

TÂNIA LÚCIA DA COSTA

**BIOMASSAS RADICULARES E AÉREAS EM
COMUNIDADES DE CAATINGA**

RECIFE-PE
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA-PPGB

**BIOMASSAS RADICULARES E AÉREAS EM
COMUNIDADES DE CAATINGA**

TÂNIA LÚCIA DA COSTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco – PPGB/UFRPE, como requisito para obtenção do título de Mestre em Botânica.

Orientador:

Dr. Everardo V.S.B. Sampaio

Co-orientadora:

Dra. Margareth F. de Sales

RECIFE-PE

2013

Ficha catalográfica

C837b Costa, Tânia Lúcia da
Biomassas radiculares e aéreas em comunidades de
caatinga / Tânia Lúcia da Costa. – Recife, 2013.
77 f. : il.

Orientador: Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio.
Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife, 2013.
Inclui referências e anexo(s).

1. Semi-árido tropical 2. Razão raiz: parte aérea
3. Fitofisionomias I. Sampaio, Everardo Valadares de Sá Barretto,
orientador II. Título

CDD 581

TÂNIA LÚCIA DA COSTA

**BIOMASSAS RADICULARES E AÉREAS EM COMUNIDADES DE
CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Botânica.

Defendida em: ____/____/____

Presidente da Banca / Orientador

Prof. Dr. Everardo V.S.B. Sampaio

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Examinadores:

Profa. Dra. Ana Carolina B. Lins e Silva

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Titular)

Profa. Dra. Elba Maria N. Ferraz Ramos

Instituto Federal de Pernambuco – IFPE (Titular)

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Titular)

Profa. Dra. Maria Jesus Nogueira Rodal

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Suplente)

Ofereço

Ao meu querido Deus!

Dedico

*A minha mãe e a todos aqueles que, direta
ou indiretamente, contribuíram para que
eu chegasse até aqui.*

“Mãe, obrigada por suas orações.”

*O coração do homem dispõe o seu caminho,
mas é o senhor quem dirige seus passos*

Provérbios 16,9

AGRADECIMENTOS

Quero expressar a minha profunda gratidão a tantas pessoas que contribuíram na realização de mais essa etapa de minha vida.

Primeiramente, agradeço a Deus por tantas vitórias alcançadas, e pelo seu imenso amor em tantos momentos difíceis, mas que me fizeram crescer e acreditar na realização dos meus objetivos.

A minha família, ao meu pai José Antonio e em especial a minha mãe Ana, pelo seu apoio e dedicação, que foram fundamentais em minha caminhada, e ao meu irmão (Tony).

A meu namorado e amigo Anderson, pela paciência e por estar ao meu lado em todos os momentos, me apoiando e me incentivando, com todo o seu carinho e amor.

Aos amigos e segunda família “Eternos Seguidores de Cristo” da Paróquia N^a Sr^a da Ajuda, em especial (Mila e Flavinho), pois, com alegria, posso dizer que muitos de vocês fizeram e fazem parte da minha história; Diego Marcelino, pelo seu apoio e disponibilidade nos momentos mais necessários, Lucilene (Lú) por tantos “aperreios” e fico feliz em poder dizer que é uma das pessoas mais sensíveis e generosas que conheci; A minha amiga e irmã adotiva, com a qual a vida me presenteou Leidiana (Leidi), pelo incentivo e amizade sincera, que jamais pensei encontrar no ambiente acadêmico, e que levarei comigo sempre, como um exemplo.

Aos companheiros de coleta: Eliza, Júlio, Patryk, Kennedy, Tiago e Renan, pelo árduo trabalho de campo, mas sempre com bastante alegria. A Frans Pareyn que foi de uma ajuda extraordinária tanto na organização do trabalho de campo, quanto pelos esclarecimentos, e auxílio na organização dos dados.

Ao pessoal do LATAX (Luciana, Juliana, Andreza, Sarah, Thalita e Marcos), pelo apoio e convivência em tantos momentos, de alegria, nervosismo, ansiedade, mas sempre na torcida pelo êxito em minhas atividades.

Aos mestres em ordem cronológica: Maria Jesus Nogueira Rodal, por todos os ensinamentos, paciência, preocupação e pela oportunidade de sua convivência, tornando-se para mim um grande exemplo, ao Everardo Sampaio pelo qual hoje tenho uma profunda admiração e respeito, por toda sua experiência e pela sua (sempre) disponibilidade para as discussões do trabalho, sempre com muita atenção e

tranquilidade, que me passaram muita confiança e à Margareth Ferreira de Sales pelas suas palavras de incentivo, orações e apoio em tantos momentos importantes.

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Ao programa de Pós-Graduação em Energia Nuclear–UFPE. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico–CNPq pela concessão da bolsa e a EMBRAPA Pernambuco pelo apoio logístico para as informações de campo.

Às funcionárias Kênia Azevedo, pelo seu jeito alegre e sempre muito prestativo com todos, e à Joana por todo o cuidado e zelo em suas atividades.

Desse modo, posso dizer que esta dissertação é fruto da contribuição de tantas pessoas e de um esforço pessoal que valeu cada momento, pelo grande aprendizado. A vocês os meus sinceros agradecimentos!!!.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Caracterização do bioma caatinga.....	15
2.2. A biomassa florestal no contexto do sequestro de carbono.....	16
2.3. Implicações do carbono nos ecossistemas florestais.....	18
2.4. Estimativas de biomassa florestal associadas ao uso de relações alométricas	20
2.5. Influências dos gradientes ambientais na alocação da biomassa aérea e radicular..	21
2.6. Biomassas em florestas tropicais.....	24
3. REFERÊNCIAS	28
MANUSCRITO: Biomassas radiculares e aéreas em comunidades de caatinga	40
Resumo	41
Abstract.....	42
1. Introdução	43
2. Material e métodos	45
2.1. Estádios de regeneração na Paraíba.....	45
2.2. Fitofisionomias e classes de solos em Pernambuco.....	47
2.3. Estimativas das biomassas.....	48
3. Resultados.....	50
3.1. Estádios de regeneração na Paraíba	50
3.2. Fitofisionomias e classes de solos em Pernambuco.....	51
3.2.1. Biomassas radiculares.....	51
3.2.2. Biomassas aéreas, área basal e densidade.....	52
4. Discussão.....	53
5. Conclusões.....	58
6. Agradecimentos.....	58
7. Referências.....	59
ANEXO: Normas para publicação no periódico <i>Biomass & Bioenergy</i>	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relações entre a biomassa radicular e a biomassa aérea, nos distintos estádios de regeneração em Santa Terezinha-PB.....	70
Figura 2(A–C). Relações entre a biomassa radicular e da parte aérea, nas diferentes classes de solos no semi-árido de Pernambuco.....	71

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Estimativas de biomassas (Mg ha^{-1}) em florestas tropicais secas ao redor do mundo. BA- biomassa aérea, BR- Biomassa radicular, BR/BS- razão raiz: parte aérea.....	25
--	----

MANUSCRITO

Tabela 1. Critérios usados para o reconhecimento das fitofisionomias abertas e densas nas imagens georeferenciadas no semi-árido de Pernambuco.....	66
---	----

Tabela 2. Localização das áreas amostradas em Pernambuco, considerando as principais classes de solos (L-Luvissole, NL-Neossolo litólico, NQ-Neossolo quartzarênico, P-Planossolo). A primeira coordenada corresponde à área de fitofisionomia aberta e a segunda à de fitofisionomia densa.....	66
--	----

Tabela 3. Biomassa radicular (BR, Mg ha^{-1}), biomassa aérea (BA, Mg ha^{-1}), densidade de plantas (DP, planta ha^{-1}) e área basal (AB, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), em vegetação de caatinga com diferentes tempos de regeneração, em Santa Terezinha, PB.....	67
---	----

Tabela 4. Distribuição da biomassa radicular (%) em camadas de solo de profundidades crescentes, em vegetação de caatinga com diferentes tempos de regeneração, em Santa Terezinha, PB.....	67
---	----

Tabela 5. Proporções da biomassa de raízes grossas (%) em relação à biomassa total das raízes, em camadas de solo de profundidades crescentes, em vegetação de caatinga com diferentes tempos de regeneração, em Santa Terezinha, PB.....	68
---	----

Tabela 6. Medidas (Med) de biomassa radicular (BR, Mg ha^{-1}), biomassa aérea das lenhosas (BAL, Mg ha^{-1}), biomassa aérea das herbáceas (BAH, Mg ha^{-1}), biomassa da serapilheira (BS, Mg ha^{-1}), densidade de plantas (DP, planta ha^{-1}) e área basal (AB, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), em vegetação de caatinga sobre Luvissole (L), Neossolo litólico (NL), Neossolo quartzarênico (NQ) e Planossolo (P), no semi-árido de Pernambuco.....	68
---	----

Tabela 7. Distribuição da biomassa radicular (%) em função das profundidades (P). L- Luvissole, NL- Neossolo litólico, NQ- Neossolo quartzarênico, P- Planossolo, em PE..... 69

Tabela 8. Proporções da biomassa de raízes grossas (%) por profundidade (P). L- Luvissole, NL- Neossolo litólico, NQ- Neossolo quartzarênico, P- Planossolo, em PE..... 69

RESUMO

COSTA, Tânia Lúcia da. Msc. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2013. **Biomassas radiculares e aéreas em comunidades de caatinga**. Everardo V.S.B. Sampaio.

Objetivou-se estimar as biomassas radiculares e aéreas e as razões raiz: parte aérea em três estádios de regeneração (18, 40 e > 60 anos), em Neossolo litólico, no semi-árido na Paraíba, e em fitofisionomias abertas e densas, em quatro classes de solos (Luvissole, Neossolos litólico e quartzarênico e Planossolo), no semi-árido de Pernambuco. Na Paraíba, foram instaladas 12 parcelas de 3 m de raio em cada estádio de regeneração e, em Pernambuco, foram instaladas três parcelas de 5m de raio em cada combinação fitofisionomia x solo. Nas parcelas, foram medidos todos os indivíduos com diâmetro do caule a 1,3 cm do solo (DAP) ≥ 3 cm e o DAP foi usado para estimar as biomassas aéreas (Kg) de cada indivíduo aplicando-se a equação: $0,173 \text{ DAP}_{(\text{cm})}^{2,295}$. As raízes foram coletadas em trincheiras de 0,7x0,7x1m, em camadas de solo de 20 em 20 cm de profundidade, separadas em finas ($\leq 5\text{mm}$) e grossas ($\geq 5\text{mm}$), e em seguida secas e pesadas. Na Paraíba, as biomassas radiculares foram significativamente maiores na vegetação >60 anos em regeneração (23 Mg ha⁻¹) que nos estádios em regeneração há 40 (5 Mg ha⁻¹) e 18 anos (2 Mg ha⁻¹), assim como as biomassas aéreas (60, 28 e 22 Mg ha⁻¹, respectivamente). Nas áreas da Paraíba, a maior parte (> 79%) da biomassa total de raízes estava na camada dos 20 cm superficiais do solo. Em Pernambuco, as biomassas radiculares (13,1 Mg ha⁻¹) e aéreas (47,2 Mg ha⁻¹) foram significativamente maiores nas fitofisionomias densas que nas abertas (5,75 Mg ha⁻¹ e 16,5 Mg ha⁻¹, respectivamente). Nas duas fitofisionomias, em três das classes de solos, a maior parte da biomassa das raízes (>90%) estava nas camadas até 40 cm de profundidade, mas no N. quartzarênico, a proporção nestas camadas foi menor que 45%. As razões raiz: parte aérea variaram de 23 a 39%, com as maiores razões na vegetação >60 anos em regeneração e no N. quartzarênico (solo arenoso), nesta classe de solo atingindo as maiores profundidades. Portanto, os estoques de biomassas tendem a aumentar com o avanço do estádio sucessional da vegetação e as raízes atingem maiores profundidades e maior razão raiz: parte aérea no solo de textura mais arenosa.

Palavras-chave: semi-árido tropical, razão raiz: parte aérea, fitofisionomias

ABSTRACT

COSTA, Tânia Lúcia da. Msc. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2013. **Root and aboveground biomass in caatinga communities**. Everardo V.S.B. Sampaio.

The root and aboveground biomass and the root: shoot ratio were estimated in three stages of native vegetation regeneration (18, 40 and > 60 years), in an area of litholic Neosol in semiarid, Paraíba state, and in open and dense vegetation physiognomies in four soil classes (Luvisol, litholic Neosol and quartzarenic Neosol and Planosol), in the semiarid of Pernambuco state. In Paraíba, twelve 3 m radius plots were installed at each regeneration stage, and in Pernambuco, three 5m radius plots were installed in each combination of vegetation x soil class. In each plot, all plants with stem diameter at 1.3 m above the soil level ($DBH \geq 3$ cm) were measured and the DBH was used to estimate the aboveground biomass (kg) of plant using the equation: $0,173 DBH_{(cm)}^{2,295}$. The roots were collected in $0.7 \times 0.7 \times 1$ m trenches, in successive soil layers of 20 cm depth, separated in fine (≤ 5 mm) and thick roots (≥ 5 mm), dried and weighed. In Paraíba, the root biomass was significantly higher in the vegetation > 60 years regeneration (23 Mg ha⁻¹) than in the younger regeneration stages (5 Mg ha⁻¹ in the 40-year regeneration and 2 Mg ha⁻¹ in the 18-year regeneration stages). The aboveground biomass was also higher in the > 60 years regeneration (60, 28 and 22 Mg ha⁻¹, respectively). In all regeneration stages, most (> 79%) of the total root biomass was in the 20 cm layer of soil. In Pernambuco, the root (13.1 Mg ha⁻¹) and aboveground (47.2 Mg ha⁻¹) biomasses were significantly higher in the dense vegetation physiognomies than in the open vegetation physiognomies (5.75 Mg ha⁻¹ and 16.5 Mg ha⁻¹, respectively). In the two phytophysiognomies, in three of the soil classes most of the root biomass (>90%) were in the top 40 cm soil layers but in the N. quartzarênico the proportion in these layers were below 45%. The root: shoot ratio ranged from 23 to 39%, with the highest values in the > 60 years regeneration (38%) and in sandy soil (39%) area, where the roots reached their greatest depth. In the open physiognomy no thick root grew below 40 cm depth. Therefore, the biomass stocks tend to increase with the advance of the successional stage and the roots reach greater depths and larger root: shoot ratio in soils of sandy texture.

Key-words: semiarid tropical, ratio root:shoot, vegetation physiognomies

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse acerca das questões climáticas tem trazido nova ênfase nas estimativas de biomassa vegetal, usadas para estimar a quantidade de carbono emitida para a atmosfera quando os ecossistemas florestais são perturbados ou estocada pela vegetação e constituindo um significativo sumidouro de carbono (BROWN; GASTON, 1995; FAO, 2000; HOUGHTON et al., 2009). Além disso, a biomassa florestal é uma variável útil para comparar atributos funcionais e estruturais desses ecossistemas em uma ampla gama de condições ambientais (BROWN, 1997).

Houghton et al. (2009) argumentaram que talvez mais importante do que a biomassa vegetal para o ciclo global de carbono sejam as mudanças na biomassa, que podem determinar os estoques e as fontes de carbono na vegetação. A diminuição dos reservatórios de biomassa nas florestas naturais pode resultar da conversão das florestas em pastos ou áreas agrícolas, que se reflete na extensão das florestas, nas proporções dos estádios sucessionais, na composição das espécies e nas taxas de liberação de carbono, tanto da vegetação quanto do solo (BROWN, 1997; DALE, 1997; FEARNSTIDE; BARBOSA, 1998).

