



UFRPE

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA-PPGB
ELIZA ROSÁRIO GOMES MARINHO DE ALBUQUERQUE**

**BIOMASSA DE RAÍZES EM ÁREAS COM DIFERENTES USOS DA TERRA
E TIPOS DE SOLOS**

RECIFE - PERNAMBUCO

2015

ELIZA ROSÁRIO GOMES MARINHO DE ALBUQUERQUE

**BIOMASSA DE RAÍZES EM ÁREAS COM DIFERENTES USOS DA TERRA
E TIPOS DE SOLOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco – PPGB/UFRPE, como requisito para obtenção do título de Doutora em Botânica.

Orientador:

Dr.:Everardo V. S. B. Sampaio

Deptº.: Energia Nuclear/UFRPE

Co-orientadora:

Dra.: Elcida de Lima Araújo

Deptº.: Biologia/UFRPE

RECIFE - PERNAMBUCO

2015

Ficha catalográfica

A345b Albuquerque, Eliza Rosário Gomes Marinho de
Biomassa de raízes em áreas com diferentes usos da
terra e tipos de solos / Eliza Rosário Gomes Marinho de
Albuquerque. – Recife, 2015.
134 f.: il.

Orientador: Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio.
Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia,
Recife, 2015.

Inclui referências, anexo(s) e apêndice(s).

1. Distribuição vertical das raízes 2. Mudança no uso da
terra 3. Razão raiz: parte aérea 4. Sistema radicular I.

Sampaio,

Everardo Valadares de Sá Barreto, orientador II. Título

CDD 581

**BIOMASSA DE RAÍZES EM ÁREAS COM DIFERENTES USOS DA TERRA
E TIPOS DE SOLOS**

ELIZA ROSÁRIO GOMES MARINHO DE ALBUQUERQUE

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

Defendida em: ____/____/____

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Everardo V.S.B. Sampaio (Presidente da Banca /Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. André Luiz Alves de Lima
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Titular)

Profa. Dra. Carmen Sílvia Zickel
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. Ana Carolina B. Lins e Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Suplente)

Prof. Dr. Rômulo C. Simões
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Suplente)

Dedico

À minha família,
meu marido Adolfo
e a todos que contribuíram para a conclusão deste estudo.

Agradecimentos

Agradeço à Deus por ter colocado pessoas maravilhosas no meu caminho durante essa jornada.

Ao professor Everardo Sampaio pela oportunidade, orientação, confiança, e contribuição sempre com muita técnica e simplicidade. Serei eternamente grata pelo aprendizado!

À Frans, pela essencial ajuda no trabalho em campo e teórico, pelo exemplo de profissionalismo e honestidade.

À professora Elcida, pelos ensinamentos e pelo esforço em contribuir pelo desenvolvimento do trabalho.

À minha família por todo o apoio, em especial a minha irmã Rafaela, que colocou “a mão na massa” e me ajudou nas atividades de laboratório. Ao meu marido, amigo e grande incentivador, Adolfo por sempre me encorajar a buscar o meu melhor.

Aos grandes amigos que adiquiri durante o trabalho, Diego e Tânia, pelo apoio em todos os momentos, pelos incentivos e alegrias, pela presença em todas as etapas do trabalho, desde o campo até a companhia na sala de estudos.

A todos do Departamento de Energia Nuclear, professores, funcionários e colegas depós-graduação pelo acolhimento, convivência e amizade; em especial à Claudenice, Taci, Dário, Nilson, Giba, Girleide, Gilberto, Pedro, Heverton, Rodrigo, Erick, Gabi, Edilândia, Monalisa C., Monaliza A., Bárbara, Edson, Josenildo, Natache, Mona, André, Laerte, Karina, Jéssica e Eduardo.

À equipe “cava buraco” Júlio, Tiago, Patryk, em especial agradeço a Kennedy, Mônica e Carol, que “seguraram as pontas” até o fim das viagens a campo sentindo o peso da “ caneta”.

Às amigas que conheci na rural e logo se tornaram bastante queridas, Aninha, Bela, Tati e Teté. À Patrícia e Suzana pela amizade e pela ajuda nas questões voltadas à ciência do solo. E também as amigas Bárbara, Juliellen, Andressa, Letícia, Cássia e Adriele, que estão sempre na torcida pelo meu melhor.

À Mayra e Lico da Associação de Plantas do Nordeste que contribuíram nas atividades de campo.

À Elmo Clark pela fundamental ajuda na identificação das classes de solo.

Às professoras Socorro Bráz e Auxiliadora Campos e aos professores Egídio e Benjamin e Gledson Fabiano que me orientaram e incentivaram no começo da minha vida na pesquisa.

Aos professores André Lima, Carmen Zickel, Elba Ferraz, Rinaldo Caraciolo, Ana Carolina e ao Rômulo Simões, membros da banca examinadora desta tese, os quais contribuíram com valiosas contribuições ao trabalho.

À Kênia Azevedo, que foi a primeira a confirmar que eu tinha sido aprovada na seleção do doutorado e desde então garantiu um espaço importante nos meus agradecimentos, com o seu “ô mulher”... “Vai dar tudo certo!”

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de Pós Graduação em Botânica.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto;

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente pela realização deste estudo.

MUITO OBRIGADA!

LISTA DE FIGURAS

Revisão de literatura

Figura 1 (A-C). Precipitação pluviométrica média anual (mm) no Estado de Pernambuco, (A) anos regulares, (B) anos chuvosos, (C) anos secos	19
--	----

Capítulo 1

Figura 1. Proporções médias das biomassas totais de raízes em diferentes profundidades do solo, sob as bases dos caules (A) e em outras posições (B), em seis áreas de caatinga	61
Figura 2. Proporções médias das biomassas de raízes em diferentes classes de diâmetro em relação à biomassa total de raízes, em cada uma de três profundidades do solo, em trincheiras abertas sob as bases dos caules, em seis áreas de caatinga	62
Figura 3. Proporções médias das biomassas de raízes em diferentes classes de diâmetro em relação à biomassa total de raízes, em cada uma de três profundidades do solo, em trincheiras abertas fora das bases dos caules, em seis áreas de caatinga	63

Capítulo 2

Figura 1. Distribuição dos pontos amostrais	71
---	----

Anexo I

Figura 1. Áreas de pastagem, A) Região Zona da Mata; B) Região Agreste; C) Sertão Leste	92
Figura 2. Áreas de vegetação densa, A) região Zona da Mata; B) região Agreste; C) Sertão Leste	93
Figura 3. Áreas de vegetação aberta, A) região Zona da Mata; B) região Agreste; C) Sertão Leste	94
Figura 4. Processo de amostragem em campo; A) Marcação da coordenada; B) Gabarito para abertura da trincheira; C) Abertura da trincheira; D) solo peneirado e catação manual das raízes; D) trincheira	95

LISTA DE TABELAS

Revisão de literatura

Tabela 1. Tipos de solos (%) mais representativas das três mesorregiões no Estado de Pernambuco com a proporção que ocupam em cada mesorregião..... 23

Tabela 2. Biomassa de raízes em florestas tropicais úmidas e secas 28

Capítulo 1

Tabela 1. Espécies das quais foi cortada uma árvore para determinação de biomassa aérea (BA) e biomassas de raízes sob as bases dos caules, posição A (BRPA) e a 50 cm dos caules, posição B (BRPB), entre dois caules, posição C (BRPC) e mais que 1 m dos caules em áreas de caatinga, posição D (BRPD)..... 59

Tabela 2. Biomassa aérea (BA), área basal à altura do peito (ABP), densidade de plantas (DP), biomassa de raízes sob as bases dos caules (BRSBC), biomassa de raízes em outras posições (BROP), razão de BRSBC em relação à biomassa total (BR) e razão das biomassas de raízes e aéreas (R:A), em seis áreas de caatinga. 60

Capítulo 2

Tabela 1. Biomassa radicular ($Mg\ ha^{-1}$) sob diferentes usos da terra e tipos de solos nas diferentes regiões de Pernambuco, Brasil. 75

Tabela 2. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por classe de diâmetro em áreas de vegetação densa. 77

Tabela 3. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por classe de diâmetro em áreas de vegetação aberta..... 78

Tabela 4. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por classe de diâmetro em áreas de agricultura. 79

Tabela 5. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por classe de diâmetro em áreas de pastagem. 80

LISTA DE ABREVIATURAS

ABP	Área basal do peito
C	Carbono
°C	Graus Celsius
CIT	Convergência Inter Tropical
CO ₂	Dióxido de carbono
CGMC	Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DAP	Diâmetro à altura do peito
DP	Densidade de plantas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of United Nations
FRA	Forest Resources Assessment
FPA	Frente Polar Atlântica
GEE	Gases de efeito estufa
Gt	Giga toneladas (1 Gt = 10 ¹⁵ g, ou 1 bilhão de toneladas)
H	Altura
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel On Climate Change
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
m	Metros
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação
mEC	Massa Equatorial Continental
Mg	Megagrama (1 Mg = 10 ⁶ g, ou 1 tonelada)
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ppm	Partes por milhão
SEPED	Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Tg	Teragrama (1 Tg = 10 ¹² g, ou 1 milhão de toneladas)
ZAPE	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco

Albuquerque, Eliza Rosário Gomes Marinho. Dr.; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Fevereiro, 2015. BIOMASSA DE RAÍZES EM ÁREAS COM DIFERENTES USOS DA TERRA E TIPOS DE SOLOS. Everardo V.S.B. Sampaio, Elcida de Lima Araújo.

RESUMO: Há pouca informação sobre o estoque de biomassa radicular das vegetações no mundo e estimativas regionais são ainda mais escassas. Pouco se conhece do ponto de vista quantitativo a cerca das mudanças do uso e cobertura da terra sobre a biomassa radicular. Os objetivos deste estudo foram determinar a proporção de raízes sob as bases dos caules, estimar a biomassa radicular por unidade de área, estimar a biomassa aérea e as razões raiz: parte aérea em áreas de caatinga e mensurar os estoques de biomassa nas raízes de vegetação nativa, cultivos e pastagens, nas principais fisiográficas e classes de solo de Pernambuco. Foram realizados dois trabalhos sobre biomassas radiculares: um a respeito das biomassas sob os caules em vegetação de caatinga e outro sobre biomassas em áreas com diferentes usos da terra e tipos de solos. No primeiro, foram estimadas biomassas aéreas aplicando-se equação alométrica, biomassas radiculares coletadas em trincheiras de $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$, abertas sob a base dos caules e a diferentes distâncias de caules, separando-se em camadas de solo de 20 cm de profundidade até a profundidade de 1m ou até encontrar camada de impedimento. A biomassa de raízes sob a base do caule foi $10,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ e nas demais posições foi $25,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, concentradas na camada superficial do solo (0-20 cm). A proporção de 41% de biomassa de raízes encontrada sob os caules corrobora a hipótese de que o estoque de biomassa radicular tem sido sistematicamente subestimado em áreas que não quantificam as raízes nesta posição. No segundo trabalho, foram determinadas as raízes em áreas de agricultura, pastagem, vegetação densa e vegetação aberta, em três diferentes regiões fisiográficas de Pernambuco (Zona da Mata, úmida; Agreste, subúmida e Sertão, semiárida), em trincheiras de $0,7 \times 0,7 \text{ m}$, em camadas até 1m, nas principais classes de solo de cada região. As raízes foram separadas em finas ($\leq 5 \text{ mm}$) e grossas ($> 5 \text{ mm}$), e em seguida secas e pesadas para determinação da biomassa seca. Na região úmida, as biomassas na vegetação densa ($32,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e na aberta ($24,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram significativamente maiores que nas áreas com cana-de-açúcar ($9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) e pastagem ($2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). Na região subúmida a biomassa radicular da vegetação densa ($20,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) chegou a ser aproximadamente nove vezes superior que a pastagem ($2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$). Na região semiárida, tanto em solos no Sertão leste como solos no Sertão oeste, as maiores

biomassas radiculares foram na vegetação densa (17,1 e 13,2 Mg ha⁻¹ respectivamente). As biomassas radiculares nas áreas de pastagem não apresentaram diferença entre as regiões. Independente das regiões, a maior parte da biomassa de raízes estava na camada de 0-40 cm e era composta de raízes grossas; apenas nas áreas de pastagem houve predomínio de raízes finas. As maiores biomassas radiculares nas áreas de vegetação nativa que nas de pastagem e agricultura mostram que a substituição da vegetação nativa leva à perda no estoque de biomassa radicular.

Palavras-chave: distribuição vertical das raízes, mudança no uso da terra, razão raiz: parte aérea, sistema radicular

Albuquerque, Eliza Rosário Gomes Marinho. Dra. Universidade Federal Rural de Pernambuco; February, 2015. ROOTS BIOMASS IN AREAS WITH DIFFERENT USES OF LAND AND SOIL TYPES. Everardo V.S.B. Sampaio, Elcida de Lima Araújo.

ABSTRACT: There is little information about the storage of vegetations root biomass in the world, and there are even less regional estimations. From the quantitative point of view, few is known when it comes to changes in the use and the cover of the soil on the root biomass. The goals of this study were to determinate the proportion of roots below the stem bases, to estimate the root biomass per unit area, to estimate the aboveground biomass and the root: shoot ratio in the areas of caatinga and to measure the stock of root biomass of the native vegetation, cultivations and pasturages, in the main physiographic and classes of soil of Pernambuco. Two studies about root biomass were made: one about biomass below the stems in a caatinga vegetation and the other about biomasses in areas underneath different uses and types of soils. In the first, aboveground biomasses were estimated using the allometric equation, root biomass were collected in trenches of $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$, opened under the stems bases and in different distances between the stems, separating in 20 cm of depth soil layers until the depth of 1m or until an impediment layer was found. The root biomass under the stems bases was 10.6 Mg ha^{-1} and in the other positions was 25.6 Mg ha^{-1} concentrated in the superficial layer of the soil (0-20 cm). The proportion of 41% of the roots founded underneath the stems biomass confirms the hypothesis that the storage of root biomass has been systematically underestimated in areas that don't quantify the roots in this position. In the second study, the roots in the areas of agriculture, pasture, dense vegetation and opened vegetation were determined, in different physiographic regions of Pernambuco (Zona da Mata, humid; Agreste, sub-humid and Sertão, semiarid), in trenches of $0.7 \times 0.7 \text{ m}$, in layers of until 1m, in the main classes of soil of every region. The roots were separated in fine ($\leq 5 \text{ mm}$) and coarse ($> 5 \text{ mm}$), and then dry and weighted up. In the humid region, the biomass at the dense vegetation (32.5 Mg ha^{-1}) and open vegetaion (24.0 Mg ha^{-1}) were significantly bigger then in the areas with cana-de-açúcar (9.8 Mg ha^{-1}) and pasture ($2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). In the region sub-humid the root biomass of the dense vegetation (20.5 Mg ha^{-1}) were approximately nine times superior then the pasture (2.3 Mg ha^{-1}). In the semiarid region, in the soils of both west and east Sertão, the biggest

root biomass were in the dense vegetation (17.1 e 13.2 Mg ha⁻¹ respectively). The root biomasses in the areas of pasture did not show any difference between the regions. Regardless of the region, the majority of the root biomass were in the 0-40 cm layer and it was composed by coarse roots; only in the areas of pasture there was a predominance of fine roots. The higher concentration of root biomass in the areas of native vegetation than in the areas of pasture and agriculture showed that the substitution of the native vegetation leads to the loss of the biomass stock.

