas da Floresta Atlântica de Tabuleiros na Matéria Orgânica e Outros Atributos Pedológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.23, p.465-474, 1999.

KINDEL, A.; GARAY, I. Caracterização de Ecossistemas da Mata Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.25, p.551-563, 2001.

KINDEL, A.; GARAY, I. Humus form in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. **Geoderma**, V.108, p.101-118, 2002.

KINDEL, A.; GARAY, I.; CARMO, C. A. F. S.; LIMA, J. A. S. Quantificação dos Horizontes Húmicos e Dinâmica da Decomposição de Material Foliar em Solos Florestais: Contribuição ao Estudo de Seqüestro de Carbono. EMBRAPA, Rio de Janeiro, **Comunicado Técnico 21**, p.1-8, 2003.

MALAGON, D.; SEVINK, J.; GARAY, I. Methods for soil analysis. In: Van der Hammen, T.; Müller-Dombois, D.; Little, M. A. (Eds.). **Manual of methods for mountain transect studies. Comparative studies of tropical mountain ecosystems**. Paris, IUBS, 1989. p. 29-40.

NORONHA, F. **Avaliação da heterogeneidade das formas de húmus em distintas escalas numa paisagem fragmentada de Floresta Atlântica de Tabuleiros, Sooretama, ES**. 2006. 135f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NORONHA, F.; QUEIROZ, G.; LEAL, A.; GARAY, I. Impacto das trilhas sobre as características do solo e da fauna edáfica em fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros, Sooretama, ES. In: I CONGRESSO NACIONAL DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS, 2006, **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2006. 13p.

PELLENS, R. **Fragmentação Florestal em Mata Atlântica de Tabuleiros: os efeitos da heterogeneidade da paisagem sobre a diversidade de artrópodos edáficos**. 2002. 198f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PELLENS, R.; GARAY, I. Edaphic macroarthropod communities in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid (Myrtaceae) and *Acacia mangium* Wild (Leguminosae) in Brazil. **European Journal of Soil Biology**, V.35, p.77-89, 1999.

PHILLIPS, O. L. The changing ecology of tropical forests. **Biodiversity and Conservation**, n.6, p. 291-311, 1997.

PRIESS, J.; THEN, C.; FOELSTER, H. Litter and fine root production in three types of tropical premontane rain forest in south eastern Venezuela. **Plant Ecology**, V.143, p.171-187, 1999.

RADAMBRASIL. **Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Folha SE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro. Levantamento de Recursos Naturais, v. 34, 1987. 548 p.

RIZZINI, C. M.; ADUAN, R. E.; JESUS, R.; GARAY, I. Floresta Pluvial de Tabuleiro, Linhares, ES, Brasil: Sistemas Primários e Secundários. **Leandra**, V.12, p.54-76, 1997.

RIZZINI, C. T. 1997. **Tratado de fitogeografia do Brasil, aspectos sociológicos e florísticos**. 2ª. ed. Editora Âmbito Cultural, Rio de Janeiro. 747p.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M. Fluctuaciones temporales en la composición florística del Bosque Tropical Atlântico. **Biotropica**, V.33, n.1,

p.12-22, 2001.

ROLIM, S. G.; NASCIMENTO, H. E. M. Análise da riqueza, diversidade e relação espécie-abundância de uma comunidade arbórea vegetal tropical em diferentes intensidades amostrais. **Scientia Forestalis**, n.1, p. 7-16, 1997.

SAATCHI, S.; AGOSTI, D.; ALGER, K.; DELABIE, J.; MUSINSKY, J. Examining fragmentation and loss of primary forest in the Southern Bahian Atlantic Forest of Brazil with radar imagery. **Conservation Biology**, V.15, p.867-875, 2001.

SALDARRIAGA, J. G. Recuperación de la Selva de “Tierra Firme” en el alto Rio Negro Amazônia Colombiana-Venezolana. **Estudios en la Amazonia Colombiana**, Tropenbos, Colômbia, 1994.

SANTOS, R. D. dos.; BARRETO, W. O.; ARAÚJO, W. S.; CLAESSEN, M. E. C.; PÉREZ, D. V.; DE PAULA, J. L.; SOUSA, J. L. R.; SOUZA, J. S. **Levantamento expedito dos solos das Reserva Florestais de Linhares e Sooretama no estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento no. 49, 2004. 68p.

SARMIENTO, G.; PINILLOS, M.; GARAY, I. Biomass variability in tropical american lowland rainforests. **Ecotropicos**, V.18, p.1-20, 2005.

SILVER, W. L.; LEFF, 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.

SIST, P.; FERREIRA, F.N. Sustainability of reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, V.243, p.199–209, 2007.

THOMAS, W. W. M.; CARVALHO, A. M. V.; AMORIM, A. M. A.; GARRISON, J.; ARBELÁEZ, A. Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil. **Biodiversity and Conservation**. V.7, p.311–322, 1998.

UNEP. Assessment of the status of the world's

remaining closed forests. **United Nations Environment Programme**. Nairobi, Kenya, 2001.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlantic Moist Forest. In: Schellas, J. & Greenberg, R. (Eds.) **Forest Patches in Tropical Landscapes**. Island Press, Washington, D.C, 1996. p. 151-167.

VICENS, R. S. **Abordagem Geocológica Aplicada às Bacias Fluviais de Tabuleiros Costeiros no Norte do Espírito Santo: Uma Contribuição para a Avaliação e Gestão de Recursos Hídricos**. 2003. 253f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VICENS, R. S.; AGAREZ, F. V.; GARAY, I. A região da REBIO Sooretama e da Reserva de Linhares e seu entorno: das características físico-geográficas ao uso da terra. In: Garay, I.; Rizzini, C. M. (orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, 2004. p. 7-15.

WALLACE, K. J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. **Biological Conservation**, V.139, p.235-246, 2007.