Vários estudos têm feito estimativas dos estoques de carbono, em escala global, revelando que os maiores estoques (>200 Gt C) estão no componente lenhoso das florestas tropicais (DIXON et al., 1994; IPCC, 2000; FAO, 2001). Em florestas tropicais úmidas, medidas dos estoques de biomassa aérea variam de 4,8 a 491,6 Mg ha⁻¹ (HUGHES et al., 1999; LAURENCE et al., 1999; CLARK; CLARK, 2000; CASTILHO et al., 2006; KENZO et al., 2010; DJOMO et al., 2011; FONSECA et al., 2011) e em florestas temperadas de 74 a 372 Mg ha⁻¹ (MURPHY et al., 2009; MENDOZA-PONCE; GALICIA, 2010). A variação das biomassas é resultado da ampla variabilidade ambiental, como a disponibilidade de água e nutrientes no solo, mudanças no uso e manejo da terra e os estádios sucessionais (COOMES; GRUBB, 2000; VARGAS et al., 2008; HOUGHTON et al., 2009). A biomassa aérea das florestas tropicais secas também foi objeto de um número razoável de trabalhos (CASTELLANOS et al., 1991; BROWN; GASTON, 1995; VARGAS et al., 2008; NÁVAR, 2009), embora permaneçam menos estudadas que as florestas tropicais úmidas. Elas são amplamente distribuídas nas regiões tropicais do mundo (JARAMILLO et al., 2003b) e têm sido altamente exploradas para diferentes propósitos (MURPHY; LUGO, 1986; SÁNCHEZ-AZOFEIFA; PORTILLO-QUINTERO, 2011).

A derrubada dessas florestas para dar lugar a outros usos da terra leva a perdas de carbono da vegetação e do solo.

As biomassas das raízes têm sido bem menos avaliadas que as do componente aéreo das florestas. Todavia, há estimativas para diferentes biomas (JACKSON et al., 1996; CAIRNS et al., 1997) e estimativas locais em florestas temperadas (3,0-5,4 Mg ha⁻¹) (MENDOZA-PONCE; GALICIA, 2010), florestas tropicais úmidas (36-68 Mg ha⁻¹) (SARMIENTO et al., 2005) e tropicais secas (17-31Mg ha⁻¹) (CASTELLANOS et al., 1991; JARAMILLO et al., 2003b; RAHERISON; GROUZIS, 2005). Entretanto as estimativas nas florestas secas são escassas e concentradas em poucas áreas, limitando comparações e análises dos efeitos de variáveis ambientais nos estoques radiculares (MURPHY; LUGO, 1986; JARAMILLO et al., 2011). De maneira geral, a distribuição vertical das raízes, os padrões de alocação de biomassa e as interações com os fatores ambientais mostram grande variabilidade (JACKSON et al., 1996), em parte explicada pelas diferentes profundidades do solo e tipos de raízes amostradas, quase sempre restritas aos 100 cm superficiais do solo e às raízes finas (VANCE; NADKARNI, 1992; SARMIENTO et al., 2005; VARGAS et al., 2008).

Alguns estudos de biomassa em ecossistemas brasileiros foram feitos tanto em vegetações úmidas (LAURENCE et al., 1999; CASTILHO et al., 2006; SAATCHI et al., 2007) quanto em áreas de cerrado (ABDALA et al., 1998; CASTRO; KAUFFMAN, 1998; REZENDE et al., 2006). A maioria destes estudos refere-se apenas à biomassa aérea. Em vegetações de caatinga, Kauffman et al. (1993), Amorim et al. (2005) e Accioly et al. (2008) estimaram as biomassas aéreas (20-74 Mg ha⁻¹), com os menores estoques (<5Mg ha⁻¹), associados a áreas mais degradadas (ACCIOLY et al., 2008). Estimativas da biomassa radicular são pouquíssimas, referentes apenas às raízes finas e superficiais (TIESSEN et al., 1992; SALCEDO et al., 1999).

Considerando a importância da biomassa nas predições dos estoques de carbono nos ecossistemas florestais e a escassez de informações acerca das estimativas de biomassas, sobretudo as radiculares nas florestas tropicais secas, objetivou-se estimar as biomassas radiculares e aéreas e as razões raiz: parte aérea em três estádios de regeneração, e em diferentes fitofisionomias e classes de solos. Com isso, foram levantadas as seguintes questões: 1. Há distintos padrões de estoque de biomassas aérea e radicular em função

dos diferentes estádios de regeneração da vegetação? 2. Há distintos padrões de estoque de biomassa aérea e radicular nas fitofisionomias de caatinga aberta e densa, estabelecidas sobre diferentes classes de solos? 3. Em solos mais profundos há maior relação da biomassa raiz: parte aérea que em solos mais rasos?

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização do bioma caatinga

O bioma caatinga ocupa uma extensa área, estimada em 844.453 km² (IBGE, 2004), correspondendo à maior parte da região semi-árida do nordeste brasileiro (QUEIROZ, 2009). A disponibilidade hídrica no semi-árido nordestino é marcadamente variável no espaço e no tempo, com ciclos de secas acentuadas (SÁ, 1994), e é limitante para o crescimento das plantas, diferentemente de outros fatores como luminosidade e temperatura. Outro aspecto de grande variabilidade é o solo, formando um mosaico de características distintas, com texturas que diferem em função do processo de gênese, podendo ir de muito arenoso a muito argiloso e, com profundidades que vão desde o quase nada das superfícies rochosas até camadas muito profundas (SAMPAIO, 2010). Tanto a textura quanto a profundidade influenciam a absorção e retenção de água e, indiretamente, o porte da vegetação (ANDRADE LIMA, 1981).

A vegetação predominante é caducifólia, ocorrendo muitas vezes de modo esparso ou aberto (LEITE et al., 1994), e é uma das mais importantes florestas ou matas secas (QUEIROZ, 2009) do mundo pela sua extensão (MILES et al., 2006; RIEGELHAUPT et al., 2010). Apresenta um elevado grau de antropização, com impactos diretos na vegetação, tendo em vista a forma de exploração eminentemente extrativista (SALCEDO et al., 1999), somada às práticas de agricultura itinerante e à conversão da vegetação nativa em áreas de pastagem (SAMPAIO, 1995). Contudo, apesar de estar bastante alterada, especialmente nas terras mais baixas, contém uma grande variedade de tipos vegetacionais, com elevado número de espécies e também remanescentes de vegetação ainda bem preservada, que incluem um número expressivo de táxons raros e endêmicos (GIULIETTI et al., 2004; MAFRA, 2005).

A heterogeneidade da vegetação, no sentido fisionômico, florístico e morfofuncional, é resultante das diferentes condições ambientais, que respondem primariamente às unidades geomorfológicas e secundariamente às características do solo, às flutuações climáticas e à disponibilidade hídrica e de nutrientes, sobrepostas às atividades antrópicas (SAMPAIO, 1995; QUEIROZ, 2009; BISPO et al., 2010). Jacomine et al. (1973) relataram que são notadas as diferenças na densidade das plantas (densa, pouco densa e aberta), no porte (arbórea, arbóreo-arbustiva e arbustiva) e no grau de xerofitismo (hipoxerófila e hiperxerófila) que estão relacionados com as condições climáticas. Toda esta heterogeneidade faz da vegetação do semi-árido nordestino uma das mais complexas e difíceis de classificar dentre os grandes domínios morfoclimáticos brasileiros (AB'SABER, 1974).

Do ponto de vista de estoques de biomassa, a vegetação de caatinga possui aspectos ainda pouco conhecidos, sobretudo no que diz respeito à biomassa radicular, com poucos estudos existentes e limitados principalmente aos estoques de raízes finas e superficiais (SALCEDO; SAMPAIO, 2008). Quanto à parte aérea da vegetação, as biomassas são bastante variáveis no espaço e no tempo (SAMPAIO; COSTA, 2011) e a maior parte das estimativas foi feita a partir de dados da massa ou volume de lenha, convertidos por coeficientes médios (SILVA, 1998). O conhecimento dos estoques de biomassa e das condições ambientais que influenciam a produtividade da vegetação de caatinga pode subsidiar estratégias de conservação dos remanescentes de vegetação nativa.

2.2. A biomassa florestal no contexto do sequestro de carbono

Uma das questões de grande preocupação no âmbito global é o aumento do dióxido de carbono na atmosfera e o seu potencial em causar mudanças climáticas (FAO, 2001; IPCC, 2001). A maior parte deste aumento vem do uso dos combustíveis fósseis (HOUGHTON et al., 1983; BROWN; LUGO, 1992; DIXON et al., 1994; SCHLAMADINGER; MARLAND, 1996; HUSTON; MARLAND, 2003). Entretanto, os desmatamentos, as queimadas e as mudanças no uso e manejo da terra também têm fortes implicações no fluxo de CO₂ para a atmosfera, alterando os estoques de carbono no solo e na vegetação (DALE, 1997; FEARNSTIDE; BARBOSA, 1998; LAURENCE et al., 1999).

Dale (1997) argumentou que a liberação de carbono dos ecossistemas terrestres resultantes das mudanças no uso da terra é difícil de quantificar com precisão por causa das incertezas quanto às taxas de desmatamento e abandono da terra, às quantidades do carbono estocado na vegetação e nos solos em ecossistemas manejados e não-manejados e ao destino do carbono subsequente as mudanças no uso da terra.

As emissões dos gases de efeito estufa têm renovado o interesse por estratégias que potencializem o seqüestro de carbono. A biomassa da vegetação tem sido descrita como um indicador do potencial das florestas para o sequestro de carbono, atuando como sumidouro natural de carbono e como fonte de combustível em substituição aos combustíveis fósseis, podendo resultar em medidas de mitigação para as emissões de carbono (SCHLAMADINGER; MARLAND, 1996; KARTHA, 2001; IPCC, 2005), com implicações climáticas (HIGUCHI et al., 1998; RAHERISON; GROUZIS, 2005) e ecológicas (CAIRNS et al., 1997). Os sumidouros de carbono funcionam como sistemas que absorvem carbono da atmosfera e estocam nos tecidos vivos das plantas, e no material vegetal decomposto no solo. A biomassa como combustível é uma fonte crucial de energia não fóssil (KARTHA, 2001).

Existem três possíveis estratégias para o manejo do carbono nos ecossistemas florestais. O primeiro é o de aumentar a quantidade ou taxa de acumulação de carbono através da criação de sumidouros de carbono (sequestro de carbono). A segunda é prevenir ou desacelerar a taxa de liberação de carbono já fixada nos sumidouros existentes (conservação de carbono). A terceira estratégia é a redução da demanda por combustíveis fósseis, aumentando o uso de combustíveis renováveis (DIXON et al., 1994; FAO, 2001; PALUMBO et al., 2004). O estabelecimento e manejo das florestas para aumento da remoção e do estoque de carbono da atmosfera são reconhecidos como oportunidades para compensar as emissões de gases estufa de origem antrópica e reduzir o aquecimento global (WHITEHEAD, 2011).

A biomassa florestal também é um importante aspecto para a caracterização estrutural dos ecossistemas, expressando o potencial de acúmulo e ciclagem de nutrientes (CAIRNS et al., 1997, HIGUCHI et al., 1998) pela biota, em interação com os fatores ambientais. Por isso, a biomassa é um parâmetro relevante para análise e monitoramento desses ecossistemas, sobretudo quanto às mudanças nos estoques de

carbono pelas conversões de uma floresta para áreas abertas e vice-versa (BURGER, 2005; HOUGHTON, 2005; KAUFFMAN et al., 2009).

O papel das florestas como sumidouros tem recebido uma atenção significativa desde a adoção do Protocolo de Quioto (*United Nations Framework Convention on Climate Change*). Este é o primeiro passo no sentido das nações limitarem as emissões de dióxido de carbono e outros gases que causam o efeito estufa. O texto do Protocolo foi aprovado na terceira Conferência da Partes (COP3), em Quioto, em 1997. O protocolo reconhece o comércio de carbono, estabelece propostas para redução da emissão de gases de efeito estufa e fornece incentivos específicos para maximizar o reflorestamento (HUSTON; MARLAND, 2003; GRACE, 2004). Os países podem incentivar o uso da vegetação no sequestro de CO₂ da atmosfera e usar o carbono sequestrado para compensar emissões de gases de efeito estufa de outras fontes. Desse modo, uma região pode cumprir uma redução da emissão de CO₂ e usar as reduções como créditos em seu favor (Art. 6 do protocolo), ou pode simplesmente comercializar com outra região (MARLAND et al., 2001; UNFCCC, 2008). Os créditos de carbono são concedidos a entidades que vão desde empresas a países, e permitem que os níveis de emissão sejam negociados em acordos internacionais, em troca de um sumidouro proporcional estabelecido na paisagem (SILVER et al., 2000a), funcionando como uma compensação nas emissões de gases de efeito estufa (HUSTON; MARLAND, 2003), o que poderia refletir beneficentemente sobretudo na conservação da biodiversidade dos países envolvidos e proteger outros bens e serviços ecossistêmicos (KIRSCHBAUM et al., 2001).

2.3. Implicações do carbono nos ecossistemas florestais

O ciclo de carbono tem recebido particular atenção, considerando que aproximadamente 60% do aquecimento global são atribuídos ao aumento da concentração de carbono de cerca de 280 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ no período pré-industrial para 360 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ no período atual (GRACE, 2004). Os ecossistemas terrestres têm um papel significativo nesse ciclo, em especial os ecossistemas florestais, que respondem por cerca de 80% das trocas de carbono com a atmosfera (FAO, 2001).

No balanço geral de C, grandes quantidades de C-CO₂ são fixadas pela fotossíntese e estocadas na forma de biomassa viva das plantas (produção primária), incluindo ramos, folhas e raízes, e na matéria morta, incluindo a serapilheira e o material orgânico no solo (HOUGHTON et al., 1983; KARTHA, 2001; IPCC, 2001). Através da respiração, decomposição e/ou combustão do material orgânico, boa parte do C-CO₂ fixado retorna à atmosfera (REICH, 2010). O fluxo entre a respiração, a produção primária e as trocas físicas entre a atmosfera constituem-se nos mais importantes do ponto de vista de equilíbrio do CO₂, juntamente com a decomposição de matéria orgânica, fornecendo a capacidade dos ecossistemas terrestres para compensar parcialmente as emissões de CO₂ provocadas pelo homem (IPCC, 2001; BEER et al., 2010).

Apesar das florestas estarem continuamente reciclando carbono, o período de sequestro de carbono na vegetação e no solo pode variar de anos a séculos, dependendo da composição das espécies, das condições da área, dos distúrbios e práticas de manejo e da conservação do carbono florestal (DIXON et al., 1994). Qualquer atividade que afete a quantidade de biomassa na vegetação e no solo tem potencial para sequestrar ou liberar carbono para a atmosfera, influenciando a evolução temporal de CO₂ atmosférico (FAO, 2001; IPCC, 2001). Desse modo, a reciprocidade, das florestas, em atuar como estoques e como fontes de emissão de CO₂ quando perturbadas, reforçam a importância desses ecossistemas na ciclagem global do carbono (FAO, 2001).

Atualmente, a mudança mais importante nos estoques terrestres de carbono é causada pelo desmatamento das florestas tropicais e, embora menos óbvia, mas bem documentada, a redução do carbono no solo (DALE, 1997; DON et al., 2011). Estas perdas geralmente rápidas são seguidas por acumulações de carbono mais lentas, com o crescimento da vegetação e reconstrução do solo após o abandono da terra (HOUGHTON et al., 1983). Nos trópicos, as florestas úmidas são caracterizadas por uma alta produtividade primária, retendo um considerável estoque de carbono (REZENDE et al., 2001). As florestas secas, embora tenham menor quantidade de biomassa que as florestas úmidas, também são depósitos significativos de carbono terrestre (JARAMILLO et al., 2003b; GLENDAY, 2008), com grandes proporções desses estoques contidas no sistema radicular (MURPHY; LUGO, 1986).

2.4. Estimativas de biomassa florestal associadas ao uso de relações alométricas

A estimativa da biomassa florestal pode ser feita por métodos diretos e indiretos (HIGUCHI et al., 1998). Os primeiros consistem na derrubada da árvore, separação dos seus componentes e pesagem ainda em campo, sendo certamente os meios mais precisos, mas são os mais difíceis de serem executados, principalmente no que diz respeito a comunidades de florestas tropicais, dependendo maior tempo de execução e, por isso, amostrando geralmente um número limitado de árvores (KETTERINGS et al., 2001; CHAVE et al., 2005). Além disso, são cada vez menos disponíveis áreas para o processo destrutivo, cuja homogeneidade, extensão e representatividade satisfaçam as exigências metodológicas e estatísticas (REZENDE et al., 2001), dado que é impossível estimar a biomassa aérea de cada árvore de maneira destrutiva (HIGUCHI et al., 1998). Os métodos indiretos baseiam-se em análise dimensional, procurando estabelecer relações entre dados dendrométricos facilmente coletados em campo e a biomassa. Essas relações são conseguidas através da utilização de modelos matemáticos (REZENDE et al., 2001). Para o estabelecimento dessas relações alométricas, uma das formas é o uso de amostras destrutivas, compostas das espécies mais representativas na comunidade, de diferentes classes de diâmetro, a fim de ajustar as equações (REZENDE et al., 2001; VEGA et al., 2004; HOUGHTON et al., 2009; RYAN et al., 2011).