Keywords: vertical roots distribution, change in the use of the soil, root: shoot ratio, radicular system

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS SÍMBOLOS

Resumo

Abstract

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. Caracterização geral do Estado de Pernambuco	18
2.2. Características gerais das principais classes de solos em Pernambuco.....	22
2.3. Estimativa de biomassa radicular.....	25
2.4. Impactos da mudança do uso da terra sobre o estoque da biomassa.....	29
3. REFERÊNCIAS	30
Capítulo1: BIOMASSA DE RAÍZES SOB A BASE DO CAULE E EM DIFERENTES DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO À ÁRVORE.....	30
Resumo	40
Abstract.....	41
1. Introdução.....	42
2. Material e métodos	44
2.1. Áreas de estudo	44
2.2. Coleta de dados	44
2.2.1. Biomassa aérea e área basal.....	44
2.2.2. Biomassa de raízes.....	45
2.2.3. Cálculo da biomassa de raízes por área	46
3. Resultados.....	47
4. Discussão.....	48
5. Conclusão	54
6. Agradecimentos.....	54
7. Referências	55
Capítulo 2: BIOMASSA DE RAÍZES SOB DIFERENTES USOS DO SOLO	64
Resumo	65
Abstract.....	66
1. Introdução.....	67

2. Material e métodos	69
2.1. Caracterização das áreas de estudo	69
2.2. Amostragens da biomassa radicular	71
2.3. Análise dos dados	72
3. Resultados.....	72
3.1. Biomassa radicular nas classes de solo	73
3.2. Distribuição da biomassa em profundidade e em diâmetro das raízes.....	75
4. Discussão	81
5. Conclusão	84
6. Agradecimentos	85
7. Referências	85
Anexo I	92
Anexo II.....	96

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas terrestres retiram C atmosférico (sequestro) através da fotossíntese e incorporam-no em sua biomassa (estoque) como forma de crescimento. A assimilação do C atmosférico como forma natural de sequestrar o CO₂ pelos vegetais é conhecida como mitigação biológica (HOUGHTON et al., 2009; YU, 2004). No jargão das mudanças climáticas são considerados como “drenos ou poços” os estoques que estão absorvendo C, e os com efeito contrário, com emissão de C são chamados de “fontes”. O CO₂ é responsável por cerca de 70% do potencial de elevação da temperatura terrestre (BORREGO et al., 2010; FERNANDES; NERY, 2013; REICH, 2010; SHAKUN et al., 2012). Nos últimos 250 anos, a concentração desse gás na atmosfera aumentou 31%, alcançando os atuais 379 ppm, mais alto nível observado nos últimos 420 mil anos (IPCC, 2007).

A constatação de níveis crescentes de dióxido de carbono atmosférico fez com que diversos países se mobilizassem em busca de formas de reduzir às emissões de CO₂ e aumentar o sequestro de C (GRACE, 2004; YU, 2004). Uma das principais vias de transferência do carbono à atmosfera são as mudanças no uso da terra (DJOMO et al., 2011), na qual ecossistemas naturais são convertidos em cultivos agrícolas, pastagens para produção de alimentos e energia e outros fins (SAMPAIO; COSTA, 2011). Por isso é necessário entender como mitigar essas emissões, conhecer os estoques de C através de sua quantificação nos principais usos da terra, avaliar a capacidade de produção primária líquida, potencial de acúmulo de nutrientes e avaliação dos reservatórios de carbono nos ecossistemas (BURGUER; DELITTI, 2008; KAUFFMAN et al., 2009; SILVEIRA et al., 2008). Portanto, é importante o país cumprir o compromisso de elaborar e manter atualizados os inventários florestais nacionais e aprimorar as estimativas dos estoques de biomassa vegetal (MCT, 2010).

As biomassas vegetais são bastante variáveis no tempo e no espaço (SAMPAIO; COSTA, 2011), tornando a comparação entre áreas bastante difícil (MARTÍNEZ-YRÍZAR, 1995). Essas variações podem ser influenciadas por muitas variáveis ambientais e algumas pela metodologia de coleta (MOKANY et al., 2006). As biomassas nas vegetações são influenciadas pela disponibilidade hídrica e de nutrientes (COOMES; GRUBB, 2000; COSTA et al., 2014; LIMA et al., 2011; METCALFE et al., 2008; SOUSA NETO et al., 2011; PINHEIRO et al., 2013; ROSADO et al., 2011) pela temperatura, mediada pela latitude e altitude (CAIRNS et al., 1997; JACKSON et al., 1996; MOKANY et al., 2006; ROSADO et

al., 2011) e pelo estágio sucessional (COSTA et al., 2014; JARAMILLO et al., 2003a; JARAMILLO et al., 2003b; SARMIENTO et al., 2005; WATZLAWICK et al., 2012).

A biomassa radicular e as partes subterrâneas são compartimentos muitas vezes ignorados nas estimativas de estoques florestais (MARTÍNEZ-YRIZAR, 1995). Em alguns ecossistemas esses compartimentos são responsáveis por até 70% da biomassa total, como é o caso do cerrado (RIBEIRO et al., 2011). De acordo com Jackson et al. (1996) as maiores biomassas radiculares encontram-se em ecossistemas tropicais úmidos (50 Mg ha^{-1}). Esse mesmo autor afirma haver uma redução da biomassa das raízes quando quantificadas em terras agrícolas e áreas de pastagem (15 Mg ha^{-1}), sendo corroborado por Jaramillo (2003 a; 2003 b), tanto em florestas tropicais úmidas como em florestas tropicais secas. Em Pernambuco, Costa et al. (2014) reportou para áreas de caatinga com diferentes estágios sucessionais, biomassas totais de raízes até 1 m de profundidade variando de 5,75 a $13,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ (vegetação aberta e vegetação densa, respectivamente). Esses autores encontraram ainda uma relação da biomassa radicular: parte aérea entre 0,53 a 0,63, que indicam um maior investimento radicular em ecossistemas semiáridos quando comparados a outros ecossistemas encontrados na literatura, por exemplo, 0,19 reportados por Jackson et al. (1996). Esses valores podem ainda ser maiores se considerada a biomassa sob a base do caule, que de acordo com Mokany et al. (2006) equivalem a 41 % da biomassa radicular total.

Levando em conta a importância da quantificação do compartimento de dados das partes subterrâneas e sistema radicular nos estoques de biomassa florestal, objetivou-se mensurar a biomassa sob a base do caule e estimar a proporção raiz: parte aérea em áreas de caatinga além de estimar as biomassas radiculares em diferentes ecossistemas, em diferentes usos da terra e classes de solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização físico-climática do Estado de Pernambuco

O estado de Pernambuco está inserido na região nordeste do Brasil onde predomina o clima tropical úmido, subúmido e o semiárido. De acordo com Lima (2007a), o estado pode ser dividido, em quatro zonas fitogeográficas: litoral, mata, caatinga e savana. As mais expressivas em nível de extensão são mata e caatinga, sendo essa última responsável por abranger o equivalente a 5 milhões de hectares (ha) do território pernambucano (PROBIO, 2007).

O Estado também pode ser dividido em cinco mesorregiões geográficas (IBGE, 2004): Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata, Agreste, Sertão e Sertão do São

Francisco. O clima da zona da mata é tropical úmido com influência dos ventos alísios de nordeste, ondas de leste, aglomerados de cúmulo-nimbos associados à brisa marítima e ainda alta subtropical do Atlântico norte e do Atlântico sul (SILVA, 1998). As temperaturas médias anuais são superiores a 24° C e o regime de chuvas normalmente ocorre no outono e inverno, variando de 700 a 2.500 mm anuais (EMBRAPA, 1998).

Em Pernambuco, a altitude aumenta na direção Leste-Oeste do estado. A zona da mata, em sua grande maioria, encontra-se em baixa altitude de até 200 m e possui relevo predominantemente plano com esporádicas suaves ondulações (ARAÚJO FILHO, 2000).

Na Zona da Mata encontram-se fragmentos do Bioma Mata Atlântica, com formações florestais diversas, entre elas florestas Ombrófila (densa, mista e aberta), Estacional Semidecidual e Estacional Decidual, manguezais e restingas (LIMA, 2007a). Essas formações vegetais foram muito reduzidas com a expansão territorial da agricultura e principalmente da cana-de-açúcar (LIMA, 1998). Atualmente, as matas cobrem apenas 3% de sua área original em Pernambuco (RIBEIRO et al., 2009). Já a cana-de-açúcar, base da economia agrícola nesta zona, na safra de 2012/2013 conferiu a Pernambuco o *status* de segundo maior produtor do Nordeste com 312,09 mil hectares plantados (CONAB; MAPA, 2013).

A geologia da zona úmida do estado é composta pela faixa sedimentar costeira incluindo a baixada litorânea, estendem-se na direção norte-sul acompanhando a costa, mas por vezes, adentrando o interior do estado. De modo geral sofre ação dos agentes continentais com presença de restingas, dunas e mangues (LIMA, 2007a).

Nos níveis cristalinos que antecedem a Borborema o relevo predominantemente apresenta-se fortemente ondulado com altitudes variando de 10 a 350 metros demarcando uma transição entre a Faixa Sedimentar Costeira e o Maciço da Borborema (ARAÚJO FILHO, 2000).

O Agreste ocupa boa parte do Maciço da Borborema, com altitudes de 400 m a pouco mais de 1000 m e tem clima tropical subúmido e semiárido na porção ao centro e oeste do planalto (SAMPAIO, 2010). É uma área de transição entre a zona da mata e o sertão que sofre influências climáticas de ambas em suas zonas limítrofes, com temperaturas médias anuais variando de 20 a 26° C, em função da altitude, e chuvas concentradas de março a julho e de baixa ocorrência entre agosto e janeiro (SAMPAIO, 1995). No Sertão e Agreste as chuvas podem oscilar de ano para ano, em média, 100-600 mm, entretanto, as precipitações são menos concentradas do que no Sertão (SAMPAIO, 2010).

Na porção semiárida do estado a caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, caracteriza-se pela predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, com plantas que apresentam características relacionadas ao estresse hídrico como perda de folhas durante a

estação seca (caducifólia), herbáceas anuais, suculência, acúleos e espinhos (LIMA, 2007; SAMPAIO, 2010; TABARELLI; SILVA, 2002).

O Sertão abrange a maior área de Pernambuco (PROBIO, 2007). Com clima semiárido, constitui a porção mais seca do Estado, em grande parte, pela retenção das chuvas ocasionada pela localização do Maciço da Borborema (SAMPALIO, 2010). A maior parte pertence a Depressão Sertaneja ou Pediplano Cristalino, considerado regular sedimentares ou pequenas serras com altitude próxima dos 300 e 400 m, podendo alcançar picos de 600 m entre os rios Pajeú e Moxotó (ARAÚJO FILHO, 2000).

A climatologia da região semiárida é uma das mais complexas do mundo por causa da junção de diferentes sistemas de formação de circulação atmosférica no Nordeste brasileiro, que tem a influência da massa Equatorial Continental (mEC), responsável pelas chuvas de verão, Convergência Intertropical (CIT), principal sistema que provoca chuvas no nordeste setentrional, condicionando as chuvas de verão-outono, e a Frente Polar Atlântica (FPA), sistema responsável pelas chuvas de outono-inverno no nordeste oriental (ARAÚJO FILHO, 2000; SILVA, 1998). Essas formações somadas ao relevo resultam em um sistema complexo de formação das chuvas (LIMA, 2007a).

Segundo Lima (2007a) e Sampaio (2010) quando as massas de ar atingem o semiárido já têm perdido a maior parte de sua força, o último autor ainda menciona a disposição orográfica, com serras e chapadas mais altas interceptando as frentes mais úmidas. Esse conjunto de fatores resulta em chuvas mal distribuídas concentradas em poucos meses do ano, e alternância de anos mais secos com anos mais chuvosos (SAMPALIO, 2010).

A precipitação diminui à medida que avança a continentalidade (Figura 1), oscilando entre 250 mm nas regiões mais áridas a 1000 mm nas zonas limítrofes do agreste com a zona da mata. Entretanto, um olhar exclusivamente voltado para os índices pluviométricos não é o suficiente para entender o problema de escassez hídrica no Estado, já que alguns volumes de chuvas máximos são semelhantes aos de regiões úmidas (SAMPALIO, 2010).

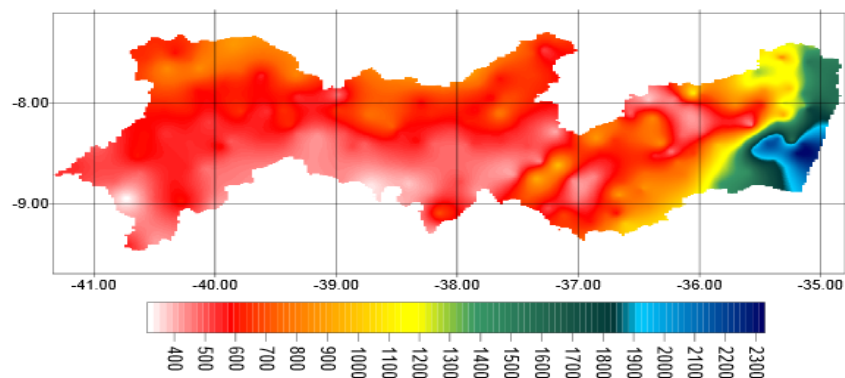
É preciso considerar a evapotranspiração potencial, que é muito menos variável que a precipitação, e pode chegar a mais de 2000 mm por ano (SAMPALIO, 2010; SILVA et al., 2011). Entre o agreste e mata varia menos, onde fica em torno de 1000 mm (SAMPALIO, 2010). Combinados a precipitação com a evapotranspiração potencial tem-se a escassez hídrica da semiaridez climática, menor que 0,65, enquanto essa relação pode ser superior a 1 na zona da mata. Na realidade, a disponibilidade hídrica é um dos fatores determinantes da diferenciação edafo-fitogeográfica destas zonas (SAMPALIO, 2010).

A geologia da região semiárida nordestina é formada por rochas pré-cambrianas aflorantes (principalmente granitos, gnaisses, xistos, migmatitos e tonalitos) concentradas ao

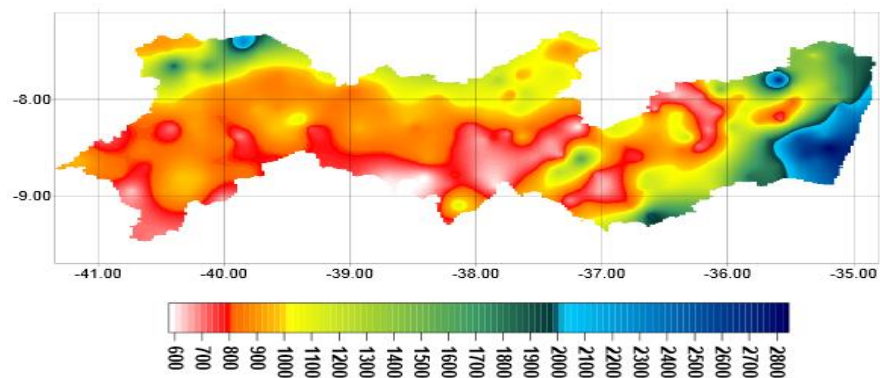
leste do estado ou por coberturas sedimentares parte oeste, com profundidade que variam de poucos centímetros a profundidades de vários metros (ARAÚJO FILHO, 2000). Devido à grande variedade dos fatores de formação de solo presentes na região semiárida, o material de origem e do relevo é preponderante na formação e evolução dos solos da região conferindo a eles uma alta variabilidade comparada a outros biomas do país (SAMPAIO, 2010).

Figura 1. (A-C). Precipitação pluviométrica média anual (mm) no estado de Pernambuco, (A) anos regulares, (B) anos chuvosos, (C) anos secos.