Segundo Ketterings et al. (2001), um protocolo para avaliar a biomassa florestal baseado no uso das relações alométricas envolve quatro etapas: 1) a escolha de uma função adequada para as equações alométricas; 2) a escolha de valores adequados para ajustar as equações; 3) a inclusão de variáveis medidas em campo, como o diâmetro ao nível do peito; e 4) o uso de equações para obtenção da biomassa aérea de árvores individuais e a biomassa total da área estimada. No que diz respeito a florestas tropicais, incertezas envolvendo o tamanho da amostra disponível para construir os modelos, a escolha das equações adequadas, assim como a falta de um padrão para a conversão das medidas das árvores em estimativas de biomassa, refletem-se em incertezas nas estimativas de estoque e consequentes emissões de carbono (CHAVE et al., 2004; CHAVE et al., 2005; HOUGHTON, 2005).

Os modelos alométricos podem especificar relações para espécies específicas, ou serem mais gerais na natureza (BROWN, 2002). Os primeiros são assumidos como preferíveis, tendo em vista que as espécies diferem em arquitetura e densidade da

madeira (KETTERINGS et al., 2001). Contudo, em florestas com alta diversidade de espécies, sobretudo florestas tropicais, as equações específicas são virtualmente indisponíveis (BROWN, 2002; VAN BREUGEL et al., 2011) e tem sido sugerido o uso de equações mais gerais, incorporando grupos de espécies ou zonas climáticas (BROWN, 2002; CHAVE et al., 2005).

Silveira et al. (2008) relataram que a maioria das estimativas de biomassa viva acima do solo está baseada em avaliações da estrutura da floresta, com medidas de diâmetro, altura, área da copa e densidade da madeira. Há modelos alométricos aplicados para grupos de espécies ou espécies individuais, em florestas secas (VARGAS et al., 2008; RYAN et al., 2011), em floresta temperadas (XIAO et al., 2003; MENDOZA-PONCE; GALICIA 2010) e em florestas tropicais úmidas (LAURENCE et al., 1999; KENZO et al., 2009). Sampaio e Silva (2005), Silva e Sampaio (2008) e Sampaio et al. (2010) publicaram equações gerais, para espécies com ampla distribuição na caatinga, assim como equações individuais para estimativas da biomassa aérea total e para partes aéreas das plantas. Em todos esses estudos, o diâmetro do caule a 1,30 do solo, também denominado diâmetro a altura do peito (DAP) mostrou-se uma boa variável preditora para estimar a biomassa nos modelos alométricos. Uma das vantagens do DAP é a facilidade de medida em campo, de modo que, para propósitos práticos, muitos modelos alométricos têm relacionado à biomassa aérea a essa variável (BROWN, 2002; NÁVAR, 2009).

Para modelos aplicados a várias espécies, a densidade da madeira também pode melhorar as estimativas de biomassa aérea (CHAVE et al., 2005). Ao utilizar esta variável é importante considerar sua relação com os padrões filogenéticos das espécies, assim como o estágio sucessional da vegetação e a composição florística, de modo a evitar erros nas estimativas (BAKER et al., 2004; CHAVE et al., 2005; SARMIENTO et al., 2005).

2.5. Influências dos gradientes ambientais na alocação da biomassa aérea e radicular

Uma das formas de abordagem no entendimento dos padrões de alocação da biomassa radicular, seja por espécies isoladas ou mais comumente por comunidade, tem sido explorar a relação entre biomassa de raízes e da parte aérea, através da razão raiz: parte aérea, que pode ser aplicada em escala local, de paisagem, regional ou de bioma

(MARTÍNEZ-YRIZAR, 1995; CAIRNS et al., 1997; JOSLIN et al., 2000; JARAMILLO et al., 2003b; RAHERISON; GROUZIS, 2005; MOKANY et al., 2006; MURPHY et al., 2009). A distinção entre esses dois componentes é geralmente feita ao nível de superfície do solo: abaixo da superfície a biomassa é de raízes e acima da superfície é de parte aérea (MOKANY et al., 2006).

As razões entre esses dois componentes (raiz: parte aérea) são especificadas em estudos com diferentes metodologias e interpretações, em função de idade da vegetação, do tipo de solo, das características inerentes das espécies quanto às estratégias de regeneração e competição por luz, da estrutura e composição florestal, da disponibilidade de água e nutrientes e do histórico de uso das áreas (MARTÍNEZ-YRÍZAR, 1995; JACKSON et al., 1996; CAIRNS et al., 1997; SALCEDO et al., 1999; MOKANY et al., 2006; VARGAS et al., 2008). A temperatura do solo influencia e interage com outros recursos essenciais, como a disponibilidade de água e nutrientes (PREGITZER et al., 2000). Embora essas razões representem apenas indicadores brutos, diante da complexidade dos processos fisiológicos, afetando à alocação de carbono nos ecossistemas terrestres, são de alto valor por fornecer estimativas de biomassa, em função dos diversos fatores bióticos, abióticos e da influência das práticas de manejo do solo (MOKANY et al., 2006).

Devido à dificuldade de medir a biomassa radicular, têm sido aceitas estimativas baseadas nas razões entre raiz: parte aérea, determinadas previamente em alguns locais (MOKANY et al., 2006). O uso de equações alométricas para estimativas diretas das raízes a partir da biomassa aérea também é defendido (CAIRNS et al., 1997; KENZO et al., 2010). Nos estudos com determinação direta da biomassa de raízes, a profundidade de coleta é bastante variável, indo de apenas 15 cm (AMALGRO et al., 2010) ou 30 cm (MENDOZA-PONCE; GALICIA, 2010) até 150 cm (RAHERISON; GROUZIS, 2005). O tipo de raízes coletadas também tem variado, podendo a coleta ser apenas de raízes finas (VARGAS et al., 2008; FINÉR et al., 2011), de raízes finas e grossas (CASTELLANOS et al., 1991; JARAMILLO et al., 2003a, 2003b), ou estoques sem distinção do tipo de raízes (PANDE, 2005; RAHERISON; GROUZIS, 2005). Esta variação de critérios torna difícil a comparação de dados, principalmente no caso das raízes grossas, devido à heterogeneidade espacial desses estoques (MARTÍNEZ-YRÍZAR, 1995; SARMIENTO et al., 2005). Na caatinga, medidas de biomassa de

raízes são raras, com a maioria das determinações restrita apenas às camadas superficiais e às raízes finas (SALCEDO; SAMPAIO, 2008).

Segundo Mokany et al. (2006), algumas das mais óbvias armadilhas metodológicas associadas com a amostragem da distribuição da biomassa radicular incluem: profundidade do solo insuficiente para amostrar a maioria das raízes e amostragens com replicações inadequadas para permitir uma estimativa confiável dessa biomassa. Para Finér et al. (2011), também é importante a inclusão de raízes do sub-bosque nas estimativas dos reservatórios de carbono nos ecossistemas florestais, considerando que muitos trabalhos sobre estoque de biomassa enfocam apenas o componente arbóreo (BROWN; LUGO, 1992). Negligenciar esse componente, assim como outras fontes secundárias de biomassa, também pode conduzir a uma subestimação no estoque de biomassa total (PEICHL; ARAIN, 2006).

Em diferentes tipos de florestas são relatados distintos padrões de biomassa de raízes e parte aérea, em função principalmente da disponibilidade de recursos. Onde a água é limitante, as plantas podem alocar relativamente mais recursos para produção de um sistema radicular mais profundo e extenso, de modo a aumentar a superfície de absorção (COOMES; GRUBB, 2000; KOZLOWSKI; PALLARDY, 2002; METCALFE et al., 2008; LIMA et al., 2010) e menos recursos para produção de partes aéreas, como folhas e galhos (COOMES; GRUBB, 2000). Tal estratégia é claramente conhecida para vegetação xerofítica (RAHERISON; GROUZIS, 2005). Ainda segundo Coomes e Grubb (2000), esse padrão é similar quanto à baixa disponibilidade de nutrientes no solo, tanto em regiões tropicais, quanto em regiões temperadas, com maior biomassa relativa de raízes em solos menos férteis.

A biomassa radicular varia em função da profundidade do solo, com a maioria das raízes concentradas nas camadas mais superficiais (RAHERISON; GROUZIS, 2005; MURPHY et al., 2009). Esta maior concentração tem sido associada à maior disponibilidade de nutrientes, provenientes da decomposição da serapilheira na superfície de solo (COOMES; GRUBB, 2000; SAYER et al., 2006).

Os reservatórios de biomassa e carbono nos componentes de uma floresta também variam em função do estágio sucessional da vegetação (VARGAS et al., 2008; EATON; LAWRENCE, 2009; KENZO et al., 2010). Florestas em recuperação

acumulam carbono e podem servir como sumidouros de CO₂ (SILVER et al., 2000a; KAUFFMAN et al., 2009). Peichl e Arain (2006) relataram que, nas primeiras décadas do processo de sucessão, há uma maior alocação de recursos para raízes e, nos estágios mais maduros da vegetação há aumento considerável da biomassa aérea.

2.6. Biomassas em florestas tropicais

A quantidade de biomassa por área varia espacial e temporalmente, podendo ser menos de 5 Mg ha⁻¹ em pastagens, plantações e desertos e mais de 300 Mg ha⁻¹ em florestas tropicais e florestas no Noroeste da América do Norte (HOUGHTON et al., 2009). Em florestas tropicais úmidas em diferentes estádios de regeneração, medidas dos estoques de biomassa aérea mostram variação de 4,8 a 491,6 Mg ha⁻¹ (HUGHES et al., 1999; LAURENCE et al., 1999; CLARK; CLARK, 2000; CASTILHO et al., 2006), enquanto as medidas dos estoques de biomassa radicular têm variado de 12 a 72 Mg ha⁻¹ (VANCE; NASKARNI, 1992; JARAMILLO et al., 2003a; SARMIENTO et al., 2005).

Em sua revisão de literatura sobre biomassa em florestas tropicais secas ao redor do mundo, Martínez-Yrizar (1995) encontrou biomassas aéreas variando de 28 a 268 Mg ha⁻¹, e apenas nove estudos de biomassa radicular, que variaram entre 7,6 e 45 Mg ha⁻¹. Jaramillo et al. (2011) atualizaram a revisão de Martínez-Yrizar (1995) com estimativas de biomassas aéreas em florestas decíduas entre 35 e 140 Mg ha⁻¹, em florestas semi-perenes entre 125 e 225 Mg ha⁻¹ e em florestas semi-decíduas em áreas sob influência ripária com os maiores estoques de biomassa, entre 247 e 390 Mg ha⁻¹. O estudo também listou nove estimativas de biomassa radicular, no entanto entre 16 e 66,8 Mg ha⁻¹.

As estimativas de biomassas nas florestas tropicais secas em diferentes estádios de regeneração, listadas na Tabela 1, e nos estudos anteriormente citados em florestas tropicais, apresentam importantes preditores ambientais e antrópicos, explicando as variações nos estoques aéreos e radiculares nessas vegetações. As mudanças no uso e manejo da terra, como a conversão de áreas nativas em pastos e a duração do uso da terra, antes do abandono, influenciam na diminuição nos estoques de biomassa aérea e radicular (HUGHES et al., 1999; JARAMILLO et al., 2003b). Entretanto, esses são particularmente importantes para o componente aéreo considerando sua maior

vulnerabilidade às práticas de corte, queimadas e perturbações naturais (HOUGHTON et al., 2009).

Tabela 1. Estimativas de biomassas (Mg ha^{-1}) em florestas tropicais secas ao redor do mundo. BA- biomassa aérea, BR- Biomassa radicular, BR/BS- razão raiz: parte aérea.

Local	BA	BR	BR/BS	Referências
Sinaloa, México	73	-	-	Návar, 2009
Chamela, México	74	31	0,42	Castellanos et al., 1991
Chamela, México	60-80	16-18	0,19-0,21	Jaramillo et al., 2003b
Yucatán, México	0,1-144	2-8	-	Vargas et al., 2008
Yucatán, México	10-163	-	-	Read; Lawrence, 2003
Madhya Pradesh, Índia	28-85	9-16	0,18-0,32	Pande, 2005
Índia Peninsular	40-170	-	-	Mani; Parthasarathy, 2007
Analabo, Madagascar	118	17,8	0,15	Raherison; Grouzis, 2005
Serra Talhada, Brasil	74	-	-	Kauffman et al., 1993
Seridó, Brasil	25	-	-	Amorim et al., 2005
Seridó, Brasil	>20	-	-	Accyoli et al., 2008
Seridó, Brasil	<5	-	-	"
Zona seca, África Tropical	60	-	-	Brown; Gaston, 1995
Zona seca, África Tropical	20	-	-	"
Vários	39-334	-	-	Becknell et al., 2012
Vários	-	-	27-56	Mokanny et al., 2006

O avanço na idade da vegetação, em geral, está correlacionado com aumentos nos estoques totais dos componentes aéreo (HUGHES et al., 1999) e radicular (KENZO

et al., 2010). No entanto, os estoques de raízes apresentam diferentes respostas quanto ao estágio sucessional da vegetação, com aumento de raízes finas principalmente nos estádios mais iniciais (VARGAS et al., 2008). A maior contribuição de raízes finas em vegetações jovens também foi relatada por Pande (2005) e explicada como uma estratégia de otimização de recursos. No entanto, as raízes grossas são mais inadequadamente amostradas, considerando que possuem uma distribuição mais variável no solo (VANCE; NADKARNI, 1992; SILVER et al., 2000b).

No que diz respeito à biomassa radicular, questões metodológicas são grandes fontes de limitações nas comparações das estimativas de diferentes trabalhos (SARMIENTO et al., 2005; VARGAS et al., 2008). Isso é reflexo da variabilidade na profundidade de amostragem dessas raízes, com a maioria dos trabalhos medindo raízes a menos de 1m de profundidade. Jackson et al. (1996) relataram a presença de raízes mais profundas, particularmente em desertos, florestas de coníferas temperadas e savanas tropicais. É provável que as raízes profundas sejam importantes para as dinâmicas de carbono e água em um número de ecossistemas que experimentam períodos de seca.

Clark e Clark (2000) relacionaram a variabilidade em suas estimativas de biomassa aérea ao tipo de equação alométrica utilizada. O uso de uma mesma equação para derivar as biomassas em florestas com diferentes precipitações, mesmo dentro de uma mesma zona de vida, pode gerar erros. Além disso, a forma de distribuição das parcelas para representar a variabilidade da paisagem e a quantidade de repetições das amostras também podem gerar incertezas nas estimativas de biomassa.

A biomassa aérea foi estimada em alguns locais na caatinga, variando de $<5\text{Mg ha}^{-1}$ a 74 Mg ha^{-1} (KAUFFMAN et al., 1993; AMORIM et al., 2005; ACCYOLI et al., 2008), sendo os menores valores relatados em áreas com severos problemas de degradação (ACCYOLI et al., 2008). Alves (2011) estimou para áreas de caatinga em regeneração e de caatinga preservada $13,2\text{ t ha}^{-1}$ e $29,6\text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. No entanto, baixas biomassas aéreas na caatinga podem também estar relacionadas a características inerentes da vegetação, onde ela é naturalmente aberta e de porte baixo, independente da ação antrópica (AMORIM et al., 2005).

A fertilidade e a textura do solo e a topografia explicaram quase um terço da variação da biomassa aérea (189,9-422,8 Mg ha⁻¹) em estudo feito por Castilho et al. (2006). Estas variáveis também foram relacionadas por Laurence et al. (1999) como influenciando no aumento do estoque de biomassa em um mesmo tipo de floresta úmida (231-492 t ha⁻¹). Raheison e Grouzis (2005) também atribuíram às características do solo em uma floresta tropical seca, as variações nos estoques de biomassas em relação a outras florestas com características similares. Maior biomassa aérea florestal é esperada em solos férteis, simplesmente por que há mais recursos disponíveis para o crescimento das plantas (CASTILHO et al., 2006).