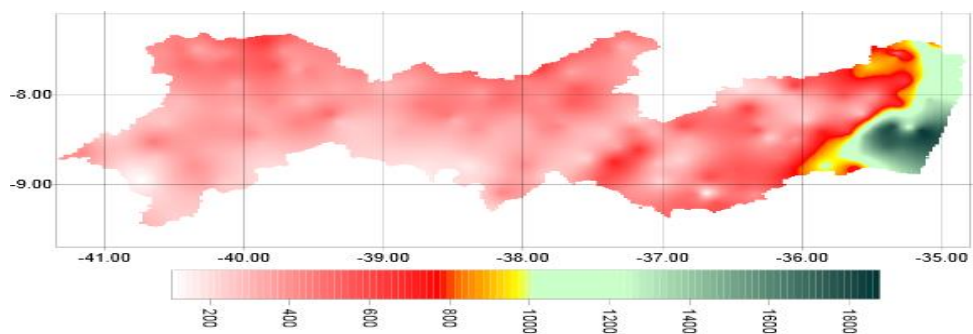
A)



B)



C)



FONTE: Extraído de EMBRAPA SOLOS (2000).

A porção sedimentar em geral possui solos mais evoluídos e profundos, geralmente bem drenados, com boa capacidade de retenção de água, são pouco variáveis em comparação aos cristalinos que por sua vez são solos mais jovens (JACOMINE, 2009). São solos rasos, pouco permeáveis, expostos a erosão devido à alta intensidade das chuvas (SAMPAIO, 2010).

2.2. Características gerais das principais classes de solos em Pernambuco

Pernambuco oferece do litoral para o interior, uma sucessão de paisagens diferentes, marcadas por uma intensa diversificação de tipos de solo (JACOMINE, 1973). Esta diversidade é resultante das diferenças de material de origem, relevo e clima, cuja as principais classes de solos estão apresentadas na Tabela 1 de acordo com a extensão das áreas ocupadas no estado de Pernambuco (EMBRAPA, 2006).

Os Argissolos são predominantemente encontrados na zona úmida (51%) (EMBRAPA, 2006), mas também estão presentes em porções expressivas no agreste e sertão (20 % e 12 % respectivamente) (EMBRAPA, 2006) e são solos bem desenvolvidos, variando de pouco a muito profundo e com fertilidade oscilando de baixa a média (ARAÚJO FILHO, 2000). Nas áreas mais úmidas são predominantemente cultivados com cana-de-açúcar e pastagens podendo-se encontrar mandioca, abacaxi, coco e citrus. No oeste do estado, nas áreas próximas do São Francisco estabeleceu-se o polo de fruticultura, utilizando a irrigação (ARAÚJO FILHO et al., 2000). Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, profundos, ácidos e pobres em nutrientes, com estrutura granular, porosos, muito bem drenados, de textura variando de arenosa até muito argilosa. Em Pernambuco, ocorrem com frequência na zona úmida (19 %) (EMBRAPA, 2006), mas também ocorrem no sertão (9 %) (EMBRAPA, 2006), principalmente na porção mais ao oeste do Estado (chapada do Araripe) (ARAÚJO FILHO, 2000). São solos bastante utilizados com agricultura e pastagens, desde que sejam corrigidas a acidez e a deficiência de nutrientes (KER, 1997). Nas áreas de brejo, têm sido utilizados com fruticultura e cafeicultura e na zona úmida com cana-de-açúcar (ARAÚJO; SALCEDO, 1997; FONTANA et al., 2013).

Gleissolos são solos naturalmente mal drenados, pelo seu processo de formação e desenvolvimento, encontrados principalmente em ambientes de várzeas na zona da mata, onde perfazem 9 % da área (EMBRAPA, 2006). Suas características são decorrentes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário por causa do lençol freático muitas vezes elevado ou na superfície durante alguns períodos do ano (EMBRAPA, 2002). A textura varia de acordo com a profundidade podendo-se encontrar nas camadas superficiais alto teor de areia e nas camadas subsuperficiais muita argila. Possuem fertilidade natural baixa, de modo geral são ácidos e alagados, facilmente distinguíveis pela presença de espécies hidrófilas

como a aninga (*Montrichardia linifera*) (AMARANTE et al., 2009). Na Zona da mata pernambucana grande parte destes solos é artificialmente drenada e uma vez corrigida as deficiências químicas, são cultivados com pastagens e principalmente com cana-de-açúcar (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

Tabela 1. Tipos de solos (%) mais representativas das três mesorregiões no Estado de Pernambuco com a proporção que ocupam em cada mesorregião.

Zona da Mata		Agreste		Sertão	
Argissolo	51	Argissolo	20	Argissolo	12
		Neossolo litólico	25	Neossolo litólico	22
Latossolo	19	Planossolo	24	Planossolo	15
		Neossolo regolítico	12	Neossolo quartzarênico	14
Gleissolo	9			Luvissolo	13
				Latossolo	9
Total	79		81		85

Dentre os solos de maior representação no Agreste e Sertão estão os Neossolos litólicos (25 % e 22 % respectivamente) (EMBRAPA, 2006). São solos pouco evoluídos, com profundidade que não ultrapassa os 50 cm (ARAÚJO FILHO et al., 2000; EMBRAPA, 2006). Apesar de apresentarem reserva de nutrientes por conta da abundância de minerais primários, em relação as outras ordens de solos têm nutrientes pouco disponíveis para as plantas e baixa capacidade de retenção de água, sendo considerados com baixo potencial para fins agrícolas (ARAÚJO FILHO et al., 2000). No agreste são utilizados para plantio de pastos, palma e culturas de subsistência. No Sertão são utilizados com pecuária extensiva e pastagem natural (ARAÚJO FILHO et al., 2000). Apresentam diversos níveis de pedregosidade superficial podendo ser associados a afloramentos rochosos amplamente visualizados em ambientes de serras e serrotes. Nestes ambientes a vegetação natural tem sido mais preservada (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

Os Planossolos são medianamente desenvolvidos, rasos a pouco profundos. A desargilização (perda de argila) do horizonte A é responsável por sua textura arenosa, com transição textural abrupta para o horizonte B de alto teor de argila, pouco permeável estando

secos na estação seca e encharcado em épocas de chuva, sendo esta última limitante na utilização de maquinário agrícola (ARAÚJO FILHO et al., 2000; EMBRAPA, 2006). Possuem média a alta fertilidade, sendo ácidos na superfície e neutros na subsuperfície. Ocorrem principalmente no Agreste (24 %) (EMBRAPA, 2006), sendo utilizados com pastagens e cultivo de algodão, milho, feijão e mandioca. Também estão presentes em boa parte do Sertão (15 %) (EMBRAPA, 2006), são predominantemente usados na pecuária (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

Os Neossolos regolíticos são solos pouco desenvolvidos, variam entre pouco profundo a profundos, com textura normalmente arenosa que pode ser até cascalhenta e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Possuem fertilidade natural média a baixa com pequena reserva de nutrientes (SANTOS et al., 2012). Podem ter uma camada endurecida (fragipã) limitante a atividade agrícola. Em Pernambuco ocorrem principalmente no Agreste (12 %) (EMBRAPA, 2006; ARAÚJO FILHO et al., 2000).

Neossolos quartzarênicos são solos pouco evoluídos, normalmente profundos a muito profundos, muito arenosos, excessivamente drenados, com baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes. Sua ocorrência acontece principalmente no Sertão de Pernambuco (14 %) (ARAÚJO FILHO et al., 2000). São muito utilizados com o cultivo de mandioca, mas também merece destaque no uso com fruticultura, particularmente o cajueiro (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

Os Luvissolos são solos medianamente desenvolvidos, com profundidade pequena a média e muita pedregosidade (EMBRAPA, 2006). De modo geral possuem textura argilosa com consistência dura ou muito dura quando secos (ARAÚJO FILHO et al., 2000; EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007). Possuem alta disponibilidade de nutrientes, mas sua pedregosidade e a falta de água nos ambientes onde prevalecem são fatores limitantes para o desenvolvimento das raízes. Distribuem-se por boa parte do território brasileiro, com maior expressividade em regiões como o semiárido nordestino (ARAÚJO FILHO et al., 2000; EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007).

Além da importância dos solos na agricultura, estes tem grande importância no estoque de carbono nos ecossistemas terrestres (FONSECA et al., 2011; LAL, 2004). Estima-se que o estoque global de carbono no solo seja de aproximadamente 2500 Gt, sendo 3,3 vezes maior que o estoque na atmosfera de 760 Gt (LAL, 2004; ROSCOE, 2003). Na região semiárida do Nordeste (NE) do Brasil, o estoque de C do solo em média é de 85 Mg ha⁻¹ (SAMPAIO; COSTA, 2011).

2.3. Estimativa de biomassa radicular

Estudos para a compreensão sobre a biomassa e a distribuição de raízes vêm acontecendo a pelo menos 280 anos (JACKSON et al., 1996). Ao longo desse tempo foram desenvolvidas diversas técnicas de amostragem como: a lavagem de raízes na parede do perfil (RITCHNER et al., 2000), observação do crescimento das raízes através de um painel de vidro (MAGALHÃES FILHO et al., 2008), e escavações mais profundas na tentativa de observar a profundidade máxima atingida pelas raízes (CERRI; VOLKOFF, 1987; JACKSON et al., 1996; PAIVA et al., 2011; PINHEIRO et al., 2013). Essas técnicas de amostragem perduram até os dias de hoje. Com o passar do tempo novos métodos surgiram, como o de radioisótopos, isótopos estáveis, traçadores estáveis (LEHMANN et al., 2001; MACHADO et al., 2011) e minirhizontron para avaliar zonas de enraizamento funcionais, gravação de vídeo e processamento de imagem, para acompanhar *in situ* o crescimento das raízes (BRASIL et al., 2007).

Quando se trata de biomassa radicular, o número de trabalhos no mundo é bem inferior aos que tratam de biomassa aérea (MARTÍNEZ-YRIZAR, 1995), apesar de ser um dado importante para compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas (KENZO et al., 2009; VASCONCELOS et al., 2003). Houghton (2005) apontou que esses dados são bem relatados em países de latitude média ao norte, sendo mais escassos a medida que se aproximam dos trópicos.

A comparação entre as biomassas radiculares deve ser feita com cautela porque as biomassas são influenciadas por muitas variáveis como a profundidade do solo (PINHEIRO et al., 2013) e pela metodologia de coleta (VASCONCELOS et al., 2003). Ainda não existe um consenso sobre qual é o método mais eficiente na coleta de biomassa de raízes. Em pesquisa envolvendo o estudo da biomassa radicular da cana-de-açúcar, Vasconcelos et al. (2003) testou cinco diferentes métodos de coleta: (1) método de avaliação por extração de monólitos e pesagem de massa de raízes secas; (2) monólito com medição de comprimento; (3) trado com pesagem de massa seca; (4) perfil com medição de comprimento por meio de imagens digitais e (5) perfil com contagem do número de raízes. De acordo com esse autor, todas as formas de amostragem apresentam vantagens e desvantagens que devem ser ponderadas de acordo com o objetivo da pesquisa, apontando o método de amostragem em perfil como o mais adequado, com a ressalva da possível subestimação nas camadas superficiais do solo.

Mokany et al. (2006) alertaram sobre a falta de um modelo minimamente universal para a mensuração da biomassa radicular, e apontou um déficit de 50% nas estimativas dos

estoques mundiais devido a não quantificação de raízes logo abaixo do caule, coleta apenas das camadas superficiais do solo e não amostragem de raízes grossas.

O documento mais completo que trata sobre os estoques de biomassa acima e abaixo do solo foi produzido pelo Global Forest Resources Assessment (FRA) organizado pela Food and Agriculture Organization (FAO) e atualizado pela última vez no ano de 2010. Este documento contém informações a nível nacional sobre dados de biomassa e estoque de carbono em florestas de 229 países, inclusive o Brasil, sendo os dados separados em biomassa acima e abaixo do solo incluindo dados de raízes e carbono do solo, madeira morta e serapilheira a partir de coleta de uma mistura de fontes, dados *in situ* ou derivados de imagens e inventários florestais nacionais. Apesar deste esforço na junção de dados, alguns autores afirmam que a dificuldade de padronização no fornecimento de dados, dificulta a análise global por conta de lacunas ainda existentes (CAIRNS et al., 1997; GILL; JACKSON, 2000; KINDERMANN et al., 2008; MARTÍNEZ-YRIZAR, 1995; MOKANY et al., 2006; SAMPAIO; COSTA, 2011).

As raízes constituem um importante compartimento nos estoques de biomassa mundial (CAIRNS et al., 1997; JACKSON et al., 1996; MOKANY et al., 2006). Em revisão sobre as biomassas radiculares em biomas terrestres, Mokany et al. (2006) estimaram que estes estoques chegam a representar de 29 a 55 % da biomassa florestal nos trópicos, tendo as florestas do Brasil um importante papel nos estoques mundiais, já que este é o segundo país do mundo em cobertura por florestas naturais e o primeiro em cobertura de florestas tropicais (MMA, 2013).

As florestas tropicais úmidas apresentam maior biomassa radicular encontrada que as florestas tropicais secas (Tabela 2) e muitos autores acreditam que elas são as detentoras das maiores biomassas por causa da disponibilidade hídrica e de nutrientes. Alguns desses autores ainda acreditam que a sazonalidade de regimes pluviométricos interfira neste estoque, mas concordam que essa variável ainda é carente de estudos (COOMES; GRUBB, 2000; LIMA et al., 2011; METCALFE et al., 2008; ROSADO et al., 2011; VARGAS et al., 2008; VIEIRA et al., 2011).

Apesar das florestas tropicais úmidas possuírem valores absolutos de biomassa radiculares mais elevados que as florestas tropicais secas (JACKSON et al., 1996; RESENDE et al., 2006), quando comparadas quanto as suas relações com as biomassas aéreas, as florestas tropicais secas tendem a investir mais nos sistemas radiculares, com uma relação raiz: parte aérea que pode chegar a 56% (COSTA et al., 2014).

Muitos autores, afirmam que as classes de solo possuem influência sobre a biomassa de raízes, mas poucos trabalhos são encontrados com essa distinção (KENZO et al., 2014;

LIMA et al., 2007b; SILVER et al., 2000). Tanto Lima et al. (2011) pesquisando florestas tropicais úmidas, como Costa et al. (2014), em florestas tropicais secas, não encontraram diferença significativa nas biomassas radiculares ao comparar diferentes classes de solo.

A precipitação nas florestas tropicais úmidas quando acima de 2000 mm não parece ser determinante na biomassa radicular e em alguns casos, como em solos de várzea, a umidade excessiva pode reduzir a biomassa (SOUSA NETO et al., 2011). O fato da maioria das coletas serem realizadas apenas nas camadas superficiais com a coleta somente de raízes finas tem acarretado em subestimação sistemática para esse tipo de formação vegetal (PEREIRA, 2007; WATZLAWICK et al., 2012). Jackson et al. (1996) em um levantamento global das distribuições de raiz em biomas terrestres encontraram 49 Mg ha⁻¹ em florestas tropicais sempre verdes como média mundial, valores bastante superiores aos apresentados na Tabela 2.

O aumento de altitude aparentemente apresenta correlação positiva nos estoques de biomassa nas florestas tropicais úmidas (SOUSA NETO et al., 2011) o que parece acontecer por causa do maior acúmulo de matéria orgânica no solo, que resultam em maior disponibilidade de nitrogênio.

Dentre as influências metodológicas mais limitantes na comparação dos trabalhos estão a profundidade de amostragem, a mensuração apenas de raízes finas e a falta de amostragem sob a base dos caules (CAIRNS et al., 1997; JACKSON et al., 1996; MOKANY et al., 2006). Dos valores apresentados na Tabela 2, os maiores estoques de biomassa radicular, independente da formação vegetal, foram aqueles que amostraram as raízes totais (raiz fina e raiz grossa) em profundidades de até 1,0 m de profundidade (COSTA et al., 2014; JARAMILLO et al., 2003). De todos os trabalhos apresentados na Tabela 2, o único que incluiu a biomassa sob a base do caule foi o de Drumond et al. (2008).

Tabela 2. Biomassa de raízes em florestas tropicais úmidas e secas

Local	Raízes	Tipo de solo	Precipitação	Profundidade	Diâmetro raízes	Coleta	Fonte
Florestas Tropicais Úmidas	(Mg ha ⁻¹)		(mm)	(cm)	(RF/RG)		
Rio de Janeiro, Brasil	8,4	Arenoso	1500 - 2000	0-10	total	trado	Lima et al., 2011
Manaus, Brasil	9,6	-	2650	0-40	≤2mm	trado	Powers et al., 2004
La Selva, Costa Rica	2,5	Arenoso	4000	0-40	≤2mm	trado	Powers et al., 2004
Panama	3,0	-	2600	0-40	≤2mm	trado	Powers et al., 2004
Cocha Cashu, Peru	5,4	-	2165	0-40	≤2mm	trado	Powers et al., 2004
Vera Cruz, México	22,3 ¹	<i>Andisol</i>	>4000	0-100	total	trincheira	Jaramillo et al., 2003 a
Vera Cruz, México	8,5 ²	<i>Andisol</i>	>4000	0-100	total	trincheira	Jaramillo et al., 2003 a
Vera Cruz, México	5,5 ³	<i>Andisol</i>	>4000	0-100	total	trincheira	Jaramillo et al., 2003 a
Vera Cruz, México	22,5 ⁴	<i>Andisol</i>	>4000	0-100	total	trincheira	Jaramillo et al., 2003 a
Florestas Tropicais Secas							
Paraíba, Brasil	3,6	-	-	0-30	≤5mm	cilindro	Salcedo et al., 1999
Paraíba, Brasil	6,1	-	-	0-30	≤5mm	cilindro	Salcedo et al., 1999
Paraíba, Brasil	6,3	-	-	0-30	≤5mm	cilindro	Salcedo et al., 1999
Caruaru, Brasil	6,3	-	657	0-30	≤5mm	cilindro	Salcedo et al., 1999
Caruaru, Brasil	6,3	-	657	0-30	≤5mm	cilindro	Salcedo et al., 1999
Araripina, Brasil	8 - 12	Lat	830	0-100	total	trado	Tiessen et al., 1992
Petrolina, Brasil	9,4	-	500	0-120	total	trincheira	Drumond et al., 2008
Paraíba, Brasil	23 ⁵	NL	700	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Paraíba, Brasil	5 ⁶	NL	700	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Paraíba, Brasil	2 ⁷	NL	700	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	2,82 ⁸	luv	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	3,74 ⁸	NI	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	6,68 ⁸	Nq	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	9,75 ⁸	P	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	15,7 ⁹	luv	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	9,8 ⁹	NI	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	14,1 ⁹	Nq	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Pernambuco, Brasil	12,8 ⁹	P	300-800	0-100	total	trincheira	Costa et al., 2014
Chamela, México	16-18	Lat	679	0-100	total	trincheira	Jaramillo et al., 2003 b
Yucatán, México	2-8	-	-	-	total	trincheira	Vargas et al., 2008

RF= raiz fina; RG= raiz grossa; *Coleta por trado; ** Coletado em trincheira; *** cilindro de crescimento; ¹ floresta madura; ² 8anos após o corte; ³ 20 anos após o corte; ⁴ 30 anos após o corte; ⁵ 60 anos sem perturbação; ⁶ 40 anos após o corte; ⁷ 18 anos após o corte; ⁸Vegetação aberta; ⁹ Vegetação densa; A= caatinga aberta; D= caatinga densa. Arg= Argissolos; Gle= Gleissolos; Lat= latossolo; Luv=Luvissolos; NL=Neossolo litólico; NQ= Neossolo quartzarênico; P= Planossolos

2.4. Impactos da mudança do uso da terra sobre o estoque da biomassa

O MMA (2013) define desmatamento como “operação que objetiva a supressão total da vegetação nativa de determinada área para o uso alternativo do solo”. A mudança do uso da terra é responsável pela emissão de $1,7 \text{ Gt C ano}^{-1}$ resultando no declínio dos estoques de C nos ecossistemas terrestres e colaborando para o aumento das emissões de CO_2 para a atmosfera, intensificando o efeito estufa (FREIXO et al., 2002; YU, 2004) e os impactos que antes eram localizados, passaram a ser uma preocupação ambiental global. O tipo dominante de mudança no uso da terra é a conversão de florestas em sistemas agrícolas e caracterizam-se como a segunda maior fonte de C, ficando atrás apenas das emissões por combustíveis fósseis (DON et al., 2011).

O Brasil é o quinto maior país em extensão territorial no mundo que, por ter clima tropical apresenta boas condições para cultivos e pastagens. Esses usos tornaram-se um dos pilares de sustentação a economia representando 25 % do produto interno bruto (PIB) nacional na última década (BANCO MUNDIAL, 2010). A exploração econômica deste setor resultou no avanço da fronteira agrícola e pastagens sobre o território por dezenas de anos, tornando áreas com vegetação nativa em outros tipos de uso da terra e convertendo estes espaços a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE) do país, elevando o país ao quinto lugar nas emissões (MCTI; SEPED; CGMC, 2013).

A quantificação da biomassa radicular no que se refere ao uso da terra e mudança no uso da terra e florestas (LULUCF, sigla em inglês), ainda é pouco explorada, podendo-se observar pela escassez de trabalhos (JARAMILLO et al., 2003a; JARAMILLO et al., 2003b).

Além das perdas de biomassa radicular, vários outros compartimentos são afetados pela mudança no uso da terra. Trabalhos relatam modificações nos estoques de C e N do solo, com perda da matéria orgânica e alteração na biota do solo (CARVALHO et al., 2010; CERRI et al., 2007; MELLO et al., 2014). As maiores perdas de carbono orgânico do solo são causadas pela conversão da floresta primária em terras cultiváveis (-25%), culturas perenes (-30%) e em pastagens (-12%) (DON et al., 2011). As florestas maduras possuem um importante papel nos estoques de carbono no solo e sua conversão em florestas perturbadas causa perdas nos estoques (-9%). Esses autores ressaltaram que os estoques de carbono podem ser parcialmente reversíveis com a conversão de sistemas agrícolas em pastagem (+26%) ou em terras agrícolas em pousio (+31%). As raízes possuem um papel importante nesta reversão, pois junto com a serapilheira colaboram na preservação dos estoques do carbono orgânico do solo.

3. REFERÊNCIAS

AMARANTE, C.B. et al. Estudo espectrométrico das folhas da aninga (*Montrichardia linifera*) coletadas à margem do rio Guamá no Campus da UFPA, Belém-PA. Uma contribuição ao estudo químico da Família Araceae. **Revista Científica da UFPA**, v. 7, n. 01, p. 1-19, 2009 .

ARAÚJO FILHO, J. C. et al. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco. Rio de Janeiro: Embrapa solos, Boletim de Pesquisa, n. 11, 382 p., 2000.

ARAÚJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com canade-açúcar na região nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 643-650, 1997.

BANCO MUNDIAL. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Washigton. 2014. Disponível em:<http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1276778791019/UsdTerra_Final_Portugue.pdf>. Acesso em: Nov. 2014.

BORREGO C. et al. As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. **Captar**, v. 2, n. 2, p. 1-16, 2010

BRASIL, F. DA C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M. DO R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo – Uma revisão crítica. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v. 27, n. 2, p. 14–33, 2007.

BURGUER, D. M.; DELITTI, WELINGTON B. C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 4, p. 131–136, 2008.

CAIRNS, M. A.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world ' s upland forests. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 1–11, 1997.

CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 277–289, 2010.

CERRI, C. C.; VOLKOFF, B. Carbon content in a yellow Latosol of central Amazon rain forest. **Acta Ecologica**, v. 8, n. I, p. 29–42, 1987.

CERRI, C. E. P. et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v. 64, n. February, p. 83–99, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-Açúcar, Safra 2013 / 2014 Segundo Levantamento Agosto/2013. Disponível:http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf. Acesso em: 28 jun 2013.

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.

COSTA, T. L. et al. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and Soil**, v. 378, n. 1-2, p. 113–123, 2014.

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.

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, 2 abr. 2011.

DRUMOND, M. A. et al. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semi-árido brasileiro. **Revista Árvore**, v. 32, p. 665–669, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA – EMBRAPA. Solos do Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo: suas características e classificação no novo sistema brasileiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 87, 2002 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 5.).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento Agrícola de Pernambuco. CD-Rom, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 306 p, 2006.

FERNANDES E. X.; NERY, J. T. Balanço de energia e fluxo de CO₂: análise dos dados coletados no cerrado da floresta estadual de Assis, estado de São Paulo. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, v. 35, n. 35, p. 34-45, 2013.

FONTANA, A. et al., Caracterização de Latossolos com horizontes A Húmico sob diferentes usos na Região Serrana do Rio de Janeiro. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Santa Catarina.

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.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 425–434, 2002.

GILL, R. A.; JACKSON, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v. 147, n. 1, p. 13–31, 2000.

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

HOUGHTON, R. A. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. **Global Change Biology**, v. 11, n. 6, p. 945–958, 2005.

HOUGHTON, R.A.; HALL, F.; GOETZ, S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of geophysical research**, v. 114, n. G00E03, p. 1-13, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação (2007). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change impacts, adaptation and vulnerability**. Working Group II. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.

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

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 5 e 6, p. 161–179, 2009.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. 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. et al. Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. **Ecosystems**, v. 6, n. 7, p. 609–629, 2003a.

JARAMILLO, V. J.; AHEDO-HERNNDEZ, 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, 2003b.

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. Aboveground and belowground biomass in logged-over tropical rain forests under different soil conditions in Borneo. **Journal of Forest Research**, p. 1–9, 2014.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **GEONOMOS**, v. 5, n.1, p. 17-40, 1997.

KINDERMANN, G. E. et al. A Global Forest Growing Stock , Biomass and Carbon Map Based on FAO Statistics. **Silva Fennica**, v. 42, n. 3, p. 387–396, 2008.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, p. 1–22, 2004.

LEHMANN, J.; MURAOKA, T.; ZECH, W. Root activity patterns in an Amazonian agroforest with fruit trees determined by 32 P, 33 P and 15 N applications. **Agroforestry Systems**, v. 52, p. 185–197, 2001.

LIMA, D. DE A. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 4, p. 243–274, 2007.

LIMA, J. A. DE S. et al. Avaliação da biomassa radicular fina em fragmentos florestais da Planície Costeira Fluminense. **Revista brasileira de biociências**, v. 5, p. 450–452, 2007.

LIMA, J. A. DE S. et al. Biomassa radicular fina em fragmento da mata atlântica fluminense. **Floresta**, v. 41, n. 2005, p. 27–38, 2011.

LIMA, M. L. F. C. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica em Pernambuco -Situação atual, ações e perspectivas. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, São Paulo, p. 24, 1998. (Caderno n. 12) Disponível em: <http://www.rbma.org.br/rbma/pdf/Caderno_12.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2010.

MACHADO, D. N. et al. Enriquecimento e alocação de ^{13}C em plantas de eucalypto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 857–866, 2011.

MAGALHÃES FILHO, J. R. et al. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira “valência” sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantina**, v. 67, n. 1, p. 75–82, 2008.

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.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. Disponível em:<<http://www.mct.gov.br/index.php>> Acesso em: 15 jun 2014.

MCTI; SEPED; CGMC. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2013. Disponível em: <<http://gvces.com.br/arquivos/177/EstimativasClima.pdf>> Acesso em: 15 jun 2014.

MELLO, F. F. C. et al. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. **Nature climate change**, v. 4, n. June, p. 1–5, 2014.

METCALFE, D. B. et al. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 311, n. 1-2, p. 189–199, 12 jul. 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. FlorestaS do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012. Serviço Florestal. Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2013. p. 188

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, jan. 2006.

POWERS, J. S.; Treseder, K. K.; Lerdau, M.T. Fine roots, arbuscular mycorrhizal hyphae and soil nutrients in four neotropical rain forests: patterns across large geographic distances. **New phytologist**, v. 165, p. 913–921, 2004.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, S. P. Estoque de Carbono em Cerrado Sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 527–538, 2011.

PEREIRA, R. S. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007. 152f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; DE ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 1–4, fev. 2013.

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. Subprojeto – Levantamento da Cobertura Vegetal e do Uso do solo do Bioma Caatinga.2007.

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

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.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, jun. 2009.

RIBEIRO, S. C. et al. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, ago. 2011.

RITCHNER, W. . et al. Root image analysis and interpretation. In: SMIT, A. L. . et al. (Eds.). **Root methods: a handbook**. Springer-V. Ed. Berlin Heidelberg, 2000. p. 305–341.

ROSADO, B. H. P.; MARTINS, A. C.; COLOMEU, T. C. Fine root biomass and root length density in a lowland and a montane tropical rain forest , SP , Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 1–7, 2011.

ROSCOE, R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no sequestro de carbono. **Cadernos de Ciencia & Tecnologia**, v. 20, n. 2, p. 209–223, 2003.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma caatinga: características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A.; KAGEYAMA, P. Y. (Eds.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. p. 29–48.

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.; COSTA. Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 2011, p. 1275–1291, 2011.

SANTOS, J. C. B. DOS et al. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 683–695, 2012.

SARMIENTO, G. et al. Biomass variability in tropical american lowland rainforests variabilidad de la biomasa en selvas tropicales. **Ecotropicos**, v. 18, n. 1, p. 1–20, 2005.

SHAKUN, J. D. et al. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. **Nature**, v. 484, p. 49–54, 2012.

SILVA, A. O. et al. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência sob diferentes regimes de precipitações em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 135-142, 2011.

SILVA, G. C. DA. **Relações alométricas de dez espécies e estimativas de biomassas aéreas da caatinga**. 1998. 163f. Tese (Doutorado 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. 2004, p. 185–206, 2008.

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, 21 mar. 2000.

SOUSA NETO, E. et al. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide , methane and carbon dioxide in a gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic. **Biogeosciences**, v. 8, p. 733–742, 2011.

TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. Áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. In: Araújo et al. (ed.) **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2002. p. 47-52.

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.

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, p. 109–124, 21 nov. 2008.

VASCONCELOS, A. C. M. et al. SEÇÃO IV - Fertilidade do solo e nutrição de plantas avaliação do sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 849–858, 2003.

VIEIRA, S. A et al. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. **Ecology and evolution**, v. 1, n. 3, p. 421–34, nov. 2011.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Sci. For.**, , v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

YU, C. MAN. **Sequestro florestal de carbono no brasil – dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. 2004. 293f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Curitiba, 2004.