Estimativas totais de biomassas aérea e radicular em florestas tropicais, em distintos estádios de regeneração, ainda são poucas, considerando a alta riqueza de espécies em algumas florestas, as dificuldades metodológicas, e as drásticas mudanças na biomassa induzidas por aberturas e sucessão após perturbações naturais ou por fatores antrópicos (JARAMILLO et al., 2003a; SARMIENTO et al., 2005).

3. REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo, v.43, p.1-37, 1974.

ABDALA, G.C. et al. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v.2, n.1, p.11-23, 1998.

ACCIOLY, L.J.O. et al. Biomassa nas florestas de caatinga nas microrregiões do Seridó Oriental (RN) e Seridó Ocidental (PB). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro.

ALMAGRO, M. et al. Belowground carbon allocation patterns in a dry Mediterranean ecosystem: A comparison of two models. **Soil Biology & Biochemistry**, v.42, n.9, p. 1549-1557, 2010.

ALVES, A.R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de caatinga no município de Floresta, Pernambuco**. 2011. 116f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

AMORIM, I.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.3, p.615-623, 2008.

ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v.4, n.2, p.149-153, 1981.

BAKER, T.R. et al. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, v.10, n.5, p.545-562, 2004.

BECKNELL, M.J.; KUCEK, L.K.; POWERS, J. S. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. **Forest Ecology and Management**, v.276, p.88-95, 2012.

BEER, C. et al. Terrestrial gross carbon dioxide uptake: Global distribution and covariation with climate. **Science**, v.329, n.5993, p.834-838, 2010.

BISPO, P.C.; VALERIANO, M.M.; KUPLICH, T.M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.523-530, 2010.

BROWN, S.; LUGO, A.E. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. **Interciência**, v.17, n.1, p.8-18, 1992.

BROWN, S.; GASTON, G. Use of forest inventories and geographic information to estimate biomass density of tropical forests: application to tropical Africa. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.38, n.2-3, p.157-168, 1995.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Rome: FAO, Forestry Paper 134, 1997. 55p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>. Acesso em: 06 Mar. 2012.

_____. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v.116, n.3, p.363-372, 2002.

BURGER, D.M. **Modelos alométricos para estimativas da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP**. 2005. 121f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CAIRNS, M.A. et al. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v.111, n.1, p.1-11, 1997.

CASTELLANOS, J.; MAASS, M.; KUMMEROW, J. Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. **Plant and Soil**, v.131, n.2, p.225-228, 1991.

CASTILHO, C.V. et al. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian forest: Effects of soil and topography. **Forest Ecology and Management**, v.234, n.1-3, p.85-96, 2006.

CASTRO, E.A.; KAUFFMAN, J.B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, n.3, p.263-283, 1998.

CHAVE, J. et al. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v.359, n.1443, p.409-420, 2004.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v.145, n.1, p.87-99, 2005.

CLARK, D.B.; CLARK, D.A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, v.137, n.1-3, p.185-198, 2000.

COOMES, D.A.; GRUBB, P.J. Impacts of root competition in forests and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. **Ecological Monographs**, v.70, n.2, p.171-207, 2000.

DALE, V.H. The relationship between land-use change and climate change. **Ecological Applications**, v.7, n.3, p.753-769, 1997.

DJOMO, A.N.; KNOHL, A.; GRAVENHORST, G. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v.261, n.8, p.1448-1459, 2011.

DIXON, R.K. et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, v.263, n.5144, p.185-190, 1994.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.17, n.4, p.1658-1670, 2011.

EATON, J.M.; LAWRENCE, D.; Loss of carbon sequestration potential after several decades of shifting cultivation in the Southern Yucatán. **Forest Ecology and Management**, v.258, n.6, p.949-958, 2009.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Parte II key issues in the forest sector today**. In: State of the world's forests. 2001. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/sofo/en>> Acesso em: 23 Mar. 2012.

_____. **Global forest resources assessment**. Forestry Paper-140, 2000. Disponível em: <www.fao.org/forestry/fra2000report>. Acesso em: 23 Mar. 2012.

FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.108, n.1-2, p.147-166, 1998.

FINÉR, L. et al. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v.261, n.2, p.265-277, 2011.

FONSECA, W.; BENAYAS, J.M.R.; ALICE, F.E. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v.262, n.8, p.1400-1408, 2011.

GIULIETTI, A.M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma caatinga. In: SILVA, J.M.C. et al. (Orgs.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p.48-90.

GLENDAY, J. Carbon storage and emissions offset potential in an African dry forest, the Arabuko-Sokoke Forest, Kenya. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 142, n.1-3, p.85-95, 2008.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, v.92, n.2, p.189-202, 2004.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v.28, n.2, p.153-166, 1998.

HOUGHTON, R.A. et al. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. **Ecological Monographs**, v.53, n.3, p.253-262, 1983.

HOUGHTON, R.A.; HALL, F.; GOETZ, S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of Geophysical Research**, v.114, G00E03, doi:10.1029/2009JG000935, 2009.

HOUGHTON, R.A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**, v.11, n.6, p.945-958, 2005.

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

HUSTON, M.A.; MARLAND, G. Carbon management and biodiversity. **Journal of Environmental Management**, v.67, n.1, p.77-86, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação**. Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169>. Acesso em: 20 Nov. 2012.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special report: Summary for Policymakers land use, land-use change, and forestry**. 2000. Disponível em: <www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-en.pdf>. Acesso em: 04 Ago. 2011.

_____. **The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide**. In: Climate change 2001: The scientific basis. 2001. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml>. Acesso em: 4 Ago. 2011.

_____. **Sources of CO₂**. In: Special reports Carbon Dioxide Capture and Storage. 2005. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml>. Acesso em: 4 Ago. 2011.

JACKSON, R.B. et al. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**, v.108, n.3, p.389-411, 1996.

JACOMINE, P.T. et al. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: Ministério da Agricultura/SUDENE, 1973, v.1. 359p. (Boletim técnico 26; Série Pedológica, 14).

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, n.4, p.457-464, 2003a.

JARAMILLO, V.J. et al. Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. **Ecosystems**, v.6, n.7, p.609-629, 2003b.

JARAMILLO, V.J.; MARTÍNEZ-YRÍZAR, A.; SANFORD-JR, R.L. Primary productivity and biogeochemistry of seasonally dry tropical forests. In: DIRZO, R. et al. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation**. Island Press, 2011. p.109-128.

JOSLIN, J.D.; WOLFE, M.H.; HANSON, P.J. Effects of altered water regimes on forest root systems. **New Phytologist**, v.147, n.1, p.117-129, 2000.

KARTHA, S. Biomass sinks and biomass energy: key issues in using biomass to protect the global climate. **Energy for Sustainable Development**, v.5, n.1, p.10-14, 2001.

KAUFFMAN, J.B. et al. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v.74, n.1, p.140-151, 1993.

KAUFFMAN, J.B.; HUGHES, R.F.; HEIDER, C. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. **Ecological Applications**, v.19, n.5, p.1211-1222, 2009.

KENZO, T. et al. Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. **Journal of Tropical Ecology**, v.25, n.4, p. 371-386, 2009.

KENZO, T. et al. Changes in above and belowground biomass in early successional tropical secondary forests after shifting cultivation in Sarawak, Malaysia. **Forest Ecology and Management**, v.260, n.5, p.875-882, 2010.

KETTERINGS, Q.M. et al. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**, v.146, n.1-3, p.199-209, 2001.

KIRSCHBAUM, M.U.F. et al. A generalised approach of accounting for biospheric carbon stock changes under the Kyoto Protocol. **Environmental Science & Policy**, v. 4, n.2-3, p.73-85, 2001.

KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. **The Botanical Review**, v.68, n.2, p.270-334, 2002.

LAURENCE, W.F. et al. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v.118, n.1-3, p.127-138, 1999.

LEITE, F.R.B; SOARES, A.M.L; MARTINS, M.L.R. Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará - 2ª aproximação. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DESERTIFICAÇÃO – CPATSA., 1994, Fortaleza.

LIMA, T.T.S.; MIRANDA, I.S.; VASCONCELOS, S.S. Effects of water and nutrient availability on fine root growth in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. **New Phytologist**, v.187, n.3, p.622-630, 2010.

MAFRA, R.C. Formação de fitomassa no domínio das caatingas: bases teóricas para a implantação de agroecossistemas vegetal e/ou animal. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v.2, p.73-89, 2005.

MANI, S.; PARTHASARATHY, N. Above-ground biomass estimation in ten tropical dry evergreen forest sites of peninsular India. **Biomass and Bioenergy**, v.31, n.5, p.284-290, 2007.

MARLAND, G.; FRUIT, K.; SEDJO, R. Accounting for sequestered carbon: the question of permanence. **Environmental Science & Policy**, v.4, n.6, p.259-268, 2001.

MARTÍNEZ-YRIZAR, A. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forest. In: STEPHEN, H.B.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests**. Ed. Cambridge University, 1995. p.326-345.

MENDOZA-PONCE, A.; GALICIA, L. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. **Forestry**, v.83, n.5, p.497-506, 2010.

METCALFE, D.B. et al. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant Soil**, v.311, n.1-2, p.189-199, 2008.

MILES, L. et al. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v.33, n.3, p.491-505, 2006.

MOKANY, K.; RAISON, R.J.; PROKUSHKIN, A.S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v.12, n.1, p.84-96, 2006.

MURPHY, M.T.; LUGO, A.E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, p.67-88, 1986.

MURPHY, M.T.; MCKINLEY, A.; MOORE, T.R. Variation in above and below-ground vascular plant biomass and water table on a temperate ombrotrophic peatland. **Botany**, v.87, n.9, p.845-853, 2009.

NÁVAR, J. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. **Forest Ecology and Management**, v.257, n.2, p.427-434, 2009.

PANDE, P.K. Biomass and productivity in some disturbed tropical dry deciduous teak forests of Satpura plateau, Madhya Pradesh. **Tropical Ecology**, v.46, n.2, p.229-239, 2005.

PALUMBO, A.V. et al. Prospects for enhancing carbon sequestration and reclamation of degraded lands with fossil-fuel combustion by-products. **Advances in Environmental Research**, v.8, n.3-4, p.425-438, 2004.

PEICHL, M.; ARAIN, M.A. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.140, n.1-4, p.51-63, 2006.

PREGITZER, K.S. et al. Responses of tree fine roots to temperature. **New Phytologist**, v.147, n.1, p.105-115, 2000.

QUEIROZ, L.P. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana. 2009. 467p.

RAHERISON, S.M.; GROUZIS D M. Plant biomass, nutrient concentration and nutrient storage in a tropical dry forest in the south-west of Madagascar. **Plant Ecology**, v.180, n.1, p.33-45, 2005.

READ, L.; LAWRENCE, D. Recovery of biomass following shifting cultivation in dry tropical forests of the Yucatan. **Ecological Applications**, v.13, n.1, p.85-97. 2003.

REICH, P.B. The carbon dioxide exchange. **Science**, v.329, n.5993, p.774-775, 2010.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Sequestro de carbono: uma experiência concreta**. 2ed. Palmas: Instituto Ecológico, 2001. 178p.

REZENDE, A.V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n.71, p.65-76, 2006.

RIEGELHAUPT, E.M.; PAREYN, F.G.C.; GARIGLIO, M.A. O manejo florestal como ferramenta para o uso sustentável e conservação da caatinga. In: GARIGLIO, M.A. et

al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. p.349-367.

RYAN, C.M.; WILLIAMS, M.; GRACE, J. Above- and belowground carbon stocks in a Miombo woodland landscape of Mozambique. **Biotropica**, v.43, n.4, p.423-432, 2011.

SAATCHI, S.S. et al. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, v.13, n.4, p.816-837, 2007.

SÁ, I.B. Degradação ambiental e reabilitação natural no trópico semi-árido brasileiro. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DESERTIFICAÇÃO – CPATSA., 1994, Fortaleza.

SALCEDO, I. et al. Produção de raízes finas sob vegetação de caatinga. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS., 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA, 1999. p.139-153.

SALCEDO, I.; SAMPAIO, E.V.S.B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G.A. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Metrópole, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. p.419-441.

SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of the Brazilian caatinga. In: STEPHEN, H.B.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests**. Ed. Cambridge University, 1995. p. 35-63.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SILVA, G.C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.4, p.935-943, 2005.

SAMPAIO, E.V.S.B. Caracterização do bioma caatinga: características e potencialidades. In: GARIGLIO, M.A. et al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. p.29-48.

SAMPAIO, E.V.S.B. et al. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.259, n.6, p.1135-1140, 2010.

SAMPAIO, E.V.S.B.; COSTA, T.L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, n.6, p.1275-1291, 2011.

SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G.A; PORTILLO-QUINTERO, C. Extent and drivers of change of Neotropical seasonally dry tropical forests. In: DIRZO, R et al. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation**. Island Press, 2011. p.45-57.

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

SAYER, E.J.; TANNER, E.V.J.; CHEESMAN, A.W. Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. **Plant and Soil**, v.281, n.1-2, p.5-13, 2006.

SCHLAMADINGER, B.; MARLAND, G. The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. **Biomass and Bioenergy**, v.10, n.5-6, p.275-300, 1996.

SILVA, G.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Árvore**, v.32, n.3, p.567-575, 2008.

SILVA, G.C. **Relações alométricas de dez espécies vegetais e estimativas de biomassas aéreas da caatinga**. 1998. 163f. Tese (Doutorado em Botânica) – Curso de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v.38, n.1, p.185-206, 2008.

SILVER, W.L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A.E. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. **Restoration Ecology**, v.8, n.4, p.394-407, 2000a.

SILVER, W.L. et al. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, v.3, n.2, p.193-209, 2000b.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.38, n.3, p.139-151, 1992.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Kyoto protocol reference manual on accounting of emissions and assigned amount**. Bonn, Germany. 2008. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 28 Jul. 2011.

VAN BREUGEL, M. et al. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. **Forest Ecology and Management**, v.262, n.8, p.1648-1657, 2011.

VANCE, E.D.; NADKARNI, N.M. Root biomass distribution in a moist tropical montane forest. **Plant and Soil**, v.142, n.1, p.31-39, 1992.

VARGAS, R.; ALLEN, M.F.; ALLEN, E.B. Biomass and carbon accumulation in a fire chronosequence of a seasonally dry tropical forest. **Global Change Biology**, v.14, n.1, p.109-124, 2008.

VEGA, F.V.A. et al. Relações alométricas para estimativa da fitomassa aérea em pupunheira. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.1, p.104-108, 2004.

WHITEHEAD, D. Forests as carbon sinks - benefits and consequences. **Tree Physiology**, v.31, n.9, p.893-902, 2011.

XIAO, C. et al. Above- and belowground biomass and net primary production in a 73-year-old Scots pine forest. **Tree Physiology**, v.23, n.8, p.505-516, 2003.