Capítulo 1

Eliza R. G. M. de Albuquerque, Everardo V. S. B. Sampaio, Frans G.C. Pareyn e Elcida L. Araújo

BIOMASSA DE RAÍZES SOB A BASE DO CAULE E EM DIFERENTES DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO À ÁRVORE

Submetido ao periódico:

Journal of Arid Environments



**BIOMASSA DE RAÍZES SOB A BASE DO CAULE E EM DIFERENTES
DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO À ÁRVORE**

Eliza R. G. M. de Albuquerque^{a*}, Everardo V. S. B. Sampaio^b, Frans G.C. Pareyn^c e

Elcida L. Araújo^a

^a Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Av. R. D. Manoel de Medeiros, s.n. Bairro Dois Irmãos, CEP 52171-030, Recife, PE, Brasil

E-mail: raliza3@hotmail.com

E-mail: elcida@db.ufrpe.br

^b Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Prof. Luis Freire, 1000, CEP 50740-540, Recife, PE, Brasil

E-mail: everardo.sampaio@pq.cnpq.br

^c Associação Plantas do Nordeste – APNE, Rua Dr. Nina Rodrigues, 265, CEP: 50731-280, Recife, PE, Brasil

E-mail: franspar@rocketmail.com

*Corresponding author: Phone: +55 81 87985576. E-mail: raliza3@hotmail.com

Resumo

Foram estimadas biomassas aéreas, radiculares e razão raiz: parte aérea em árvores de seis áreas de Caatinga. As biomassas aéreas foram estimadas aplicando-se equação alométrica. As raízes foram coletadas em trincheiras de $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$, abertas sob a base dos caules e em áreas entre caules, separando-se em camadas de solo de 20 cm de profundidade até a profundidade de 1m ou até encontrar camada de impedimento. As raízes foram separadas em cinco classes de diâmetro: < 2 mm; 2,1 a 5 mm; 5,1 mm a 10 mm; 10,1 a 20,0 mm; e > 20,1 mm. A razão raiz: parte aérea foi determinada dividindo as biomassas de raízes pelas da parte aérea. A biomassa aérea média foi $46,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. A massa de raízes na trincheira sob a base do

caule foi dez vezes maior que nas trincheiras entre caules, mas a área das bases dos caules foi 11 vezes menor, de forma que as massas de raízes sob as bases corresponderam a 41% da biomassa total de raízes (10,6 e 25,6 Mg ha⁻¹, respectivamente). A razão raiz: parte aérea variou entre 0,42 e 0,66. A maior proporção de raízes estava na camada superficial do solo (0-20 cm) e era de raízes grossas (>20,1 mm) sob a base do caule. Considerar a biomassa de raízes sob o caule é essencial nas estimativas da biomassa radicular.

Palavras-chave: *caatinga*, distribuição vertical de raízes, semiárido, razão raiz: parte aérea

Abstract

Aboveground and root biomass and the root: shoot ratio were determined in six areas of *caatinga*. The aboveground biomass was estimated using allometric equation. The root biomass was collected from 0.5 × 0.5 m² trenches, opened under stem bases and in areas away from the stem bases, separated in 20 cm deep layers down to 1 m or until an impermeable layer was reached. Roots were separated into five diameter classes: < 2 mm; 2.1 to 5 mm; 5.1 mm to 10 mm; 10.1 to 20.0 mm; and > 20.1mm. The root: shoot ratio was determined dividing the root by the aboveground dry biomass. The total aboveground biomass was 46.5 Mg ha⁻¹. The root biomass in trenches under the stem base was ten times higher than in the other trenches but the area of the stem bases was 11 times smaller, so root biomass under the bases was 41% of the total root biomass (10.6 and 25.6 Mg ha⁻¹, respectively). The root: shoot ratio ranged between 0.42 and 0.66. The highest proportion of roots was in the upper soil layer and under the stem base and most of them were coarse roots (>20.1 mm). It is essential to consider the root biomass below the stem base to obtain a proper estimation of the root biomass.

Keywords: *caatinga*, root distribution, semi-arid, root: shoot ratio

1. Introdução

A capacidade das plantas absorverem C atmosférico e incorporá-lo em forma de biomassa dá aos ecossistemas florestais um importante papel na mitigação de CO₂. Determinações das biomassas florestais são importantes não só para estimar esta mitigação, mas também em estudos de produtividade e ciclagem de nutrientes, bem como para subsidiar políticas de manejo florestal e uso dos recursos madeireiros (Costa et al., 2002). Apesar desta importância, ainda são poucos os levantamentos regionais dos estoques de carbono em ambientes terrestres (Vieira et al., 2009) e menos ainda os que incluíram as biomassas das raízes (Mokany et al., 2006).

A dificuldade de obtenção de dados explica a carência de estimativas das biomassas subterrâneas (Almagro et al., 2010; Martínez-Yrizar, 1995; Mendoza-Ponce e Galicia, 2010; Raherison e Grouzis, 2005). Um dos problemas na determinação da biomassa de raízes é a não amostragem das raízes sob a base dos caules (Mokany et al., 2006). A subestimação da biomassa radicular por esta não amostragem pode ser importante, já que a biomassa diretamente abaixo dos caules pode representar 41% da biomassa radicular total (Mokany et al., 2006).

Dada a dificuldade de coletar raízes, as biomassas radiculares têm sido frequentemente estimadas em função das biomassas aéreas (Cairns et al., 1997; Djomo et al., 2011; Kurz et al., 1996; Mokany et al., 2006; Vogt et al., 1996; Vogt et al., 1998), de muito mais fácil estimativa, usando métodos alométricos (Cairns et al., 1997; Kenzo et al., 2010).

Em geral, determinam-se razões biomassa radicular: biomassa aérea em áreas selecionadas e usam-se estas razões para estimativas em áreas maiores a partir dos dados das biomassas aéreas. As razões têm sido determinadas em vários locais e tipos de vegetação (Cairns et al., 1997; Costa et al., 2014; Mokany et al., 2006), sendo as determinações mais escassas em florestas tropicais e especialmente raras em florestas tropicais secas. No entanto,

grande parte destas determinações não levou em conta as raízes sob as bases dos caules e pode ter subestimado as razões.

No semiárido nordestino, as estimativas de biomassas aéreas de caatinga também são poucas, oscilando de 2 a 156 Mg ha⁻¹ (Amorim et al., 2008; Costa et al., 2002; Kauffman et al., 1993; Sampaio e Silva, 2005; Silva, 1998). As estimativas de biomassas radiculares na caatinga, além de raras, centraram-se mais em raízes finas (Salcedo et al., 1999), com exceção do trabalho recente de Costa et al. (2014). Nenhuma destas estimativas amostrou as raízes sob as bases dos caules. Costa et al. (2014) relataram que a biomassa na caatinga foi maior que as estimadas anteriormente (Sampaio e Costa, 2011), apesar dos solos rasos, e que as razões raiz: parte aérea foram maiores que as da maioria das encontradas em outras florestas tropicais, atribuindo-as às altas deficiências hídricas da região da caatinga.

Em geral, as razões são negativamente correlacionadas com as precipitações pluviais e com a altura da vegetação e positivamente correlacionadas com a densidade das plantas (Mokany et al., 2006). As baixas precipitações e alturas das plantas da caatinga (Sampaio, 1995) e as altas densidades de plantas justificam sua alta razão raiz: parte aérea e a alta densidade de plantas e os solos rasos indicam que uma proporção alta da biomassa de raízes deve estar sob a base dos caules.

Considerando a importância de estimativas adequadas das biomassas radiculares e a carência de dados para a caatinga e outras florestas tropicais secas, objetivou-se determinar a proporção de raízes sob as bases dos caules e estimar as biomassas totais de raízes em diferentes áreas. As hipóteses foram: 1) a concentração da biomassa de raízes é muito maior sob os caules que nas áreas entre as plantas; 2) a proporção da biomassa de raízes sob os caules na caatinga é maior que na maioria das outras florestas tropicais; 3) considerando a biomassa sob os caules, a razão raiz: parte aérea na caatinga é uma das maiores entre as florestas no mundo e a biomassa subterrânea é muito maior que anteriormente estimada; e 4) portanto, o estoque de biomassa da caatinga tem sido subestimado.

2. Material e métodos

2.1. Áreas de estudo

O estudo foi realizado em seis locais, sendo três locais no estado de Pernambuco e três no estado do Ceará. Todos os locais de coleta encontram-se na região semiárida, com chuvas irregulares e médias pluviométricas anuais entre 480 e 700 mm, e têm fitofisionomias de caatinga arbustiva arbórea (IBGE, 2004).

Os três locais em Pernambuco foram: no município de Sertânia, povoado de Caroalina (latitude sul de $-08^{\circ} 16' 10,70434''$, longitude oeste de $-37^{\circ} 33' 09,85045''$); no município de Betânia, assentamento Brejinho ($-08^{\circ} 13' 48,25886''$ S e $-38^{\circ} 04' 51,26937''$ O); e no município de Serra Talhada, Estação Experimental Fazenda Saco da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA ($-07^{\circ} 54' 37,52203''$ S e $-38^{\circ} 17' 35,26512''$ O). Os três locais encontram-se na ecorregião denominada Depressão Sertaneja Meridional e neles predominam unidades de solo compostas por Neossolos Litólicos, Planossolos e Luvisolos (EMBRAPA, 2001).

No Ceará, os três locais estão no município de Caucaia, Fazenda Maturi e foram designados Caucaia I ($-03^{\circ} 48' 50,51530''$ S e $-38^{\circ} 41' 41,88818''$ O), II ($-03^{\circ} 48' 26,52881''$ S e $-38^{\circ} 42' 29,49363''$ O) e III ($-03^{\circ} 48' 18,25979''$ S e $-38^{\circ} 42' 39,57996''$ O). A Fazenda está localizada na bacia do Rio Ceará, na porção norte do Estado, dentro da ecorregião Depressão Sertaneja Setentrional e nela predomina a unidade de solo composta por Argissolos Amarelos e Acinzentados, Neossolos Litólicos e Planossolos Nátricos (Gomes e Alves, 2010). A área também tem chuvas irregulares e apresenta precipitações médias anuais de 500 a 700 mm.

2.2. Coleta de dados

2.2.1. Biomassa aérea e área basal

Em cada local foi feito o levantamento florestal em uma parcela de 20 m × 20 m, instalada pelo menos 50 m das bordas da floresta e evitando trilhas, afloramentos rochosos e várzeas inundáveis. Em cada parcela, foram medidas as circunferências à altura do peito

(CAP, 1,3 m do solo) de todos os indivíduos com $DAP \geq 3$ cm. A biomassa aérea de cada uma destas plantas foi estimada usando a equação alométrica desenvolvida para plantas arbustivas e arbóreas da caatinga (Sampaio e Silva 2005), usando o diâmetro à altura do peito (DAP) como variável independente: biomassa seca (kg) = $0,173 \text{ DAP (cm)}^{2,295}$ ($R^2 = 0,9184$). A área basal total na parcela foi calculada somando-se as áreas basais das plantas calculadas a partir dos seus CAP.

Em cada parcela foi escolhida uma planta que representasse uma planta “média” do local. Na escolha levaram-se em conta as espécies mais abundantes e um porte que correspondesse ao tamanho mais frequente das plantas da parcela. A planta escolhida foi cortada, acondicionada e levada ao laboratório para determinação do peso seco, secando-se em estufa de aeração forçada à 65 °C até atingir peso constante.

No povoado de Caroalina foi cortada uma árvore de Catingueira (*Poincianella pyramidalis* Tul., Fabaceae, Caesalpinoidea), no assentamento Brejinho uma Jurema de Embira (*Mimosa ophthalmocentra* Mart ex Benth., Fabaceae, Mimosoidea), no município de Serra Talhada um Marmeleiro (*Croton blanchetianus* Muell. Arg., Euphorbiaceae), em Caucaia I um Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth., Fabaceae, Mimosoidea), em Caucaia II um Marmeleiro (*C. blanchetianus*) e em Caucaia III uma Catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth., Fabaceae, Mimosoidea).

2.1.2. Biomassa de raízes

A mensuração da biomassa de raízes foi feita cavando-se sete trincheiras de 0,5 x 0,5 m² dentro de cada parcela. Em cada trincheira, as raízes foram coletadas em camadas de 20 cm de profundidade até a profundidade de 1 m ou até encontrar impedimento nos solos mais rasos.

A posição das sete trincheiras obedeceu a uma distribuição sistemática. A primeira, denominada “posição A”, foi centrada na base do caule da árvore derrubada; a segunda, “posição B”, estava a 50 cm de uma árvore viva e foi replicada em dois locais; a terceira,

“posição C”, estava a 1 m de uma árvore viva e também foi replicada em dois locais; a quarta, “posição D”, também replicada em dois locais, estava no meio de duas árvores, distantes mais de 2 m uma da outra.

O solo de cada camada foi peneirado em malha de 4 mm, separando-se as raízes manualmente. As raízes foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao laboratório para triagem por diâmetro e determinação do peso seco após secagem em estufa. Na triagem, as raízes foram separadas em cinco classes de diâmetro: classe I, <2 mm; classe II, 2,1 mm a 5 mm; classe III, 5,1 mm a 10 mm; classe IV, 10,1 mm a 20,0 mm; e classe V, >20,1 mm. As medidas de diâmetro foram feitas com um paquímetro digital marca *Lee Tools*[®]. Não foi feita a distinção entre raízes mortas e vivas, nem a diferenciação das raízes por planta ou por espécie.

2.1.3. Cálculo da biomassa de raízes por área

O cálculo da biomassa de raízes sob a base do caule foi feito seguindo os passos: 1) determinação da regressão das biomassas de raízes sob as bases dos caules das plantas cortadas em função das biomassas aéreas destas mesmas plantas, usando os seis pares de dados das seis árvores cortadas nas seis parcelas; 2) cálculo da “árvore média” de cada parcela, dividindo-se a biomassa aérea total estimada da parcela pelo número de plantas na parcela; 3) usando a equação de regressão, determinada no passo 1, foi feita a projeção da biomassa de raízes sob a base do caule da árvore média de cada parcela, em função da biomassa aérea desta árvore média, para corrigir a diferença entre a biomassa de raízes da árvore escolhida e cortada e da árvore média da parcela; 4) obtenção da biomassa radicular total sob a base dos caules de todas as plantas, em cada parcela, multiplicando-se a massa de raízes sob a base dos caules da árvore média pelo número total de plantas na parcela; 5) cálculo da área total na parcela sob a base dos caules, multiplicando-se a área da trincheira (0,25 m²) pelo número de plantas na parcela; e 6) conversão da biomassa de raízes sob a base dos caules

em Mg ha^{-1} pela relação entre a biomassa total determinada no passo 4 e as áreas sob a base dos caules determinada no passo 5, considerando-se a área da parcela (400 m^2).

O cálculo das massas de raízes das demais posições (B, C e D) seria feito de forma análoga, considerando as áreas de anéis em torno dos caules, em função das distâncias do caule da árvore cortada. Entretanto, a ausência de diferença significativa entre as biomassas de raízes nas trincheiras destas posições (Tabela 1) levou a que a biomassa média de todas estas posições fosse considerada para toda a área da parcela excluindo-se a área das bases dos caules. A biomassa total foi a soma da biomassa nas bases dos caules com a biomassa das demais posições.

Os dados das biomassas radiculares em diferentes posições na parcela, diferentes profundidades e classes de diâmetro, foram submetidos à análise de variância usando o programa *Assistat 7.6 Beta* e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

3. Resultados

As árvores cortadas tinham biomassas aéreas variando de 10 a 62 kg (Tabela 1). As biomassas aéreas nos seis locais variaram de 33,3 a 61,6 Mg ha^{-1} (Tabela 2) e as áreas basais de 8,5 a 13,3 $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$, em geral maiores áreas basais correspondendo a maiores biomassas. As densidades das plantas variaram entre 2025 e 5100 plantas ha^{-1} e não seguiram o mesmo padrão das biomassas e das áreas basais, apontando diferentes graus de desenvolvimento do estrato arbóreo.

As biomassas de raízes (Tabela 1) foram cerca de dez vezes maiores nas trincheiras sob a base dos caules ($15,7 \text{ kg m}^2$), que nas demais posições (B, C e D), correspondendo ao restante da área das parcelas ($1,65 \text{ kg m}^2$). Por outro lado, as áreas totais sob os caules de todas as árvores foram cerca de 11 vezes menores que as áreas do restante da parcela, mais do que compensando a maior biomassa por unidade de área. Assim, as biomassas sob os caules e

fora deles foram quase equivalentes e a biomassa média sob as bases do caule, apesar de corresponder a apenas 9% do total da área da parcela, correspondia a 41% da biomassa radicular total (Tabela 2). As biomassas totais de raízes variaram de 18,4 a 33,7 Mg ha⁻¹, com média de 25,6 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). Após conversão da biomassa de raízes em Mg ha⁻¹, como descrito acima, a biomassa sob a base dos caules foi de 10,6 Mg ha⁻¹ e nas outras posições foi de 15,0 Mg ha⁻¹.

A profundidade dos perfis não ultrapassou os 60 cm em nenhum local. A maior biomassa radicular estava na camada dos 20 cm superficiais ($p < 0,001$), principalmente na área em torno da base do caule (93% da biomassa total na trincheira) mas também nas outras posições (77,4%) (Figura 1). Na área fora da base dos caules, as proporções nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm foram de 17,9 e 4,7 % respectivamente.

As raízes grossas (>20,1mm) dominaram ($p < 0,001$) nos 20 cm superficiais do solo na área sob as bases dos caules, mas não houve diferenças nos diâmetros das raízes nas camadas de 20 – 40 e 40 – 60 cm (Figura 2). As raízes fora da área das bases dos caules nas camadas de 40 – 60 cm tiveram aumento nas biomassas nas classes de diâmetro < 2 mm e <2,1mm – 5mm ($p = 0,0029$). As demais camadas tiveram biomassas semelhantes em cada classe de diâmetro (Figura 3). As razões entre as biomassas raiz: parte aérea variaram entre 0,42 e 0,66 com média de 0,56.

4. Discussão

A biomassa da parte aérea, 46,5 Mg ha⁻¹, foi ligeiramente maior que a média geral para a caatinga (40 Mg ha⁻¹) estimada por Sampaio e Costa (2011), mas com um intervalo de variação menor (33,3 a 61,6 Mg ha⁻¹) que o da caatinga como um todo (2 a 156 Mg ha⁻¹). Isto pode ser explicado porque as caatingas arbóreas mais preservadas bem como as mais arbustivas mais degradadas e secas não foram incluídas no presente estudo. Disponibilidade

hídrica e distúrbio antrópico são as duas causas principais de interferência na biomassa vegetal (Becknell et al., 2012; Costa et al., 2014; Martínez-Yrizar, 1995).

A biomassa em um local de Serra Talhada, 74 Mg ha^{-1} (Kauffman et al., 1993), hoje a Reserva Natural da Pimenteira, é um exemplo da caatinga arbórea, enquanto a biomassa da região do Seridó de Rio Grande do Norte, 25 Mg ha^{-1} (Amorim et al., 2005; Costa et al., 2002) exemplo de uma caatinga arbustiva degradada. A biomassa média deste estudo foi semelhante ao levantamento prévio feito por Costa (2014), em doze áreas de Caatinga densa amostradas no Sertão pernambucano, $47,2 \text{ Mg ha}^{-1}$.

As biomassas aérea nas floretas tropicais secas de outros países, assim como as de caatinga, são muito variáveis. Em sua revisão sobre biomassas em florestas tropicais decíduas, Martínez – Yrizar (1995) citou um valor de 28 Mg ha^{-1} , em uma floresta em Udapuir, Índia, abaixo de todos os apresentados no presente trabalho, mas também um valor de 268 Mg ha^{-1} , em uma floresta no nordeste da Tailândia, bem acima do maior valor no presente trabalho. Este último é mais semelhante aos valores de biomassas de florestas tropicais úmidas, geralmente maiores que os das florestas secas (Watzlawick, 2012).

A média da biomassa radicular ($25,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi três vezes maior que o valor geral estimado para a caatinga (7 Mg ha^{-1}) por Sampaio e Costa (2011), em contraste com a comparação das biomassas aéreas, que foram semelhantes. A biomassa radicular encontrada por Costa et al. (2014) em doze caatingas densas ($19,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) também foi maior que o valor geral estimado por Sampaio e Costa (2011). Juntos, os valores destes 18 locais mostram que o valor geral prévio foi subestimado, provavelmente pela falta de dados de biomassa de raízes que incluíssem as raízes grossas e as raízes sob as bases dos caules e em camadas mais profundas. Além do estudo de Costa et al. (2014), outros estudos não consideraram as raízes sob as bases dos caules, tendo um amostrado apenas um local (Tiessen et al., 1992) e outros somente raízes finas $>2 \text{ mm}$ na camada superficial (Salcedo et al., 1999), resultando em valores inferiores ao deste estudo.

As biomassas radiculares em outras florestas, assim como as aéreas, variam bastante, dependendo do estágio de regeneração e das condições ambientais. Em sua revisão de florestas tropicais secas, Martínez – Yrizar (1995) encontrou estimativas indo de 9 a 45 Mg ha⁻¹. A comparação das biomassas de diferentes estudos é influenciada pelas diferentes metodologias de coleta das raízes e pelas estimativas das biomassas coletadas (Hendricks et al., 2006; Mokany et al., 2006). A profundidade de coleta é um dos principais fatores influenciadores e muitos estudos restringem-se a camadas superficiais até 20 ou 50 cm, embora em solos mais profundos, como os do cerrado e da Amazônia, a coleta de raízes tenha sido feita até 200 cm (Paiva et al., 2011) e 500 cm (Cerri e Volkoff, 1987), respectivamente. A profundidade limitada até a camada impenetrável da maioria dos solos da caatinga, como os deste estudo que não ultrapassaram 60 cm.

A ausência de coleta sob as bases dos caules é outro dos principais fatores da subestimação das biomassas de raízes. Muitos trabalhos coletaram apenas entre árvores (Morais et al., 2013; Pinheiro et al., 2013; Salcedo et al., 1999; Salcedo e Sampaio, 2008; Tiessen et al., 1992) e poucos deste levaram em conta as biomassas que poderiam estar sob as bases dos caules (Abdala et al., 1998; Castellanos et al., 1991; Kummerow et al., 1977).

No presente estudo, as biomassas das raízes imediatamente abaixo das bases dos caules foram dez vezes maiores que no restante das parcelas. Como os estudos que ignoram estas raízes admitem implicitamente que as biomassas sob as bases dos caules são as mesmas que fora das bases, eles estão claramente subestimando as biomassas totais. A magnitude desta subestimação depende das diferenças entre as biomassas sob e fora das bases dos caules e, também, da densidade das árvores, que determinam a área total que se encontra sob as bases dos caules. As densidades em caatinga são altas (3000 a 5000 ha⁻¹) porque as árvores e arbustos são baixos (poucos excedendo 8 m) e têm copas pequenas (Sampaio, 1995). Entretanto, por mais densa que seja a vegetação, a fração da área sob as bases dos caules em relação à área total é relativamente pequena, já que as árvores são mais distantes umas das

outras que os diâmetros de seus caules. Neste estudo, a área média sob as bases dos caules correspondeu a 9% da área total da parcela, mas foi responsável por 41% da biomassa total das raízes. É interessante anotar que o valor de 41% é exatamente igual à média geral relatada na revisão de Mokany et al. (2006), mostrando que a proporção das biomassas de raízes sob as bases dos caules nas florestas secas deve estar em torno de 40%. Diferentemente das maiores biomassas sob os caules, as biomassas entre as árvores não variaram significativamente com diferentes distâncias dos caules, mesmo nas trincheiras abertas nas áreas mais abertas. Este é um resultado semelhante a outros já reportados na literatura (Costa et al., 2014; Salcedo et al., 1999; Salcedo e Sampaio, 2008; Tiessen et al., 1992), incluindo uma amostragem da distribuição de raízes em uma área de caatinga (Pinheiro et al., 2013). Isto indica que trincheiras de amostragem fora das bases dos caules podem ser dispostas de forma randômica nas parcelas, sem a necessidade de uma localização sistemática a diferentes distâncias das árvores.

Os dados das biomassas de raízes e das áreas das trincheiras sob e fora das bases dos caules podem ser usados para calcular a subestimação das biomassas em caatinga quando as biomassas sob as bases dos caules são consideradas iguais às amostradas foras das bases. Como as biomassas fora das bases foram $1,65 \text{ kg m}^{-2}$ (Tabela 2), considerando toda a área com o mesmo valor, a biomassa total seria de $16,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. A biomassa total, incluindo a amostragem sob as bases das copas ($25,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi 55% maior, ou, invertendo o cálculo, a subestimação foi de 64%. Esta diferença não pode ser ignorada e leva à conclusão que a biomassa total das florestas tropicais secas tem sido sistematicamente subestimada, desde que as biomassas sob as bases dos caules não têm sido consideradas.

Devido à dificuldade na coleta de raízes, é comum que nas estimativas dos estoques regionais de biomassa e carbono as biomassas de raízes sejam estimadas com base nas biomassas aéreas, muito mais fáceis de serem determinadas (Cairns et al., 1997). Em geral, as razões raízes: aéreas são usadas nestas estimativas. Cairns et al., (1997), em uma revisão

ampla, incluindo florestas boreais, temperadas e tropicais, encontraram razões variando principalmente na faixa de 0,20 a 0,30, mais baixas que as do presente estudo (0,56). Em uma revisão mais recente, Mokany et al. (2006) listaram valores para florestas tropicais secas variando de 0,27 a 0,68. Em geral, menor disponibilidade hídrica leva a maior investimento na biomassa de raízes que na biomassa aérea (Jackson et al., 1996; Mokany et al., 2006). Como a disponibilidade hídrica na caatinga está no limite inferior das encontradas em florestas tropicais, espera-se que tenha um investimento relativo maior ou igual em biomassa de raízes que nas outras florestas tropicais e também, maior que o da maioria de outros tipos vegetacionais.

A maior concentração de raízes na camada superficial do solo que em profundidades maiores (85%) é corroborada pela maioria dos trabalhos, tanto em florestas secas (Costa, 2014; Leite, 1998; Salcedo et al., 1999; Tiessen et al. 1992) quanto em outras formações vegetais (Jackson et al., 1996). A principal razão para esta concentração é a maior disponibilidade de nutrientes oriundos da decomposição da serapilheira na superfície de solo (Coomes e Grubb, 2000; Sayer et al., 2006). No entanto, em solos arenosos e de baixa fertilidade da caatinga proporções maiores da massa total das raízes podem ser encontradas em camadas mais profundas (Costa, 2014).

A profundidade atingida pelas raízes foi pouca, entre 40 e 60 cm, pela restrição na profundidade efetiva do perfil de solo. Solos rasos são comuns no semiárido nordestino, embora também ocorram solos profundos (Menezes et al. 2005), assim como em outras regiões semiáridas e áridas, pela limitação na disponibilidade de água, um dos principais fatores de formação do solo (Thomas, 1994). Em um Neossolo regolítico de caatinga, Pinheiro et al. (2013) encontraram raízes só até 36 cm de profundidade, mas em Argissolos e Luvissolos mais profundos as raízes iam até 70 cm de profundidade. Costa et al. (2014) encontraram raízes até o limite de amostragem, 1 m, em um Neossolo quartzarênico da caatinga.

Proporções semelhantes de raízes em diferentes classes de diâmetro sob as bases dos caules é um resultado que difere do encontrado por Costa et al. (2014). Estes autores reportaram 55% de raízes finas (<5 mm) em caatinga aberta, enquanto em caatinga densa correspondiam a cerca da metade (47%) podendo alcançar 65%, caso das amostras dos Neossolos quartzarênicos (64%) e dos Planossolos (66%).

A predominância de raízes grossas sob as bases dos caules deve-se à influência das raízes pivotantes. Entretanto, a falta de estudos incluindo raízes grossas dificulta maiores comparações. Esta falta de estudos está relacionada aos métodos de amostragem com retirada de monólitos ou com uso de trados e o fato de não serem incluídas as raízes sob os caules é um fator importante para a quantificação das raízes com mais de 5 mm.

Considerando as raízes sob as bases dos caules e a alta razão raiz: parte aérea encontrada neste trabalho, corroborada pela encontrada por Costa et al. (2014), as estimativas prévias das biomassas de raízes da caatinga têm de ser revistas. Na estimativa de Sampaio e Costa (2011) a razão foi equivalente a 0,175 e na estimativa nacional do estoque de biomassa de raízes, a razão em caatinga foi tomada como 0,25 (FRA, 2010). Mantendo a estimativa conservadora prévia da biomassa aérea de caatinga em 40 Mg ha⁻¹ (Sampaio e Costa, 2011), a biomassa de raízes deveria ser aumentada de 7 Mg ha⁻¹ para 22,4 Mg ha⁻¹, aumentando o total de biomassa em 32%. A biomassa atualizada deveria ser considerada nos cálculos do potencial de sequestro de carbono e do estoque da biomassa total da vegetação de caatinga. Este estoque, aceitando a estimativa de 400 km² de cobertura de caatinga (Sampaio e Costa, 2011) deveria ser atualizado de 1,88 Tg para 2,50 Tg (ou 1,25 Tg de C). Apesar de ser um aumento pequeno em relação ao estoque mundial de 241 Pg de C (Mokany et al., 2006), indica uma tendência de estimativas cada vez mais altas que as anteriores (Saugier et al. 2001) à medida que novos valores são produzidos para florestas tropicais secas. É provável que outras florestas tropicais secas, ainda sub-representadas em revisões globais (Cairns et al., 1997; Mokany et al., 2006) tenham razões de biomassas de raízes em relação às aéreas

maiores que anteriormente admitido, resultando em novos aumentos das estimativas dos estoques mundiais.

5. Conclusão

A concentração de raízes é dez vezes maior sob as bases dos caules que entre as árvores e a biomassa sob os caules representa 41% da biomassa total de raízes na área. Apesar desta alta concentração e da alta densidade de plantas, a proporção de 41% é semelhante à média de outras florestas no mundo (Mokany et al. 2006). A razão das biomassas de raízes e aérea na caatinga (0,56) é maior ou semelhante as razões encontradas em outras florestas tropicais secas e maior que o da maioria de outros tipos vegetacionais, indicando um maior investimento relativo na biomassa de raízes. Considerando esta razão, a biomassa de caatinga é quase 40% maior que as estimativas prévias. Este aumento deve ser levado em conta em avaliações de sua capacidade de sequestro de carbono e em estimativas do estoque de biomassa, que deve ser atualizado de 1,88 Tg para 2,50 Tg.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de doutorado da primeira autora e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela bolsa de pesquisa do terceiro autor. Também agradecem ao CNPq e à Fundação de Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo suporte financeiro e logístico, principalmente através dos projetos “Estoques de carbono na vegetação e no solo em áreas com diferentes usos da terra em Pernambuco (CNPq Universal 14/2012 Processo 473449/2012-9)” e “Impactos de Mudanças Climáticas Sobre a Cobertura e Uso da Terra em Pernambuco: Geração e Disponibilização de Informações para o Subsídio a Políticas Públicas (Processo APQ-0077-5.01/09, edital 05-2010)”.

7. Referências

- Abdala, G.C., Caldas, L.S., Haridasan, M., Eiten, G., 1998. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, 2, 11–23.
- Almagro, M., López, J., Boix-Fayos, C., Albaladejo, J., Martínez-Mena, M., 2010. Belowground carbon allocation patterns in a dry Mediterranean ecosystem: A comparison of two models. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 1549–1557. doi:10.1016/j.soilbio.2010.05.031
- Amorim, I.L., Sampaio, E.V.S.B., Araújo, E.L., 2005. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19, 615–623. doi:10.1590/S0102-33062005000300023
- Becknell, J.M., Kissing Kucek, L., Powers, J.S., 2012. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. *Forest Ecology and Management*, 276, 88–95. doi:10.1016/j.foreco.2012.03.033
- Cairns, M.A., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1–11.
- Castellanos, J., Maass, M., Kummerow, J., 1991. Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. *Plant and Soil*, 131, 225–228.
- Cerri, C.C., Volkoff, B., 1987. Carbon content in a yellow Latosol of central Amazon rain forest. *Acta Ecologica*, 8, 29–42.
- Coomes, D.A., Grubb, P.J., 2000. Impacts of root competition in forests and woodlands: A theoretical framework and review of experiments. *Ecological Monographs*, 70, 171–207.
- Costa, T.C.C., Accioly, L.J.O., Oliveira, M.A.J., Burgos, N., Silva, F.H.B.B., 2002. Phytomass mapping of the “seridó caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. *Scientia Agricola*, 59, 707–715.
- Costa, T.L., Sampaio, E.V.S.B., Sales, M.F., Accioly, L.J.O., Althoff, T.D., Pareyn, F.G.C., Albuquerque, E.R.G.M., Menezes, R.S.C., 2014. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. *Plant and Soil*, 314, 113–123. doi:10.1007/s11104-013-2009-1
- Djomo, A.N., Knohl, A., Gravenhorst, G., 2011. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 261, 1448–1459. doi:10.1016/j.foreco.2011.01.031
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 2001. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. ZAPE. Retrieved June 13, 2013, from <http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/index.php?link=publicacao>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Global Forest Resources Assessment., 2010. FAO - Technical Report Series, 111).