MANUSCRITO

Tânia L. Costa, Everardo V. S. B. Sampaio, Margareth F. Sales, Rômulo S. C. Menezes,
Tiago D. Althoff e Frans G.C. Pareyn

BIOMASSAS RADICULARES E AÉREAS EM COMUNIDADES DE CAATINGA

A ser enviado ao periódico:



1 Biomassas radiculares e aéreas em comunidades de caatinga

2

3 Tânia L. Costa ^{1*}, Everardo V. S. B. Sampaio², Margareth F. Sales³, Rômulo S. C.

4 Menezes², Tiago D. Althoff², Frans G.C. Pareyn⁴

5

6 1-Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Biologia, Universidade

7 Federal Rural de Pernambuco, CEP: 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil; e-mail:

8 tanieluciacoosta@gmail.com, Fone: +55 81 2126 7979

9 2-Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, CEP:

10 50740-540, Recife, Pernambuco, Brasil; email: esampaio@ufpe.br/ rmenezes@ufpe.br/

11 tiagrodiniz@hotmail.com

12 3-Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, CEP: 52171-

13 900, Recife, Pernambuco, Brasil; e-mail: mfsales65@hotmail.com

14 4-Associação Plantas do Nordeste, CEP: 50731-280, Recife, Pernambuco, Brasil; email:

15 franspar@rocketmail.com

16

17 *Autor para correspondência

18

19 Resumo – As biomassas radiculares e aéreas e as razões raiz: parte aérea foram

20 estimadas em três estádios de regeneração (18, 40 e > 60 anos), no semi-árido na

21 Paraíba, e em fitofisionomias abertas e densas, em quatro classes de solos, no semi-

22 árido de Pernambuco. As biomassas aéreas (Kg) dos indivíduos com diâmetro do caule

23 a 1,3 cm do solo ($DAP \geq 3$ cm, foram estimadas aplicando-se a equação: $0,173$

24 $DAP_{(cm)}^{2,295}$. As raízes foram coletadas em trincheiras de $0,7 \times 0,7 \times 1$ m, em camadas de

25 solo de 20 cm de profundidade, secas e pesadas. Na Paraíba, as biomassas radiculares

26 foram significativamente maiores na vegetação >60 anos em regeneração (23 Mg ha⁻¹)
27 que nos estádios em regeneração há 40 (5 Mg ha⁻¹) e 18 anos (2 Mg ha⁻¹), assim como
28 as biomassas áreas (60, 28 e 22 Mg ha⁻¹, respectivamente). Nas áreas da Paraíba, a
29 maior parte (> 79%) da biomassa total de raízes estava na camada dos 20 cm
30 superficiais do solo. Em Pernambuco, as biomassas radiculares (13,1 Mg ha⁻¹) e aéreas
31 (47,2 Mg ha⁻¹) foram significativamente maiores nas fitofisionomias densas que nas
32 abertas (5,75 Mg ha⁻¹ e 16,5 Mg ha⁻¹, respectivamente). As razões raiz: parte aérea
33 variaram de 23 a 39%, com as maiores razões na vegetação >60 anos em regeneração
34 (38%) e no solo arenoso (N. quartzarênico) (39%), onde atingiram as maiores
35 profundidades. Portanto, os estoques de biomassas tendem a aumentar com o avanço do
36 estágio sucessional da vegetação e as raízes atingem maiores profundidades e maior
37 razão raiz: parte aérea no solo de textura mais arenosa.

38

39 Palavras-chave: semi-árido tropical, razão raiz: parte aérea, fitofisionomias

40

41 Abstract – The root and aboveground biomass and the root: shoot ratio were estimated
42 in three stages of native vegetation regeneration (18, 40 and > 60 years), in semiarid,
43 Paraíba state, and in open and dense vegetation physiognomies in four soil classes, in
44 semiarid of Pernambuco state. The aboveground biomass (kg) of plants with stem
45 diameter at 1.3 m above the soil level (DBH) ≥ 3 cm, was estimated using the equation:
46 $0.173 \text{ DBH}_{(\text{cm})}^{2.295}$. The roots were collected in $0.7 \times 0.7 \times 1\text{m}$ trenches, separated in 20
47 cm deep layers, dried and weighed. In Paraíba, the root biomass was significantly
48 higher in the vegetation > 60 years regeneration (23 Mg ha⁻¹) than in the younger
49 regeneration stages (5 Mg ha⁻¹ in the 40-year stage and 2 Mg ha⁻¹ in the 18-year stage).

50 The aboveground biomass was also higher in the > 60 years regeneration (60, 28 and 22
51 Mg ha⁻¹, respectively). In all regeneration stages, most of the root biomass (>79%) was
52 in the top 20 cm soil layer. In Pernambuco, the root (13.1 Mg ha⁻¹) and aboveground
53 (47.2 Mg ha⁻¹) biomass were significantly higher in the dense vegetation physiognomies
54 than in the open vegetation physiognomies (5.75 Mg ha⁻¹ and 16.5 Mg ha⁻¹,
55 respectively). The root:shoot ratio ranged from 23 to 39%, with the highest values in the
56 > 60 years regeneration (38%) and in the area with sandy soil (N. quartzarênico) (39%),
57 where the roots reached their greatest depth. Therefore, the biomass stocks tend to
58 increase with the advance of the successional stage and the roots reach greater depths
59 and larger root: shoot ratio in soil of sandy texture.

60

61 Key-words: semiarid tropical, ratio root:shoot, vegetation physiognomies

62

63 1. Introdução

64 Existe um crescente interesse nas estimativas das biomassas florestais em razão
65 de representar uma acentuada proporção dos estoques de carbono nos ecossistemas
66 terrestres e terem um importante papel na regulação dos ciclos globais de carbono e de
67 nutrientes [1–5]. Atualmente, o conhecimento dos padrões de alocação de biomassa nas
68 raízes é inferior ao da parte aérea [2,6–9]. Nas florestas tropicais, as estimativas dos
69 estoques de biomassa radicular mostram uma ampla variabilidade, em parte explicada
70 pelas diferentes profundidades de amostragem, quase sempre restritas aos 100 cm
71 superficiais [6,9–11]. Entretanto, incertezas nas estimativas de biomassas aéreas têm
72 sido sugeridas pelas diferentes equações alométricas utilizadas, mesmo dentro de uma
73 única zona climática [12,13]. Isso revela as dificuldades em escolher as variáveis e as

74 equações que podem ser usadas para estimar a biomassa, principalmente em vegetações
75 com alta riqueza de espécies e ampla variabilidade dentro e entre as comunidades
76 florestais [9].

77 As florestas tropicais secas têm sido menos estudadas que as úmidas e nelas o
78 número de estimativas das biomassas radiculares é pequeno [11,14–18]. Nas florestas
79 secas, a proporção da biomassa de raízes em relação à biomassa total tende a ser maior
80 que nas úmidas mas, em ambos os tipos, a variação é grande. Nas secas, as raízes
81 representam entre 8 e 50%, enquanto nas úmidas entre 5 e 33% da biomassa total. Os
82 poucos dados e sua grande variabilidade ainda limitam as comparações entre esses
83 ecossistemas [8]. Além disso, de maneira geral, o conhecimento da distribuição vertical
84 das raízes, dos padrões de alocação de biomassa e das interações com os fatores
85 ambientais ainda permanece inadequado [6].

86 Como as determinações de biomassas radiculares são mais trabalhosas que as de
87 biomassa aérea, é sugerido o uso da razão entre a biomassa radicular e a aérea para
88 estimar a biomassa de raízes [2,5,6,19]. Contudo, estas biomassas e suas relações
89 variam em função da disponibilidade de recursos [6], das características do solo [20–
90 23], do estágio sucessional da vegetação [11,24,25] e das formas de manejo e uso da
91 terra [26,27].

92 O Brasil tem uma das mais extensas áreas de floresta secas do mundo [28],
93 localmente chamada de caatinga [29], que ocupa o extremo inferior de disponibilidade
94 hídrica entre as florestas tropicais secas. O conhecimento das características e condições
95 ambientais que influenciam a produtividade e os serviços ecossistêmicos nestas
96 florestas pode permitir comparações com outras florestas secas, e subsidiar estratégias
97 de conservação, considerando o alto grau de exploração nessas florestas.

98 Considerando a importância da biomassa nas predições dos estoques de carbono
99 nos ecossistemas florestais e a escassez de informações acerca das estimativas de
100 biomassas, sobretudo as radiculares nas florestas tropicais secas, objetivou-se estimar as
101 biomassas radiculares e aéreas e as razões raiz: parte aérea em três estádios de
102 regeneração, e em diferentes fitofisionomias e classes de solos. Com isso, foram
103 levantadas as seguintes questões: (1) há distintos padrões de estoque de biomassas aérea
104 e radicular em função dos diferentes estádios de regeneração da vegetação? (2) há
105 distintos padrões de estoque de biomassa aérea e radicular nas fitofisionomias de
106 caatinga aberta e densa, sobre diferentes classes de solos? (3) Em solos mais profundos
107 há maior relação da biomassa raiz: parte aérea, que em solos mais rasos?

108

109 2. Material e métodos

110 O estudo foi conduzido em duas etapas. Na primeira, em 2010, as biomassas
111 aéreas e radiculares foram estimadas em áreas com diferentes estádios de regeneração
112 após uso agrícola, em Santa Terezinha, Paraíba. Na segunda, em 2012, as biomassas
113 aéreas e radiculares foram estimadas em diferentes locais do semi-árido em
114 Pernambuco, de forma a amostrar a fitofisionomia aberta e densa nas principais classes
115 de solos desta região.

116 2.1. Estádios de regeneração na Paraíba

117 O estudo foi conduzido na fazenda Tamanduá (06°59'13" e 07°00'14" latitude S
118 e 37°18'08" e 37°20'38" longitude W), no município de Santa Terezinha, Paraíba,
119 Brasil. A precipitação média anual é de cerca de 700 mm, com grande variação ano a
120 ano (238mm a 1775mm) e concentrados em três meses, geralmente março a maio. A

121 temperatura média anual é de 28°C, com pequenas flutuações diárias e sazonais. Os
122 solos são Neossolos litólicos, relativamente rasos, geralmente com menos de 40 cm de
123 profundidade, e de baixa fertilidade [30].

124 Foram escolhidas três áreas em cada um dos três estádios de regeneração da
125 vegetação: 1) áreas que tiveram as caatingas nativas desmatadas em 1965 e plantadas
126 com algodão perene, sendo o cultivo abandonado em 1992, tendo assim 18 anos em
127 regeneração da vegetação nativa em 2010. Elas estavam dominadas por *Mimosa*
128 *tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema preta), e foram denominadas como vegetação de 18
129 anos em regeneração; e 2) áreas também plantadas com algodão no mesmo ano que as
130 anteriores, mas abandonadas em 1970, tendo assim 40 anos em regeneração. Elas ainda
131 são dominadas por *M. tenuiflora*, mas em menor dominância que *Poincianella*
132 *pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz e foram designadas como vegetação de 40 anos em
133 regeneração; e 3) áreas com vegetação de caatinga sem corte raso e sem qualquer outra
134 perturbação grave, pelo menos desde 1950. Elas estavam dominadas por *Poincianella*
135 *pyramidalis*, *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillett e *Cnidoscolus phyllacanthus*
136 (Müll. Arg.) Pax & L. Hoffm. e foram designadas como vegetação >60 anos em
137 regeneração. Os locais com vegetações há 18 e 40 anos em regeneração foram usados
138 regularmente como pastagens nativas por algumas semanas a cada ano, enquanto a
139 vegetação >60 anos em regeneração foi raramente usada, exceto durante anos de seca.
140 Todos esses locais foram cercados em 2007 para impedir a entrada dos rebanhos.
141 Fertilizantes nunca foram aplicados em nenhuma das áreas. Todos os locais estão
142 aproximadamente na mesma altitude, mesmo tipo de solo e não estão mais que 3 km de
143 distância um dos outros.

144

145 2.2. Fitofisionomias e classes de solos em Pernambuco

146 O estudo abrangeu as microrregiões do Moxotó, do Pajeú, de Itaparica e do Vale
147 do Ipanema, em vegetação de caatinga, em Pernambuco, Brasil. A maior parte das áreas
148 encontra-se na chamada Depressão Sertaneja, e algumas áreas em bacias sedimentares
149 com predomínio do clima semi-árido quente, com temperaturas médias que variam de
150 24 a 26°C e precipitações baixas e irregulares, que variam de 300 a 800 mm por ano
151 [31].

152 As áreas de coletas foram baseadas no Zoneamento Agroecológico do Estado de
153 Pernambuco (ZAPE), considerando-se as manchas das quatro principais classes de
154 solos: Luvisolo, Neossolo litólico, Neossolo quartzarênico e o Planossolo e dois tipos
155 de cobertura vegetal (fitofisionomias de caatinga aberta e densa). Os N. litólicos são
156 solos rasos, os Luvisolos são pouco a medianamente profundos com textura argilosa,
157 os Planossolos são medianamente profundos com horizonte superficial de textura
158 arenosa e horizonte B de textura argilosa e os N. quartzarênicos são solos profundos e
159 arenosos [31,32]. A metodologia adotada para a definição dos polígonos das coberturas
160 de caatingas abertas e densas foi feita pela interpretação visual das imagens de satélite,
161 envolvendo os elementos de reconhecimento tom, cor e textura, com base em imagens
162 da época chuvosa e da época seca (Tabela 1) (EMBRAPA, Dados não publicados),
163 acompanhada por uma validação de campo. Para diferenciar as caatingas de outras
164 coberturas do solo, como cultivos e pastagens, foram considerados o tamanho
165 (comprimento, largura, perímetro e área), a forma e o padrão de cada polígono [33].

166 No reconhecimento das fitofisionomias abertas e densas foram utilizadas as
167 cenas do sensor ccd1xs do satélite CBERS 2B, para a imagem da época seca e o sensor
168 LIS3 do satélite IRS P6 ou Resourcesat-1, para a época chuvosa. Para o sensor ccd1xs

169 (CBERS 2B) foram assinaladas às bandas multiespectral 2 (520 – 590 nm), 3 (630 –
170 690 nm) e 4 (770 – 890 nm). Para o sensor LIS3 foram assinaladas as bandas: 1 (520 –
171 590 nm), 2 (620 – 680 nm) e 3 (770 – 860 nm) (EMBRAPA, Dados não publicados).

172 Os quatro tipos de solos abrangem mais de 86% da área das microrregiões. As
173 duas fitofisionomias são os únicos tipos de cobertura de vegetação nativa que podem ser
174 distinguidos nas imagens, com a resolução disponível. As informações geraram uma
175 amostragem de quatro classes de solos *versus* dois tipos de cobertura vegetal, que foram
176 repetidas em três locais distintos, considerados repetições (Tabela 2). Estes locais eram,
177 de preferência, municípios diferentes e colocados de forma a estarem razoavelmente
178 distribuídos na área. Em cada município, as áreas de cobertura aberta e de cobertura
179 densa foram determinadas de maneira a formar pares de áreas relativamente próximas.

180 2.3. Estimativas das biomassas

181 Em cada uma das três áreas de cada estádio de regeneração em Santa Terezinha,
182 foram instaladas quatro parcelas de 3 m de raio e medidos todos os indivíduos com
183 diâmetro do caule a 1,30 cm do solo ($DAP \geq 3$ cm). A biomassa aérea de cada indivíduo
184 foi estimada pelo método indireto alométrico, utilizando o DAP e aplicando-se a
185 equação de potência, determinada para espécies de caatinga [34]:

$$186 \quad \text{Biomassa (Kg)} = 0,173 \text{ DAP}_{(\text{cm})}^{2,295}$$

187 No centro de cada parcela foi aberta uma trincheira de $0,7 \times 0,7$ m, até 1m de
188 profundidade ou até encontrar o substrato rochoso se estivesse a menos de 1m, em
189 camadas de solo de 20 em 20 cm. As raízes de cada camada foram coletadas sem
190 diferenciar entre raízes vivas e mortas e sem distinção dos sistemas radiculares por
191 plantas ou estrato aéreo da vegetação. As raízes retiradas foram levadas para o

192 laboratório para a retirada do solo, separadas manualmente em raízes grossas ($\geq 5\text{mm}$) e
193 raízes finas ($\leq 5\text{mm}$), secas em estufa de circulação forçada a 65°C e pesadas.

194 Em cada área de Pernambuco, foi instalada uma parcela de 5m de raio e medidos o
195 DAP e a distância do indivíduo para o centro da parcela de todos os indivíduos com
196 $\text{DAP} \geq 3\text{ cm}$. As biomassas aéreas de cada um destes indivíduos foram estimadas pelo
197 método alométrico descrito anteriormente. No centro da parcela, foi marcada uma área
198 de $1\text{m} \times 1\text{m}$, na qual foi cortada e coletada a parte aérea de todas as plantas do estrato
199 herbáceo - subarbustivo ($\text{DAP} \leq 3\text{ cm}$) e coletada a serapilheira depositada sobre o solo.
200 Esses materiais foram secos e pesados, como descrito para raízes. No centro da parcela
201 de 1m^2 foi aberta uma trincheira e coletadas as raízes do modo já descrito. Foram feitas
202 análises de regressões lineares das biomassas radiculares e das biomassas aéreas das
203 plantas na parcela de 3m de raio para cada estágio de regeneração na Paraíba e em
204 Pernambuco para cada tipo de solo (fitofisionomia aberta + densa) das plantas na
205 parcela de 5m de raio e em parcelas circunscritas a ela com 4 e 3 m de raio. Os dados
206 das biomassas radiculares e aéreas, das densidades de plantas e das áreas basais foram
207 submetidos a análise de variância e as médias das áreas com vegetação em regeneração,
208 das fitofisionomias e dos solos comparadas pelo teste de Student, adotando-se o nível de
209 significância $p > 0,05$. As análises foram feitas usando-se o programa Statistica 7
210 (StatSoft®).