- Gomes, E.C., Alves, E.S., 2010. Influência do manejo florestal sobre as características físicas e químicas do solo. In M.A. Gariglio; P.Y. Kageyama (Eds.), *Manejo florestal sustentável e biodiversidade* (2nd ed., pp. 287–291). Brasília/DF: Serviço Florestal Brasileiro.
- Hendricks, J.J., Hendrick, R.L., Wilson, C.A., Mitchell, R.J., Pecot, S.D., Guo, D., 2006. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. *Journal of Ecology*, 94, 40–57. doi:10.1111/j.1365-2745.2005.01067.x
- IBGE., 2004. Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação. Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação. Retrieved June 20, 2013, from <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>
- Jackson, R.B., Canadell, J.G., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E., Schulze, E.D., 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108, 389–411.
- Leite, L. F. C., 1998. Biomassa de raízes finas e fertilidade do solo sob vegetação de caatinga em Caruaru – PE. 1998. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.
- Kauffman, J.B., Sanford, R.L., Cummings, D.L., Salcedo, I.H., Sampaio, V.S.B., 1993. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*, 74, 140–151.
- Kenzo, T., Ichie, T., Hattori, D., Kendawang, J.J., Sakurai, K., Ninomiya, I., 2010. Changes in above and belowground biomass in early successional tropical secondary forests after shifting cultivation in Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 260, 875–882. doi:10.1016/j.foreco.2010.06.006
- Kummerow, J., Krause, D., Jow, W., Diego, S., 1977. Root systems of Chaparral shrubs. *Oecologia*, 29, 163–177.
- Kurz, W.A., Beukema, S.J., Apps, M.J., 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 1973–1979.
- Martínez-Yrizar, A., 1995. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forest. In H. B. Stephen, H. A. Mooney, E. Medina (Eds.), *Seasonally dry tropical forests*. New York: Cambridge University. p. 326-345.
- Mendoza-Ponce, A., Galicia, L., 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry*, 83, 497–506. doi:10.1093/forestry/cpq032
- Menezes, R. S. C.; Garrido, M. S.; Marin, A. M. P., 2005. Fertilidade dos solos no semi-árido. XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais...Recife
- Mokany, K., Raison, R.J., Prokushkin, A.S., 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12, 84–96. doi:10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x

- Morais, V.A., Scolforo, J.R.S., Silva, C.A., Mello, J.M., Gomide, L.R., Oliveira, A.D., 2013. Carbon and biomass stocks in a fragment of cerrado in Minas Gerais State, Brazil. *Cerne*, 19, 237–245.
- Paiva, A.O., Rezende, A.V., Pereira, S.P., 2011. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. *Revista Árvore*, 35, 527–538.
- Pinheiro, E.A.R., Costa, C.A.G., Araújo, J.C., 2013. Effective root depth of the caatinga biome. *Journal of Arid Environments*, 89, 1–4. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.10.003
- Raherison, S.M., Grouzis, M., 2005. Plant biomass, nutrient concentration and nutrient storage in a tropical dry forest in the south–west of Madagascar. *Plant Ecology*, 180, 33–45. doi:10.1007/s11258-005-8063-x
- Salcedo, I.H., Sampaio, E.V.S.B., 2008. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In G.A. Santos, L.S. Silva, L.P. Canellas, F.A.O. Camargo (Eds.), *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Metrópole. p. 419-441.
- Salcedo, I., Leite, L., Vasconcelos, E., Sampaio, E.V.S.B., 1999. Produção de raízes finas sob vegetação de caatinga. In I. Salcedo, L. Leite, E. Vasconcelos, F. Souza, E. Sampaio (Eds.), *Workshop Sobre Sistema Radicular: Metodologias e Estudo de Casos*. Aracajú-SE: EMBRAPA, Tabuleiros Costeiros. p. 139-152.
- Sampaio, E.V.S.B., 1995. Overview of the Brazilian caatinga. In: Stephen, H.B.; Mooney, H.A.; Medina, E. (Eds.). *Seasonally dry tropical forests*. Ed. Cambridge University. p. 35-63.
- Sampaio, E.V.S.B.; Costa, T.L., 2011. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.4, n.6, p.1275-1291.
- Sampaio, E.V.S.B., Silva, G.C., 2005. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants 1. *Acta Botanica Brasilica*, 19, 935–943.
- Sayer, E.J., Tanner, E.V.J., Cheesman, A.W., 2006. Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. *Plant and Soil*, 281, 5–13. doi:10.1007/s11104-005-6334-x
- Saugier B., Roy J., Mooney H. A., 2001. Estimations of global terrestrial productivity: converging toward a single number? In: Roy J, Saugier B, Mooney HA (Eds.). *Terrestrial Global Productivity*. San Diego, CA: Academic Pres, San Diego. p. 543-557.
- Silva, G.C. Relações alométricas de dez espécies vegetais e estimativas de biomassas aéreas da caatinga. 1998. 163f. Tese (Doutorado em Botânica), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.
- Thomas, M.F., 1994. *Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes*. New York. p. 460.

- Tiessen, H., Salcedo, I.H., Sampaio, E.V.S.B., 1992. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38, 139–151.
- Vieira, G., Roberto, C., Lucia, M., Klüppel, W., Soares, S., 2009. Carbon fractions in plant species of caatinga and cerrado. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, 7, 145–155.
- Vogt, K.A., Vogt, D.J., Bloomfield, J., 1998. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil*, 200, 71–89.
- Vogt, K.A., Vogt, D.J., Palmiotto, P.A., Boon, P., O'Hara, J., Asbjornsen, H., 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil*, 187, 159–219. doi:10.1007/BF00017088
- Watzlawick, L.F., Caldeira, M.V.W., Viera, M., 2012. Estoque de biomassa e carbono na floresta ombrófila mista montana Paraná. *Scientia Forestalis*, 40, 353–362.

Tabela 1. Espécies das quais foi cortada uma árvore para determinação de biomassa aérea (BA) e biomassas de raízes sob as bases dos caules, posição A (BRPA) e a 50 cm dos caules, posição B (BRPB), entre dois caules, posição C (BRPC) e mais que 1 m dos caules em áreas de caatinga, posição D (BRPD).

Área	Espécies	BA	BRPA	BRP		
				B	C	D
		kg planta ⁻¹	----- kg m ⁻² -----			
Sertânia	<i>Poincianella pyramidalis</i>	62,5	20,3	0,85	1,54	1,29
Betânia	<i>Mimosa ophthalmocentra</i>	38,5	15,4	1,18	4,41	1,45
S.Talhada	<i>Croton blanchetianus</i>	10,1	11,2	0,56	2,18	2,47
Caucaia I	<i>Mimosa caesalpiniifolia</i>	16,4	12,1	0,46	2,35	1,16
Caucaia II	<i>C. blanchetianus</i>	41,1	14,9	0,44	2,35	1,51
Caucaia III	<i>Piptadenia moniliformis</i>	37,1	20,2	1,09	2,68	1,80
Média		34,3	15,7a	0,76b	2,58b	1,61b

Médias seguidas por letra igual não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Biomassa aérea (BA), área basal à altura do peito (ABP), densidade de plantas (DP), biomassa de raízes sob as bases dos caules (BRSBC), biomassa de raízes em outras posições (BROP), razão de BRSBC em relação à biomassa total (BR) e razão das biomassas de raízes e aéreas (R:A), em seis áreas de caatinga.

Local	BA	ABP	DP	BRSBC	BROP	BRSBC / BR Total	R/A
	Mg ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹	planta ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%	%
Sertânia	43,69	10,05	2025	6,82	11,64	37	42
Betânia	61,57	13,26	4100	12,64	21,08	37	55
Serra Talhada	41,83	9,52	2350	7,52	16,35	32	57
Caucaia I	50,96	12,48	5100	12,66	11,80	52	48
Caucaia II	33,29	8,51	4300	9,47	12,64	43	66
Caucaia III	47,48	12,11	3300	14,46	16,22	47	65
Média	46,47	10,99	3529,17	10,60	14,96	41	56

Figura 1. Proporções médias das biomassas totais de raízes em diferentes profundidades do solo, sob as bases dos caules (A) e em outras posições (B), em seis áreas de caatinga.

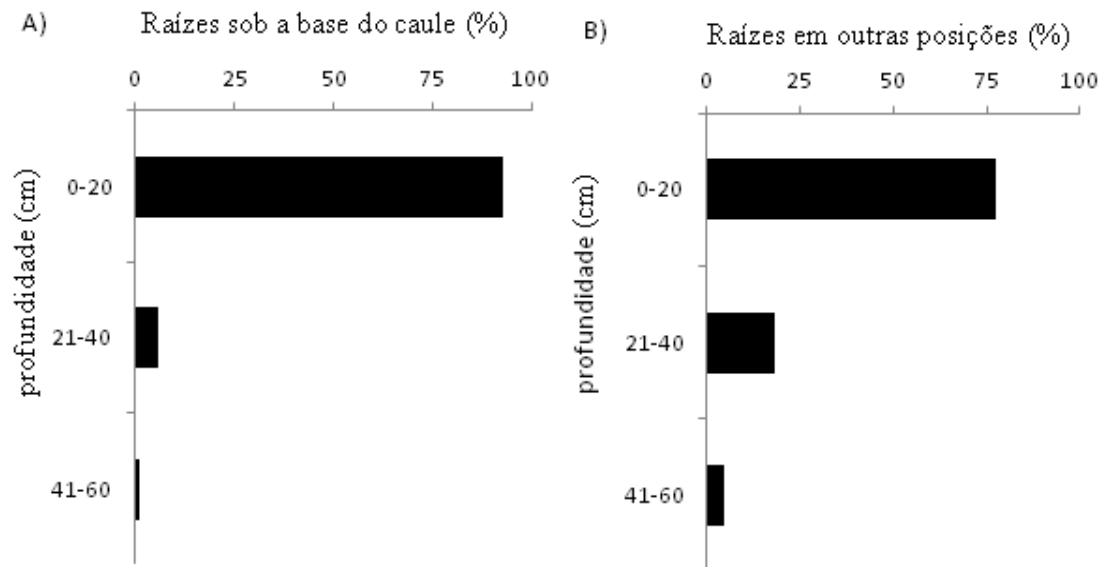


Figura 2. Proporções médias das biomassas de raízes em diferentes classes de diâmetro em relação à biomassa total de raízes, em cada uma de três profundidades do solo, em trincheiras abertas sob as bases dos caules, em seis áreas de caatinga.

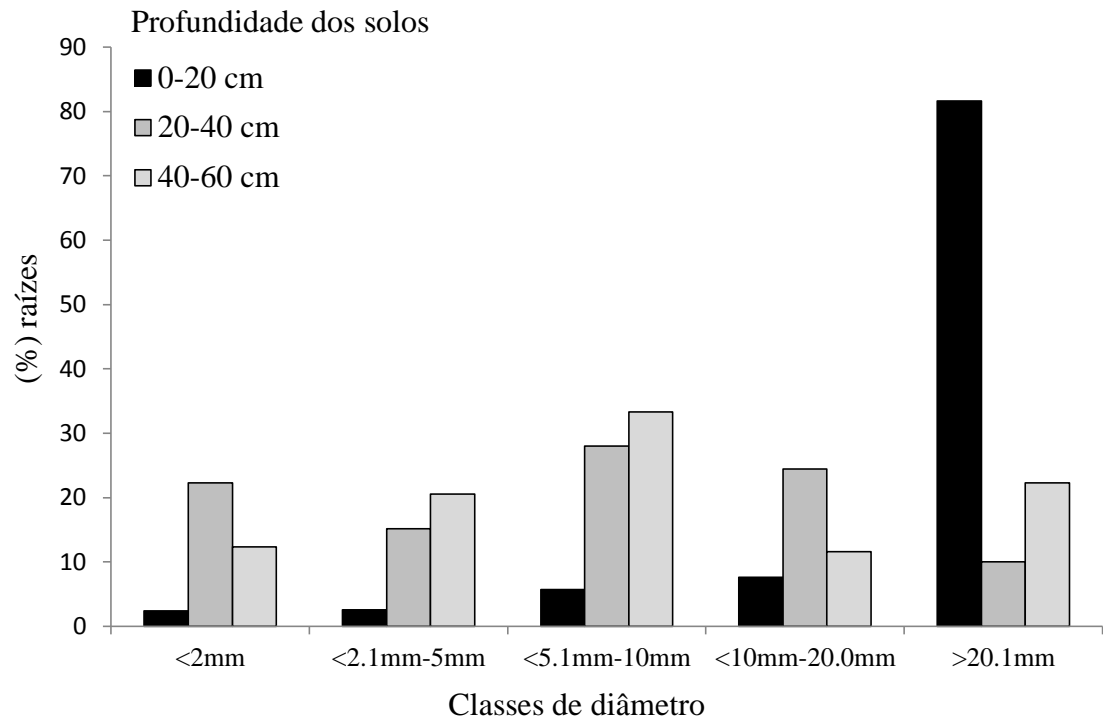
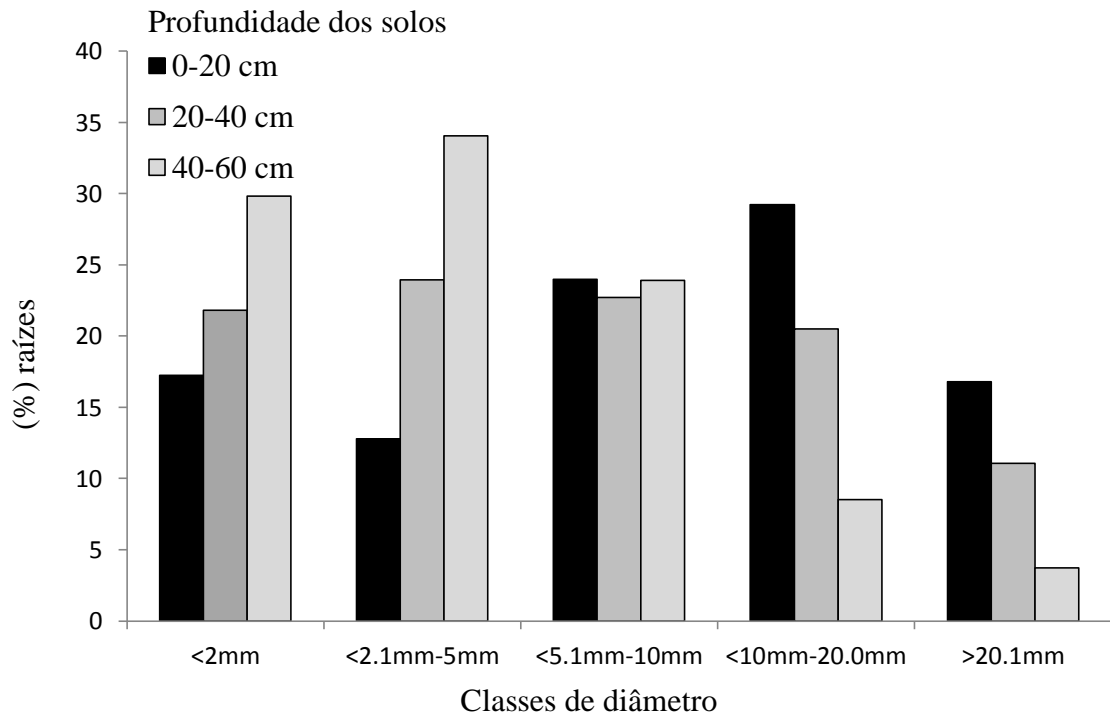


Figura 3. Proporções médias das biomassas de raízes em diferentes classes de diâmetro em relação à biomassa total de raízes, em cada uma de três profundidades do solo, em trincheiras abertas fora das bases dos caules, em seis áreas de caatinga.