211

212

213

214

215 3. Resultados

216 3.1. Estádios de regeneração na Paraíba

217 As biomassas radiculares (Tabela 3) foram significativamente maiores na
218 vegetação >60 anos em regeneração (23Mg ha⁻¹) que nas áreas com vegetação em
219 regeneração há 40 (5Mg ha⁻¹) e 18 anos (2Mg ha⁻¹), assim como as biomassas aéreas das
220 lenhosas (60, 28 e 22 Mg ha⁻¹, respectivamente), com caules até 3 m de distância das
221 trincheiras de amostragem das raízes. No entanto, as diferenças foram muito maiores
222 nas biomassas radiculares que nas aéreas, de forma que a razão raiz: parte aérea foi
223 maior na vegetação >60 anos (38%) que nas outras áreas com vegetação em
224 regeneração, principalmente na de regeneração mais recente (8%). Na vegetação >60
225 anos, as biomassas radiculares e aéreas nos 12 pontos amostrados foram
226 significativamente relacionados ($r^2 = 0,59$, $p = 0,005$), mas as relações não foram
227 significativas nos estádios de 40 e 18 anos em regeneração (Figura 1).

228 Nos três estádios de regeneração, a maior parte (> 79%) da biomassa total de
229 raízes estava na camada dos 20 cm superficiais do solo e praticamente não havia raízes
230 abaixo de 40 cm de profundidade, que só ultrapassavam esta camada na vegetação >60
231 anos em regeneração (Tabela 4). Das massas de raízes, as maiores proporções eram de
232 raízes grossas (≥ 5 mm de diâmetro), exceto na camada de 20 a 40 cm de profundidade,
233 na vegetação em regeneração mais recente, em que eram cerca de metade da massa
234 total. As proporções de raízes grossas foram crescentes com o aumento da idade de
235 regeneração, entre 46 e 65% na regeneração de 18 anos, subindo para 78 a 84 na
236 regeneração de 40 anos e acima de 90% nas áreas >60 anos (Tabela 5). As áreas basais
237 seguiram o mesmo padrão das biomassas aéreas (Tabela 3). Foram cerca do dobro na
238 vegetação >60 anos que nos outros estádios em regeneração.

239 3.2. Fitofisionomias e classes de solos em Pernambuco

240 3.2.1. Biomassas radiculares

241 Considerando todos os solos, as biomassas de raízes nas fitofisionomias densas
242 foram maiores que nas abertas (13,12 Mg ha⁻¹ e 5,75 Mg ha⁻¹, p=0,003), mas, por classe
243 de solo, a diferença só foi significativa no Luvissole, no qual a biomassa na
244 fitofisionomia densa foi cinco vezes maior que na aberta (Tabela 6). Em nenhum dos
245 solos de Pernambuco, mesmo no Luvissole, que teve a maior biomassa de raízes na
246 fitofisionomia densa (16 Mg ha⁻¹), o valor atingiu o da biomassa da vegetação >60 anos
247 em regeneração da Paraíba (23 Mg ha⁻¹). As biomassas nas fitofisionomias abertas (3 a
248 10 Mg ha⁻¹) foram da mesma ordem de grandeza das áreas de vegetação há 18 e 40 anos
249 em regeneração na Paraíba (2 e 5 Mg ha⁻¹, respectivamente).

250 Na maioria dos solos, as biomassas radiculares relacionaram-se com as biomassas
251 aéreas lenhosas, com exceção do Planossolo. Entretanto, as relações significativas
252 corresponderam a diferentes distâncias das trincheiras Figura (2A–C). No Luvissole, a
253 relação mais estreita foi com as plantas até 3 m de distância (Figura 2A, r²=0,72,
254 p=0,03); no Neossolo litólico, até 3 m (r²=0,72, p=0,03) e 4 m (Figura 2B, r²=0,84,
255 p=0,010) ; e no Neossolo quartzarênico, até 5 m de distância (Figura 2C, r²=0,94,
256 p=0,006). Considerando as relações mais estreitas e fazendo as retas passarem pela
257 origem, as pendentes indicam que as razões raiz: parte aérea seriam de 27% no
258 Luvissole, 25% e 23% no Neossolo litólico e 39% no Neossolo quartzarênico. A razão
259 neste último solo foi significativamente maior que nos outros dois solos. Embora não
260 significativa, a relação no Planossolo aponta razão raiz: parte aérea de 38%, um valor
261 mais semelhante ao do Neossolo quartzarênico.

262 Os padrões de distribuições em profundidade das raízes diferiram entre os solos
263 (Tabela 7). Tanto na fitofisionomia aberta quanto na densa, no Neossolo quartzarênico
264 as proporções de raízes nas camadas até 40 cm (43 e 45% dos totais até 1m,
265 respectivamente) eram menores que nas camadas mais profundas, enquanto nas outras
266 três classes de solos eram maiores que 90%. O Neossolo quartzarênico foi o único solo
267 no qual as raízes atingiram a maior profundidade amostrada (80 a 100 cm) (Tabela 7).
268 No Neossolo litólico, as proporções da biomassa na camada superficial foram de 54 e
269 76%, uma faixa semelhante à do Neossolo litólico na vegetação em regeneração mais
270 recente (18 anos) da Paraíba.

271 As proporções das biomassas de raízes grossas (Tabela 8) revelaram diferenças
272 entre os solos e as fitofisionomias. O Neossolo quartzarênico foi o único solo em que
273 predominaram as raízes finas na camada superficial, nas duas fitofisionomias. No
274 Planossolo, predominaram as raízes grossas, exceto abaixo de 40 cm de profundidade
275 na fitofisionomia aberta. No Luvisolo, predominaram as raízes grossas na
276 fitofisionomia densa e as finas na aberta. No Neossolo litólico, o padrão foi semelhante
277 ao do Luvisolo, mas predominaram as raízes finas abaixo de 40 cm de profundidade.

278 3.2.2. Biomassas aéreas, área basal e densidade

279 As biomassas aéreas das lenhosas, considerando todos os solos, foram maiores
280 nas fitofisionomias densas ($47,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) que nas abertas ($16,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) ($p=0,0015$),
281 mas, por classe de solo, só diferiram no Neossolo quartzarênico (Tabela 6). Na
282 fitofisionomia densa a biomassa aérea foi maior nesta classe de solo que no Neossolo
283 litólico e no Luvisolo. A faixa de variação nas fitofisionomias densas (32 a 73 Mg ha^{-1})
284 incluiria o valor da biomassa aérea da vegetação >60 anos em regeneração do Neossolo
285 litólico da Paraíba (60 Mg ha^{-1}), enquanto a faixa nas fitofisionomias abertas (10 a 23

286 Mg ha⁻¹) exceto pelo valor máximo, ficaria abaixo da biomassa aérea da vegetação em
287 regeneração há 18 e 40 anos (22 e 28 Mg ha⁻¹, respectivamente).

288 As biomassas aéreas das herbáceas (0,03 a 1,6 Mg ha⁻¹) foram bem mais baixas
289 que as da vegetação lenhosa e não diferiram entre os solos e as fitofisionomias (Tabela
290 6). As massas de serapilheira acumuladas sobre o solo foram maiores nas
291 fitofisionomias densas (5,7 Mg ha⁻¹) que nas abertas (2,7 Mg ha⁻¹) (p=0,004), mas por
292 classe de solo as diferenças só foram significativas no Neossolo quartzarênico e no
293 Planossolo (Tabela 6). Entre as fitofisionomias densas, a massa de serapilheira no
294 Luvisolo foi menor do que a do Neossolo quartzarênico e do Planossolo e entre as
295 abertas apenas a do Neossolo litólico (4,76 Mg ha⁻¹) foi maior do que a do Luvisolo.

296 As áreas basais (4 a 15m² ha⁻¹) das lenhosas, em geral, seguiram o padrão das
297 suas biomassas aéreas. As densidades das plantas lenhosas (1061 a 3979 plantas ha⁻¹)
298 não diferiram entre as classes de solos e as fitofisionomias (Tabela 6).

299

300 4. Discussão

301 A biomassa aérea na vegetação >60 anos em regeneração esteve próxima de
302 algumas florestas tropicais secas maduras 74 Mg ha⁻¹ [15] e 70 Mg ha⁻¹ [27], com
303 precipitações anuais menores que 800 mm. Entretanto, foi cerca de duas vezes menor
304 que a de locais com maiores precipitações (1150 a 1650 mm) [11,23,35], provavelmente
305 por causa da menor disponibilidade hídrica [8,36]. As biomassas aéreas nas
306 fitofisionomias abertas e densas estiveram na mesma faixa de algumas florestas
307 secundárias tropicais secas (10-94 Mg ha⁻¹) [11,35], assim como de estimativas feitas
308 por Martínez-Yrizar [17] (28-85 Mg ha⁻¹), para florestas secas em diferentes estádios

309 sucessionais e com precipitações menores que 900 mm. As maiores biomassas nas
310 fitofisionomias densas também foram próximas de uma área de caatinga em
311 regeneração (74 Mg ha^{-1}) estimada por Kauffman et al. [37]. No entanto, entender as
312 variações da biomassa nas vegetações secundárias é mais difícil, considerando suas
313 relações com vários fatores, como as diferentes precipitações [36], os estádios
314 sucessionais [24,36], e principalmente os distintos históricos de uso antes do abandono
315 da terra [26,38], que, aliás, nem sempre são informações disponíveis para comparações.

316 A biomassa radicular na vegetação > 60 anos em regeneração não diferiu muito
317 das de outros locais ($17\text{-}31 \text{ Mg ha}^{-1}$) [15,23,27], mesmo considerando as distintas
318 faixas de precipitações, de latitudes e de características dos solos. Nas fitofisionomias
319 abertas e densas, em Pernambuco, as biomassas radiculares ($2,8\text{-}15,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram
320 próximas das de algumas florestas tropicais secundárias úmidas com 4 a 30 anos em
321 regeneração ($3,3\text{-}22,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) [7,24]. Isto indica que a biomassa radicular nem sempre
322 reflete diretamente a precipitação, e que, em condições de deficiência, uma maior
323 proporção de biomassa das lenhosas pode ser alocada para as raízes [39]. Além disso,
324 nas florestas secundárias, é provável que outros fatores, como o histórico de uso das
325 áreas, também sejam importantes na variação dos estoques de biomassas das raízes [38].

326 As biomassas radiculares e aéreas na vegetação com maior tempo em
327 regeneração (>60 anos) foram maiores que nas áreas de vegetação há 18 e 40 anos em
328 regeneração, na Paraíba. Um padrão similar tem sido encontrado em outras florestas
329 tropicais [7,11,35] e temperadas [40,41], nas quais há uma relação significativa entre o
330 aumento no estoque de biomassa e o aumento na idade da vegetação [26,42]. Embora as
331 biomassas aumentem na medida em que a vegetação se torna madura, a acumulação de
332 biomassa pode ser mais lenta em áreas que tenham tido uma utilização prévia mais

333 intensa [26,43]. Lévesque et al. [44] relataram que a intensidade do uso da terra é
334 importante nas taxas de regeneração e resiliência de florestas tropicais secas. As formas
335 de manejo, o tipo de cobertura e o tempo de uso da terra podem reduzir os estoques de
336 biomassa radicular [27,45,46]. No entanto, ao contrário dos padrões relatados por
337 alguns desses autores, quanto ao tempo de uso da terra e ao aumento na idade da
338 vegetação, os estoques de biomassa nas áreas com 27 anos de uso (vegetação de 18
339 anos em regeneração) e nas áreas com apenas 5 anos de uso (vegetação de 40 anos em
340 regeneração) antes do abandono foram similares. É possível que nas de 40 anos em
341 regeneração a mortalidade de indivíduos de *Mimosa tenuiflora* com o aumento da idade
342 da vegetação tenha contribuído para reduzir os estoques de biomassa, levando a que não
343 diferissem dos estoques na área de regeneração mais recente e fossem inferiores aos da
344 caatinga >60 anos em regeneração.

345 O aumento na biomassa das raízes grossas na vegetação >60 anos em
346 regeneração foi semelhante ao relatado em alguns estudos em vegetações em estádios
347 mais maduros [47–49]. Brassard et al. [50] relataram que essa mudança pode ser
348 esperada tanto pelo aumento nos estoques de raízes grossas já presentes no solo, quanto
349 pela transição de raízes finas para sistemas radiculares mais perenes como consequência
350 do espessamento secundário das raízes, permitindo um melhor suporte estrutural para as
351 árvores nos estádios mais tardios [47]. Embora poucos estudos tenham tentado estimar
352 essa biomassa e ainda menos tentado considerar sua heterogeneidade espacial [9,51],
353 Castellanos et al. [15] apontaram uma proporção de raízes grossas de 73% do estoque
354 total radicular em uma vegetação tropical seca madura, pouco menor do que a
355 proporção encontrada nesse estudo (>90%), indicando a importância das raízes grossas

356 nos estoques totais de biomassa e de carbono, possivelmente em florestas tropicais
357 maduras como deve ser o caso da vegetação > 60 anos em regeneração.

358 Um maior estoque de raízes em camadas mais superficiais do solo é descrito em
359 resposta a uma maior concentração de nutrientes próximo a superfície, pela
360 decomposição da serapilheira [52,53]. Esse padrão de distribuição, encontrado em
361 diferentes tipos de vegetações e estádios sucessionais [6,7,10,17,23,54] também
362 ocorreu nos três estádios de regeneração da Paraíba e em três das classes de solo, em
363 Pernambuco, com a maior proporção de raízes principalmente na camada dos 20 cm
364 superficiais do solo. No entanto, no Neossolo quartzarênico o padrão foi distinto, com
365 maior proporção de raízes abaixo dos 40 cm de profundidade e com raízes presentes até
366 a profundidade máxima amostrada (100 cm). A textura e a profundidade do solo [51]
367 podem ter uma importante influência na distribuição vertical das raízes, sobretudo em
368 solo de textura mais grossa. Em geral, solos arenosos têm baixa disponibilidade de
369 nutrientes e retenção hídrica [20] e, com a limitação de recursos, as plantas alocam uma
370 maior biomassa para raízes que para a parte aérea [51,55,56]. Por outro lado, Millikin e
371 Bledsoe [48] e Valverde-Barrantes et al. [57] relataram que solos de textura mais
372 argilosa podem restringir o crescimento de raízes às camadas mais superficiais. Isso
373 indica que diferenças na textura e na fertilidade do solo podem afetar a acumulação da
374 biomassa [20]. A pouca profundidade em algumas classes de solos das áreas de estudo
375 restringiu as raízes às camadas mais superficiais, como observado em outro estudo [6].

376 Distintos padrões de distribuições das raízes finas e grossas nas profundidades
377 do solo foram encontrados. Nas áreas da Paraíba, as distribuições foram, possivelmente,
378 influenciadas pelos diferentes estádios sucessionais. John et al. [47] relataram que em
379 vegetação mais jovem mais raízes finas são produzidas e distribuídas nas camadas

380 superficiais do solo, ao contrário das florestas maduras, nas quais há uma menor
381 proporção de raízes finas superficiais [7]. Estes estudos corroboram, em parte, os
382 padrões encontrados nas áreas, sobretudo quanto à menor proporção de raízes finas na
383 vegetação com maior tempo de regeneração. Além disso, Jaramillo et al. [7] sugeriram
384 que as raízes exploram camadas um pouco mais profundas em vegetações menos
385 perturbadas, o que não foi observado na vegetação >60 anos em regeneração,
386 provavelmente, pela limitação da profundidade do solo [6]. Em Pernambuco, a
387 biomassa de raízes grossas nas maiores profundidades no solo arenoso foi maior do que
388 nos demais solos, em todas as fitofisionomias abertas, confirmando um maior
389 desenvolvimento radicular em solos arenosos [9,39]. A ausência de raízes ≥ 5 mm nas
390 camadas mais profundas do solo nas fitofisionomias abertas poderia estar ligada ao
391 estágio sucessional dessas áreas que teriam entre 10 e 27 anos de regeneração. Jaramillo
392 et al. [7] fizeram uma observação semelhante, tendo constatado a ausência de raízes de
393 4-10 mm de espessura nas camadas mais profundas do solo em vegetações com até 20
394 anos em regeneração.

395 Em florestas tropicais secas, as razões entre raízes e parte aérea, revisadas por
396 Mokany et al. [5] (27-56%), e em um estudo relatado por Castellanos et al. [15] (42%)
397 foram um pouco maiores que às das áreas com vegetação >60 em regeneração (38%) e
398 nas diferentes classes de solos (23-39%). Entretanto, algumas florestas tropicais secas
399 maduras tiveram razões inferiores às deste estudo [23,27], chegando a apenas 15% em
400 uma área com precipitações anuais acima de 1100mm [23]. Razões também em faixas
401 abaixo das deste estudo têm sido encontradas em florestas tropicais úmidas (17 a 25%)
402 [5,24,58] e florestas temperadas (16 a 26%) [2,40]. Portanto, as proporções na caatinga
403 e em outras florestas tropicais secas indicam um maior investimento radicular. A maior

404 razão raiz:parte aérea em solos de texturas arenosa, também foi corroborado [2,5,6],
405 revelando na caatinga um importante aspecto do investimento e da proporção de raízes
406 em solo mais profundo e arenoso.

407

408 5. Conclusões

409 Os estoques de biomassa aérea e radicular, as razões raiz: parte aérea e as
410 proporções de raízes grossas na Paraíba tenderam a aumentar com o avanço do estágio
411 sucessional da vegetação. Em três estágios de regeneração na Paraíba e em três classes
412 de solos em Pernambuco as maiores proporções de raízes foram nas camadas mais
413 superficiais do solo. Em Pernambuco no solo mais arenoso as raízes atingiram uma
414 maior proporção nas camadas mais profundas do solo e uma maior razão raiz: parte
415 aérea.

416

417 6. Agradecimentos

418 Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão de bolsa ao primeiro
419 autor, e ao projeto impactos de mudanças climáticas sobre a cobertura e uso da terra em
420 Pernambuco: geração e disponibilização de informações para o subsídio a políticas
421 públicas (edital 05-2010 FAPESP-FACEPE) pelo apoio financeiro e logístico das
422 expedições de campo.

423

424

425

426 7. Referências

- 427 [1] Brown S. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer.
428 Rome: FAO, 1997. (Forestry Paper 134). Disponível em:
429 <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>. Acesso em: 06 Mar. 2012.
- 430 [2] Cairns MA, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA. Root biomass allocation in the
431 world's upland forests. *Oecologia* 1997; 111(1): 1–11.
- 432 [3] Higuchi N, Santos J, Ribeiro RJ, Minette L, Biot Y. Biomassa da parte aérea da
433 vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta*
434 *Amazonica* 1998; 28(2): 153–66.
- 435 [4] Houghton RA, Hall F, Goetz SJ. Importance of biomass in the global carbon cycle.
436 *Journal of Geophysical Research* 2009; 114: G00E03, doi: 10.1029/2009JG000935.
- 437 [5] Mokany K, Raison RJ, Prokushkin AS. Critical analysis of root: shoot ratios in
438 terrestrial biomes. *Global Change Biology* 2006; 12(1): 84–96.
- 439 [6] Jackson RB, Canadell J, Ehleringer JR, Mooney HA, Sala OE, Schulze ED. A
440 global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 1996; 108(3): 389–
441 411.
- 442 [7] Jaramillo VJ, Ahedo-Hernández R, Kauffman JB. Root biomass and carbon in a
443 tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest
444 conversion to pasture. *Journal of Tropical Ecology* 2003a; 19(4): 457–64.
- 445 [8] Murphy MT, Lugo AE. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology*
446 *and Systematics* 1986; 17: 67–88.
- 447 [9] Sarmiento G, Pinillos M, Garay I. Biomass variability in tropical American lowland
448 rainforests. *Ecotropicos* 2005; 18(1): 1–20.

- 449 [10] Vance ED, Nadkarni NM. Root biomass distribution in a moist tropical montane
450 forest. *Plant and Soil* 1992; 142(1): 31–39.
- 451 [11] Vargas R, Allen MF, Allen EB. Biomass and carbon accumulation in a fire
452 chronosequence of a seasonally dry tropical forest. *Global Change Biology* 2008; 14(1):
453 109–24.
- 454 [12] Chave J, Condit R, Aguilar S, Hernandez A, Lao S, Perez R. Error propagation
455 and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the*
456 *Royal Society B* 2004; 359(1443): 409–20.
- 457 [13] Clark DB, Clark DA. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a
458 tropical rain forest. *Forest Ecology and Management* 2000; 137(1–3): 185–98.
- 459 [14] Brown S, Gaston G. Use of forest inventories and geographic information to
460 estimate biomass density of tropical forests: application to tropical Africa.
461 *Environmental Monitoring and assessment* 1995; 38(2–3): 157–68.
- 462 [15] Castellanos J, Maass M, Kummerow J. Root biomass of a dry deciduous tropical
463 forest in Mexico. *Plant and Soil* 1991; 131(2): 225–28.
- 464 [16] Jaramillo VJ, Martínez-Yrizar A, Sanford-Jr RL. Primary Productivity and
465 Biogeochemistry of Seasonally Dry Tropical Forests. In: Dirzo R et al. editores.
466 *Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation*, Island Press; 2011, p. 109–
467 28.
- 468 [17] Martínez-Yrizar A. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry
469 forests. In: Stephen HB, Mooney HA, Medina E, editors. *Seasonally dry tropical*
470 *forests*, Cambridge University; 1995, p. 326–45.

- 471 [18] Návar J. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of
472 northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 2009; 257(2): 427–34.
- 473 [19] Ryan CM, Williams M, Grace J. Above- and Belowground Carbon Stocks in a
474 Miombo Woodland Landscape of Mozambique. *Biotropica* 2011; 43(4): 423–32.
- 475 [20] Castilho CV, Magnusson W E, Araujo RNO, Luizão RCC, Luizão FJ, Lima AP et
476 al. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of
477 soil and topography. *Forest Ecology and Management* 2006; 234(1–3): 85–96.
- 478 [21] Coomes DA, Grubb PJ. Impacts of root competition in forests and woodlands: a
479 theoretical framework and review of experiments. *Ecological Monographs* 2000; 70(2):
480 171–207.
- 481 [22] Laurence WF, Fearnside PM, Laurance SG, Delamonica P, Lovejoy TE, Rankin-de
482 Merona JM et al. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-
483 scale study. *Forest Ecology and Management* 1999; 118(1–3): 127–38.
- 484 [23] Raheison SM, Grouzis DM. Plant biomass, nutrient concentration and nutrient
485 storage in a tropical dry forest in the south-west of Madagascar. *Plant Ecology* 2005;
486 180(1): 33–45.
- 487 [24] Kenzo T, Ichie T, Hattoric D, Kendawangd JJ, Sakuraib K, Ninomiya I. Changes
488 in above and belowground biomass in early successional tropical secondary forests after
489 shifting cultivation in Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management* 2010;
490 260(5): 875–82.
- 491 [25] Pande PK. Biomass and productivity in some disturbed tropical dry deciduous
492 teak forests of Satpura plateau, Madhya Pradesh. *Tropical Ecology* 2005; 46(2): 229–
493 39.

- 494 [26] Hughes RF, Kauffman JB, Jaramillo VJ. Biomass, carbon, and nutrient dynamics
495 of secondary forests in a humid tropical region of México. *Ecology* 1999; 80(6): 1892–
496 1907.
- 497 [27] Jaramillo VJ, Kauffman JB, Rentería-Rodríguez L, Cummings DL, Ellingson LJ.
498 Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes.
499 *Ecosystems* 2003b; 6(7): 609–29.
- 500 [28] Miles L, Newton AC, DeFries RS, Ravilious C, May I, Blyth S et al. A global
501 overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*
502 2006; 33(3): 491–505.
- 503 [29] Sampaio EVSB. Overview of the Brazilian Caatinga. In: Stephen HB, Mooney
504 HA, Medina E, editors. *Seasonally dry tropical forests*, Cambridge University; 1995, p.
505 35–63.
- 506 [30] Souza LQ, Freitas ADS, Sampaio EVSB, Moura PM, Menezes, RSC. How much
507 nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forest? 1. Trees and shrubs.
508 *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 2012; DOI 10.1007/s10705-012-9531-z.
- 509 [31] Jacomine PT, Cavalcanti AC, Burgos N, Pessoa SCP, Silveira CO. Levantamento
510 exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: Ministério da
511 Agricultura/SUDENE; 1973. p. 359.
- 512 [32] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia.
513 2. ed. Rio de Janeiro; 2007. Disponível em:
514 ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnic
515 [o_pedologia.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnic). Acesso em: 26 de Nov. 2011.
- 516 [33] Jensen JR. Elementos de interpretação visual de imagens. In: Jensen JR, editor.
517 *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*, Parêntese;
518 2009, p.129–50.

- 519 [34] Sampaio EVSB, Silva, GC. Biomass equations for Brazilian semiarid Caatinga
520 plants. *Acta Botanica Brasilica* 2005; 19(4): 935–43.
- 521 [35] Read L, Lawrence D. Recovery of biomass following shifting cultivation in dry
522 tropical forests of the Yucatan. *Ecological Applications* 2003; 13(1): 85–97.
- 523 [36] Becknell MJ, Kucek LK, Powers JS. Aboveground biomass in mature and
524 secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis.
525 *Forest Ecology and Management* 2012; 276: 88–95.
- 526 [37] Kauffman JB, Sanford-Jr RL, Cummings DL, Salcedo IH, Sampaio EVSB.
527 Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests.
528 *Ecology* 1993; 74(1):140–15.
- 529 [38] Brown S, Lugo AE. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 1990;
530 6 (1): 1–32.
- 531 [39] Schenk HJ, Jackson RB. The global biogeography of roots. *Ecological*
532 *Monographs* 2002; 72(3): 311–28.
- 533 [40] Peichl M, Arain MA. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon
534 pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest*
535 *Meteorology* 2006; 140(1–4): 51–63.
- 536 [41] Wang X, Fang J, Zhu B. Forest biomass and root–shoot allocation in northeast
537 China. *Forest Ecology and Management* 2008; 255(12): 4007–20.
- 538 [42] Fonseca W, Benayas JMR, Alice FE. Carbon accumulation in the biomass and soil
539 of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology*
540 *and Management* 2011; 262(8): 1400–08.
- 541 [43] Alves DS, Soares JV, Amaral S, Mello EMK, Almeida SAS, Silva OF et al.
542 Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon.
543 *Global Change Biology* 1997; 3(6): 451–61.

- 544 [44] Lévesque M, McLaren KP, McDonald MA. Recovery and dynamics of a primary
545 tropical dry forest in Jamaica, 10 years after human disturbance. *Forest Ecology and*
546 *Management* 2011; 262(5): 817–26.
- 547 [45] Castellanos J, Jaramillo VJ, Sanford –Jr RL, Kauffman JB. Slash-and-burn effects
548 on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in México.
549 *Forest Ecology and Management* 2001; 148(1–3):41–50.
- 550 [46] Lawrence D. Biomass accumulation after 10–200 years of shifting cultivation in
551 bornean rain forest. *Ecology* 2005; 86(1): 26–33.
- 552 [47] John B, Pandey HN, Tripathi RS. Vertical distribution and seasonal changes of fine
553 and coarse root mass in *Pinus kesiya* Royle Ex.Gordon forest of three different ages.
554 *Acta Oecologica* 2001; 22(5–6): 293–300.
- 555 [48] Millikin CS, Bledsoe CS. Biomass and distribution of fine and coarse roots from
556 blue oak (*Quercus douglasii*) trees in the northern Sierra Nevada foothills of California.
557 *Plant and Soil* 1999; 214(1–2): 27–38.
- 558 [49] Vanninen P, Ylitalo H, Sievänen R, Mäkelä A. Effects of age and site quality on
559 the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees* 1996; 10(4):231–
560 38.
- 561 [50] Brassard BW, Chen HYH, Bergeron Y. Influence of Environmental Variability on
562 Root Dynamics in Northern Forests. *Critical Reviews in Plant Science* 2009; 28(3):179–
563 97.
- 564 [51] Silver WL, Neff J, Keller M, Mcgroddy M, Veldkamp E, Cosme R. Effects of soil
565 texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest
566 ecosystem. *Ecosystems* 2000; 3(2):193–209.
- 567 [52] Cavelier J. Fine-root biomass and soil properties in a semideciduous and a lower
568 montane rain forest in Panama. *Plant and Soil* 1992; 142(2):187–201.

- 569 [53] Hertel D, Moser G, Culmsee H, Erasmi S, Horna V, Schuldt B et al. Below- and
570 above-ground biomass and net primary production in a paleotropical natural forest
571 (Sulawesi, Indonesia) as compared to neotropical forests. *Forest Ecology and*
572 *Management* 2009; 258(9):1904–12.
- 573 [54] Chang R, Fu B, Liu G, Yao X, Wang S. Effects of soil physicochemical properties
574 and stand age on fine root biomass and vertical distribution of plantation forests in the
575 Loess Plateau of China. *Ecological Research* 2012; 27(4):827–36.
- 576 [55] Weigelt A, Steinlein T, Beyschlag W. Competition among three dune species: the
577 impact of water availability on below-ground processes. *Plant Ecology* 2005;
578 176(1):57–68.
- 579 [56] Xie J, Tang L, Wang Z, Xu G, Li Y. Distinguishing the Biomass Allocation
580 Variance Resulting from Ontogenetic Drift or Acclimation to Soil Texture. *PLoS ONE*
581 2012; 7(7): e41502. doi:10.1371/journal.pone.0041502.
- 582 [57] Valverde-Barrantes OJ, Raich JW, Russell AE. Fine-root mass, growth and
583 nitrogen content for six tropical tree species. *Plant and Soil* 2007; 290(1–2):357–70.
- 584 [58] Deans JD, Moran J, Grace J. Biomass relationships for tree species in regenerating
585 semi-deciduous tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management*
586 1996; 88(1–2): 215–25.
- 587
- 588

589 Tabela 1. Critérios usados para o reconhecimento das fitofisionomias abertas e densas
590 nas imagens georeferenciadas no semi-árido de Pernambuco.

Elemento de identificação	Fitofisionomias	
	Caatinga aberta	Caatinga densa
-----Interpretação visual-----		
COR*		
Época chuvosa	Vermelho com mosqueado branco e verde	Vermelho escuro
Época seca	Cinza com mosqueado verde e branco	Cinza escuro
TEXTURA		
Época chuvosa	Grosseira	Grosseira
Época seca	Intermediária	Grosseira

591 * Sistema Red, Green e Blue (RGB)

592

593 Tabela 2. Localização das áreas amostradas em Pernambuco (AP), considerando as
594 principais classes de solos (CS): L- Luvissole, NL-Neossolo litólico, NQ-Neossolo
595 quartzarênico, P-Planossolo. A primeira coordenada corresponde à área de
596 fitofisionomia aberta e a segunda à de fitofisionomia densa.

CS	AP	Coordenadas – Latitude Sul e Longitude Oeste	
L	1	-08 09' 58,52859"	-37 57' 35,25712"/-08 09' 53,52854" -37 58' 03,65732"
L	2	-07 45' 06,99995"	-37 43' 31,39994"/-07 44' 47,99997" -37 42' 38,99997"
L	3	-08 14' 50,99997"	-37 33' 20,39995"/-08 15' 06,89997" -37 33' 42,39994"
NL	4	-07 22' 59,47785"	-37 14' 04,53922"/-07 23' 24,02833" -37 14' 33,68102"
NL	5	-07 31' 01,41892"	-37 21' 01,43504"/-07 29' 33,34743" -37 17' 51,28874"
NL	6	-07 26' 21,56019"	-37 23' 07,57629"/-07 26' 39,36516" -37 22' 40,54038"
NQ	7	-08 33' 10,09996"	-37 18' 23,49995"/-08 32' 49,89995" -37 19' 17,39995"
NQ	8	-08 52' 59,30624"	-37 42' 09,99994"/-08 53' 07,04038" -37 42' 55,07515"
NQ	9	-09 06' 41,34544"	-38 12' 27,67664"/-09 04' 45,69029" -38 12' 10,43876"
P	10	-08 26' 04,10965"	-37 12' 07,61163"/-08 28' 53,39994" -37 12' 05,59996"
P	11	-07 54' 26,79997"	-37 27' 45,39996"/-07 54' 39,89996" -37 26' 44,09997"
P	12	-07 39' 59,76919"	-37 24' 37,57506"/-07 37' 51,38030" -37 23' 18,87181"

1. Betânia; 2. Carnaíba; 3. Custódia; 4. Itapetim; 5-6. São José do Egito; 7. Buíque; 8. Manari; 9. Tacaratu; 10. Arcoverde; 11. Iguaraci; 12. Tuparetama.

597 Tabela 3. Biomassa radicular (BR, Mg ha⁻¹), biomassa aérea (BA, Mg ha⁻¹), densidade
 598 de plantas (DP, planta ha⁻¹) e área basal (AB, m² ha⁻¹), em vegetação de caatinga com
 599 diferentes tempos de regeneração, em Santa Terezinha, PB.

Medida	> 60 anos	40 anos	18 anos	Média geral
BR	22,9 ^A	4,9 ^B	1,75 ^B	9,8
BA	59,9 ^A	27,8 ^B	22,1 ^B	36,6
DP	2187 ^A	1946 ^A	1179 ^A	1771
AB	12,9 ^A	6,5 ^B	4,8 ^B	8,1

Médias seguidas por letras iguais, na mesma linha, não diferem pelo teste de Student ao nível de p = 0,05.

600

601

602 Tabela 4. Distribuição da biomassa radicular (%) em camadas de solo de profundidades
 603 crescentes, em vegetação de caatinga com diferentes tempos de regeneração, em Santa
 604 Terezinha, PB.

Profundidades (cm)	> 60 anos	40 anos	18 anos
0-20	91,1	89,2	79,4
20-40	8,7	10,8	20,6
40-60	0,2	0,0	0,0

605

606

607

608

609

610 Tabela 5. Proporções da biomassa de raízes grossas (%) em relação à biomassa total das
 611 raízes, em camadas de solo de profundidades crescentes, em vegetação de caatinga com
 612 diferentes tempos de regeneração, em Santa Terezinha, PB.

Profundidades (cm)	> 60 anos	40 anos	18 anos
0-20	94	84	65
20-40	96	78	46
40-60	74	0	0

613

614

615 Tabela 6. Medidas (Med) de biomassa radicular (BR, Mg ha⁻¹), biomassa aérea das
 616 lenhosas (BAL, Mg ha⁻¹), biomassa aérea das herbáceas (BAH, Mg ha⁻¹), biomassa da
 617 serapilheira (BS, Mg ha⁻¹), densidade de plantas (DP, planta ha⁻¹) e área basal (AB, m²
 618 ha⁻¹), em vegetação de caatinga sobre Luvisssolo (L), Neossolo litólico (NL), Neossolo
 619 quartzarênico (NQ) e Planossolo (P), no semi-árido de Pernambuco.

Med	L		NL		NQ		P	
	Aberta	Densa	Aberta	Densa	Aberta	Densa	Aberta	Densa
BR	2,82 ^{Ab}	15,7 ^{Aa}	3,74 ^{Aa}	9,8 ^{Aa}	6,68 ^{Aa}	14,1 ^{Aa}	9,75 ^{Aa}	12,8 ^{Aa}
BAL	15 ^{Aa}	32 ^{Ba}	23 ^{Aa}	34 ^{Ba}	10 ^{Ab}	73 ^{Aa}	18 ^{Aa}	50 ^{ABa}
BAH	0,65 ^{Aa}	0,03 ^{Aa}	1,59 ^{Aa}	0,69 ^{Aa}	0,66 ^{Aa}	0,73 ^{Aa}	0,28 ^{Aa}	0,11 ^{Aa}
BS	1,02 ^{Ba}	2,39 ^{Ba}	4,76 ^{Aa}	4,9 ^{ABa}	1,75 ^{ABb}	7,25 ^{Aa}	3,38 ^{ABb}	8,17 ^{Aa}
DP	2785 ^{Aa}	2453 ^{Aa}	3979 ^{Aa}	3448 ^{Aa}	1061 ^{Aa}	2586 ^{Aa}	1459 ^{Aa}	2918 ^{Aa}
AB	4,14 ^{Aa}	7,81 ^{Ba}	6,42 ^{Aa}	8,59 ^{ABa}	2,58 ^{Ab}	14,8 ^{Aa}	4,14 ^{Ab}	11,2 ^{ABa}

620 Pelo teste de Student ao nível de p = 0,05, letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre o mesmo
 621 tipo de fitofisionomia, em diferentes classes de solos e letras minúsculas indicam diferenças estatísticas
 622 entre aberta e densa no mesmo solo.

623

624

625 Tabela 7. Distribuição da biomassa radicular (%) em função das profundidades (P). L-
 626 Luvisso, NL- Neossolo litólico, NQ- Neossolo quartzarênico, P- Planossolo, em PE.

P (cm)	L		NL		NQ		P	
	Aberta	Densa	Aberta	Densa	Aberta	Densa	Aberta	Densa
0-20	83,7	48,4	53,6	75,7	18,6	21,9	87,8	27,5
20-40	13,1	41,8	39,1	20,0	24,6	23,5	10,8	64,4
40-60	3,2	9,9	6,2	4,3	30,1	31,1	1,4	6,3
60-80	0,0	0,0	1,1	0,0	19,6	12,3	0,0	1,9
80-100	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	11,2	0,0	0,0

627

628

629 Tabela 8. Proporções da biomassa de raízes grossas (%) por profundidade (P). L-

630 Luvisso, NL- Neossolo litólico, NQ- Neossolo quartzarênico, P- Planossolo, em PE.

P (cm)	L		NL		NQ		P	
	Aberta	Densa	Aberta	Densa	Aberta	Densa	Aberta	Densa
0-20	34	71	42	68	38	36	66	34
20-40	0	84	59	51	50	55	70	82
>40	0	81	0	29	48	50	0	69

631

632

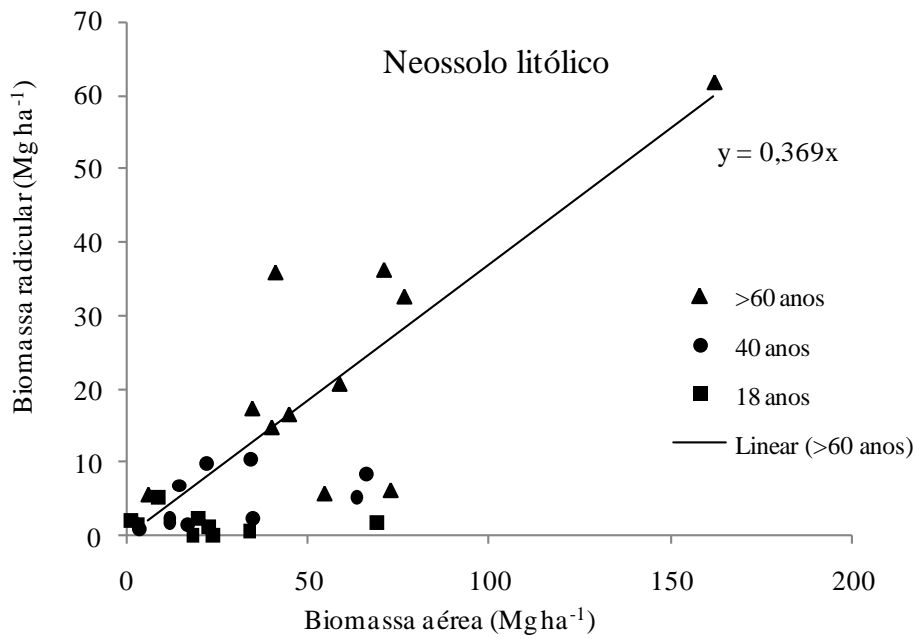
633

634

635

636

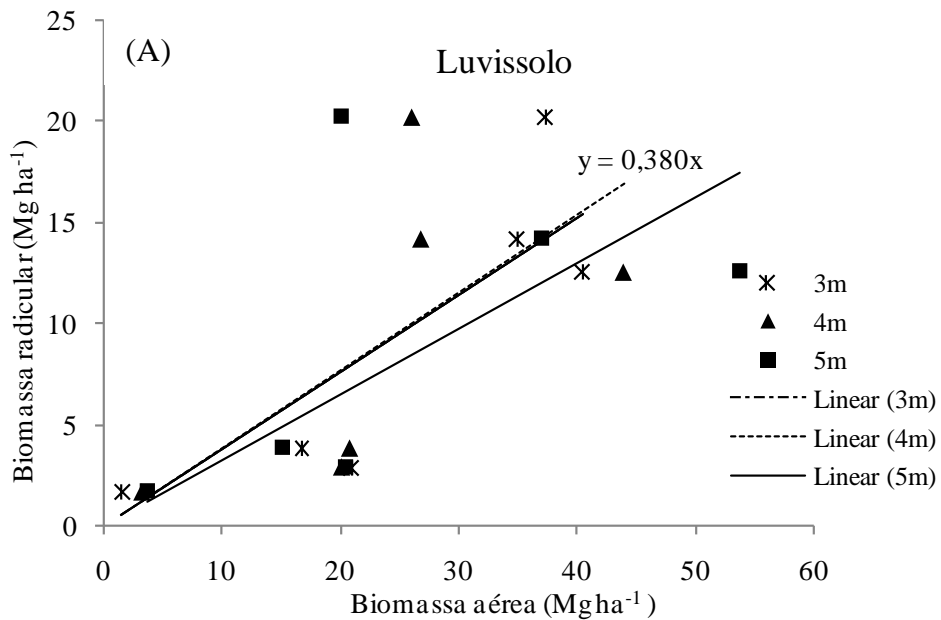
637



638
639

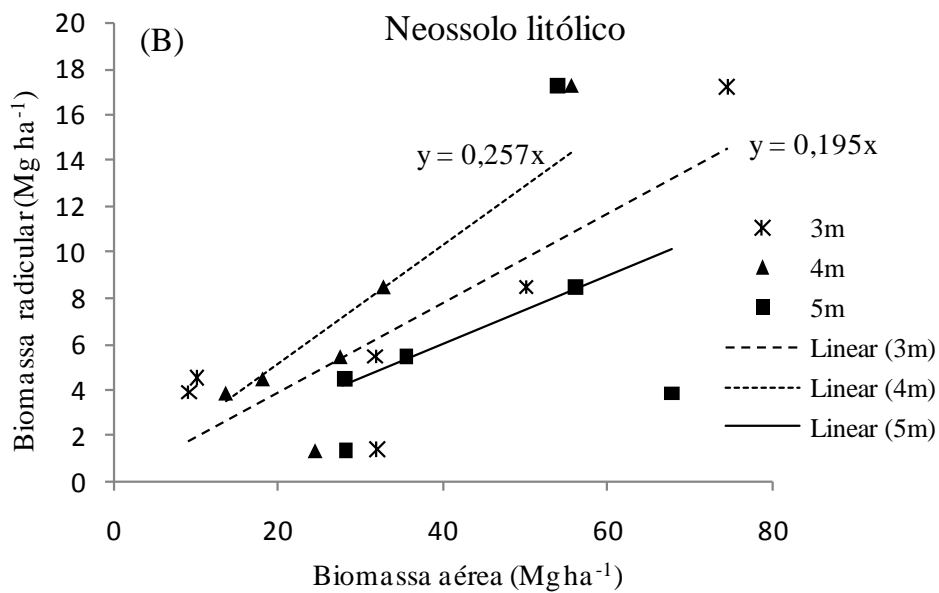
640 Figura 1. Relações entre a biomassa radicular e a biomassa aérea, nos distintos estádios
641 de regeneração em Santa Terezinha-PB.

642



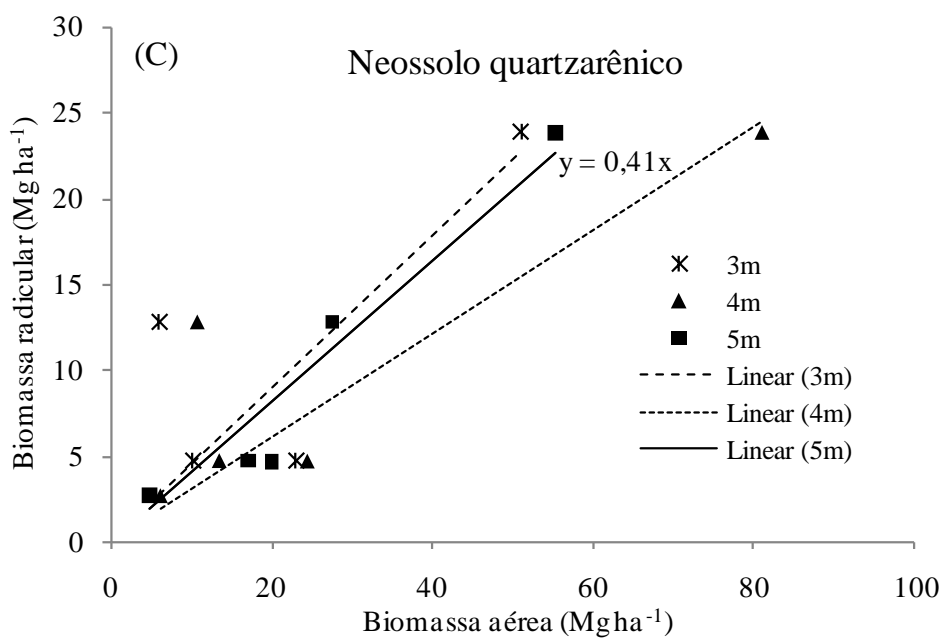
643

644



645

646



647

648 Figuras 2(A–C). Relações entre a biomassa radicular e a biomassa aérea, nas diferentes

649 classes de solos no semi-árido de Pernambuco.

ANEXOS

BIOMASS & BIOENERGY



BIOMASS & BIOENERGY



GUIDE FOR AUTHORS

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. Do not embed "graphically designed" equations or tables, but prepare these using the wordprocessor's facility. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Do not import the figures into the text file but, instead, indicate their approximate locations directly in the electronic text and on the manuscript. See also the section on Electronic illustrations. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the "spell-check" and "grammar-check" functions of your wordprocessor. All submitted manuscripts must be double-spaced. Manuscripts must also have all pages numbered consecutively and line numbering activated.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered

1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- ***Title.*** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- ***Author names and affiliations.*** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- ***Corresponding author.*** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that telephone and fax numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.
- ***Present/permanent address.*** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address')

may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required of no more than 250 words. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples. Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Save text in illustrations as 'graphics' or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times, Symbol.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.
- Submit each figure as a separate file.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

All tables should be submitted as a separate file.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

This journal has standard templates available in key reference management packages End Note (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to word processing packages, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style which is described below.

Reference style

Text: Indicate references by number(s) in square brackets in line with the text. The actual authors can be referred to, but the reference number(s) must always be given.

List: Number the references (numbers in square brackets) in the list in the order in which they appear in the text.

Examples:

Reference to a journal publication:

[1] Stewart L, Lambert DM. Spatial heterogeneity of factors determining ethanol production site selection in the U.S., 2000-2007. *Biomass Bioenerg* 2011; 35(3): 1273–85.

Reference to a book:

[2] Strunk Jr W, White EB. *The elements of style*. 4th ed. New York: Longman; 2000.

Reference to a chapter in an edited book:

[3] Mettam GR, Adams LB. How to prepare an electronic version of your article. In: Jones BS, Smith RZ, editors. *Introduction to the electronic age*, New York: E-Publishing Inc; 2009, p. 281–304.

Note shortened form for last page number. e.g., 51–9, and that for more than 6 authors the first 6 should be listed followed by 'et al.' For further details you are referred to 'Uniform Requirements for Manuscripts submitted to Biomedical Journals' (*J Am Med Assoc* 1997; 277:927–34)