Capítulo 2

Eliza R. G. M. de Albuquerque, Everardo V. S. B. Sampaio, Elcida de L. Araújo, Frans G.C. Pareyn, Kennedy N. Jesus, Patryk Melo, Mônica Santana, Diego M. N., Tânia L. Costa

BIOMASSA DE RAÍZES SOB DIFERENTES USOS DO SOLO

A ser enviado ao periódico:

Agriculture, ecosystems and environments



BIOMASSA DE RAÍZES SOB DIFERENTES USOS DA TERRA

Eliza R. G. M. de Albuquerque^{1*}, Everardo V. S. B. Sampaio², Elcida de L.Araújo¹, Frans
G.C. Pareyn⁴, Kennedy N. Jesus², Patryk Melo², Mônica S. Santana², Diego M. do
Nascimento², Tânia L. Costa¹

1-Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Biologia, Universidade
Federal Rural de Pernambuco, CEP: 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil; e-
mail:raliza3@hotmail.com, Fone: +55 81 87985576/ tanieluciacosta@gmail.com/
elcida@db.ufrpe.br

2-Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, CEP: 9
50740-540, Recife, Pernambuco, Brasil; e-mail: esampaio@ufpe.br/
kennedy@hotmail.com/ patrykmelo@hotmail.com/
monica_ssantana@hotmail.com/diegoandaluz@gmail.com

4-Associação Plantas do Nordeste, CEP: 50731-280, Recife, Pernambuco, Brasil; e-
mail:franspar@rocketmail.com

*Autor para correspondência

Resumo

Os ecossistemas terrestres, em especial as florestas, vêm ganhando destaque no contexto das mudanças climáticas pela capacidade das plantas de sequestrarem o C atmosférico e acumula-lo em forma de biomassa. Os estoques de biomassas nas raízes de vegetação nativa densa e aberta, cultivos e pastagens foram quantificados nas regiões úmida, subúmida e semiárida e nas principais classes de solo em Pernambuco. As raízes foram coletadas em 180 trincheiras de 0,7 × 0,7 m, em camadas até 100 cm. Na região úmida, as biomassas na vegetação densa (32,5 Mg ha⁻¹) e na aberta (24,0 Mg ha⁻¹) foram significativamente maiores

26 que nas áreas com cana-de-açúcar ($9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) e pastagem ($2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). Na região
27 subúmida a biomassa radicular da vegetação densa ($20,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi significativamente
28 maior que os outros usos da terra chegando a ser aproximadamente nove vezes superior que a
29 pastagem ($2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$). Na região semiárida, tanto em solos no Sertão leste como solos no
30 Sertão oeste, as maiores biomassas radiculares foram na vegetação densa. As menores
31 biomassas foram nas áreas de agricultura ($1,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e pastagem ($3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), no sertão
32 leste, assim como a agricultura ($0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e pastagem ($2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) no Sertão oeste. Entre
33 as regiões, a úmida, teve a maior biomassa de raízes tanto na vegetação densa ($32,5 \text{ Mg ha}^{-1}$)
34 e aberta ($24,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) como na agricultura ($9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), com exceção apenas nas áreas de
35 pastagem que não apresentaram diferença entre as biomassas radiculares. Independente das
36 regiões, a maior parte da biomassa de raízes estavam na camada de 0-40 cm e eram compostas
37 de raízes grossas, apenas nas áreas de pastagem houve predomínio de raízes finas em relação
38 as raízes grossas. As maiores biomassas radiculares nas áreas de vegetação nativa que nas de
39 pastagem e agricultura mostram que a substituição da vegetação nativa leva à perda no
40 estoque de biomassa.

41 Palavras-chave: cultivos, distribuição vertical das raízes, ecossistemas, pastagem

42 **Abstract**

43 Terrestrial ecosystems, particularly forests, become increasingly more important in the
44 context of climate change by the ability of plants to kidnap atmospheric CO_2 and accumulates
45 it in the form of biomass. The biomass stocks in the roots of dense and open native
46 vegetation, crops and pastures were quantify in humid regions, sub-humid and semi-arid and
47 the main soil classes in Pernambuco. The roots were collect from 180 trenches of $0.7 \times 0.7 \text{ m}$
48 in layers up to 100 cm. In the humid region, the biomass in dense vegetation (32.5 Mg ha^{-1})
49 and open (24.0 Mg ha^{-1}) were significantly higher than in areas with cane sugar (9.8 Mg ha^{-1})
50 and pasture (2.6 Mg ha^{-1}). In sub-humid region to root biomass of dense vegetation (20.5 Mg

51 ha⁻¹) was significantly higher than other land uses getting to be about nine times higher than
52 the pasture (2.3 Mg ha⁻¹). In the semi-arid region, both in soils in eastern Sertão as soils in the
53 west Sertão, larger root biomass were in dense vegetation. The lowest biomass were in
54 agriculture (1.2 Mg ha⁻¹) and pasture (3.5 Mg ha⁻¹) in the east wilderness, and agriculture (0.5
55 Mg ha⁻¹) and pasture (2.2 Mg ha⁻¹) in the west Sertão. Among the regions, the wet, had the
56 highest root biomass both in dense vegetation (32.5 Mg ha⁻¹) and open (24.0 Mg ha⁻¹) and
57 agriculture (9.8 Mg ha⁻¹), except only in the pastures showed no difference between the root
58 biomass. Regardless of the regions, the majority of the root biomass was in the layer 0-40 cm
59 thick and were composed of roots only in the pastures predominated fine roots compared to
60 thicker roots. The higher root biomass in the areas of vegetation that in native grassland and
61 agricultural show that replacement of the native leads to loss in biomass stock.

62 Keywords - crops, vertical distribution of roots, ecosystems, pasture

63 **1. Introdução**

64 As florestas desempenham importante papel no sequestro do excesso do CO₂ atmosférico,
65 advindo das mudanças no uso da terra e o uso de combustíveis fósseis. O excesso de CO₂
66 atmosférico tem provocado mudanças climáticas e aquecimento global (IPCC, 2007),
67 interferindo na dinâmica de funcionamento dos ecossistemas. As plantas funcionam como um
68 “filtro” acumulando o excesso de carbono na forma de biomassa.

69 O maior reservatório de carbono nos ecossistemas terrestres é o solo, enquanto que os
70 vegetais abrigam 22% deste estoque (Lal, 2004). Apesar de representarem um menor estoque,
71 as plantas são a principal forma de entrada do C no solo, via serapilheira e raízes, e, como a
72 serapilheira pode ser rapidamente mineralizada (Bicalho, 2010), em alguns casos as raízes são
73 a maior fonte de entrada de matéria orgânica para o solo (Figueiredo et al., 2008).

74 Historicamente, os inventários florestais no Brasil eram majoritariamente direcionados
75 para estimativas dos estoques de biomassa para estoques madeireiros comerciais (Higuchi et
76 al., 2004) e, portanto, não consideravam raízes, folhas e ramos finos (Zákia et al., 1992). Com

77 isto deixavam de contabilizar até mais de 30% da biomassa vegetal (Higuchi et al., 1998;
78 Silva; Sampaio, 2008). Novas estimativas das biomassas totais têm surgido nos últimos anos
79 em muitas regiões do mundo (Cifuentes et al., 2014; Johansen; Tømmervik, 2014), mas ainda
80 são escassas na região nordeste do Brasil (Costa et al., 2014; Sampaio; Costa, 2011),
81 principalmente em relação à inclusão de dados das biomassas de raízes (Salcedo et al., 1999).

82 A dificuldade na obtenção de estimativas de estoques de biomassa deve-se à
83 variabilidade espacial em resposta as diferenças de uso e manejo da terra, estádios
84 sucessionais da vegetação nativa, clima e solo (Coomes; Grubb, 2000; Costa et al., 2014;
85 Jaramillo et al., 2003; Vargas et al., 2008). Em adição, existem ainda dificuldades
86 metodológicas na determinação das biomassas, principalmente as das raízes (Martínez-Yrizar,
87 1995; Mokany et al., 2006; Vasconcelos et al., 2003). Das estimativas que levam em conta as
88 raízes, grande parte inclui apenas raízes finas e/ou fica restrita à camada mais superficial do
89 solo (Ceconi et al., 2007; Pinheiro et al., 2013; Ribeiro et al., 2011; Salcedo et al., 1999).

90 O desmatamento, seguido ou não de queima, cultivo, pousio e eventualmente novo
91 desmatamento, implantação de pastagens, e suspensão de uso, com regeneração natural da
92 vegetação, tornam a dinâmica de uso e cobertura da terra complexa (Costa et al., 2014;
93 Jaramillo et al., 2003; Sampaio; Costa, 2011). Apesar da importância no balanço de C e na
94 quantificação dos impactos antrópicos, pouco se conhece desta dinâmica do ponto de vista
95 quantitativo (Gill; Jackson, 2000; Jackson et al., 1996).

96 Considerando a importância e a carência de estimativas dos estoques de biomassa
97 vegetal no Nordeste do Brasil, e como ela varia com os usos da terra, as condições ambientais
98 e os tipos de solo, esse trabalho objetivou quantificar os estoques de biomassa nas raízes de
99 vegetação nativa, cultivos e pastagens, nas principais regiões climáticas e classes de solo de
100 Pernambuco, no Nordeste do Brasil, tendo por hipóteses: 1) a biomassa radicular é maior e as
101 raízes alcançam maior profundidade na região mais úmida; 2) a biomassa radicular é maior na

102 vegetação nativa que em cultivos e pastagens; e 3) a biomassa radicular é maior em solos
103 mais férteis.

104

105 **2. Material e métodos**

106 2.1. Caracterização das áreas de estudo

107 A pesquisa tomou como base o território do estado de Pernambuco, no Nordeste do
108 Brasil, que se estende entre as latitudes 07° 15' 54" S e 09° 28' 18" S e as longitudes 34° 48'
109 33" W e 41° 19' 54" O (IBGE, 2014). Foram determinados 180 pontos amostrais (Figura 1),
110 distribuídos em função das três grandes regiões fisiográficas do Estado (Zona da Mata, úmida;
111 Agreste, subúmido e Sertão, semiárido), tendo o Sertão sido dividido em porção leste e
112 porção oeste, perfazendo ao todo, quatro regiões de coleta.

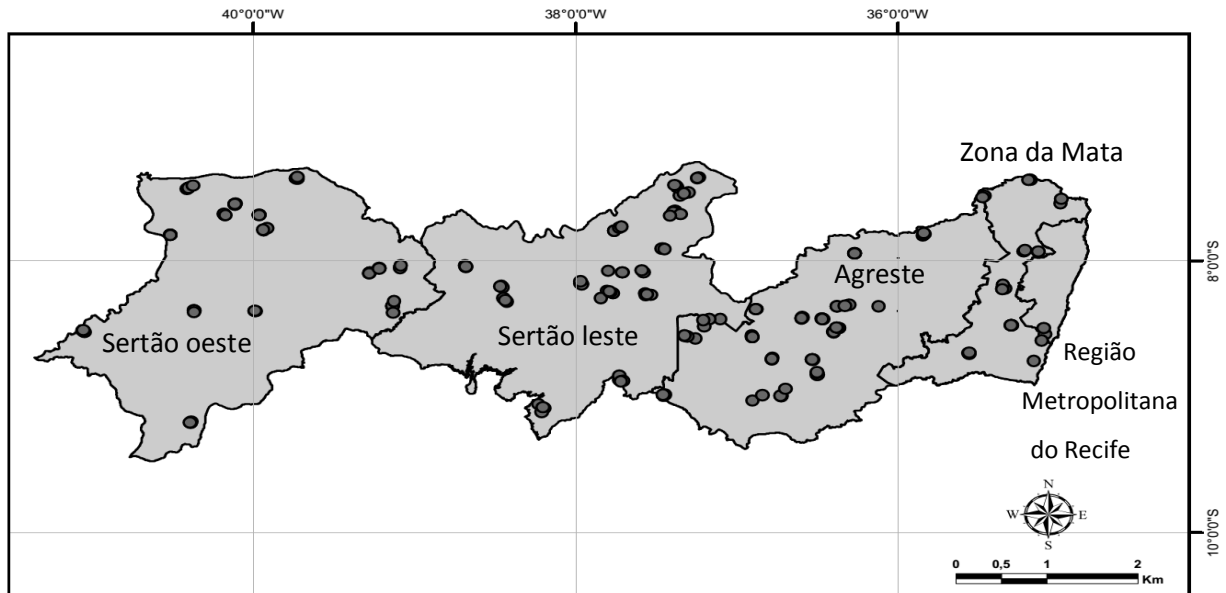
113 A Zona da mata é uma faixa costeira com 8738 km², altitudes menores que 200 m e
114 clima tropical úmido, com temperaturas médias anuais superiores a 24°C e chuvas
115 concentradas de março a agosto, mas ocorrendo em todos os meses (EMBRAPA, 2014). A
116 vegetação original era de floresta tropical úmida, localmente chamada de Mata Atlântica, que
117 foi substituída em mais de 95% por cultivos, principalmente cana-de-açúcar. O Agreste tem
118 24.396 km² (IBGE, 2014), ocupa boa parte do maciço da Borborema (EMBRAPA, 1998),
119 com altitudes de 400 m a pouco mais de 1000 m e temperaturas médias anuais variando de 20
120 a 26° C, em função da altitude, e chuvas concentradas de março a julho e de baixa ocorrência
121 entre agosto e janeiro. A vegetação predominante era de floresta tropical seca, chamada de
122 caatinga arbórea, em grande parte substituída por pastagens e áreas de cultivos temporários,
123 principalmente milho e feijão (Sampaio, 2010). O Sertão abrange 62.726 km² (IBGE, 2014),
124 com altitudes em geral entre 250 e 400m, temperaturas médias de 25 a 28° C e precipitações
125 pluviométricas médias anuais de 400 a 800 mm, mal distribuídas e concentradas em três
126 meses do ano. A vegetação predominante é de caatingas arbustivo-arbóreas, em diferentes

127 etapas de regeneração, pelo seu uso na agricultura itinerante, na retirada de lenha e como
128 pastagem nativa.

129 Em cada uma destas quatro regiões foram alocados pontos em função de quatro tipos
130 de uso da terra (vegetação densa e aberta, cultivo agrícola e pastagem) e das principais classes
131 de solo, de forma que estas abrangessem mais de 70% da área de cada região. As classes de
132 solos foram identificadas a partir do Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco
133 (ZAPE) (EMBRAPA, 1998) e, por diferirem nas porções leste e oeste do Sertão, serviram de
134 base para a divisão feita. Na porção leste, predominam solos de formação geológica cristalina,
135 enquanto na porção oeste predominam solos de formação geológica sedimentar. Em cada
136 região, para cada combinação de cobertura e solo foram escolhidos três pontos amostrais,
137 tomados como repetições (Figura 1). Na região úmida foram alocados 24 pontos, em dois
138 tipos de solo (Argissolo, 51% da área; Latossolo, 19%); na subúmida foram 48 pontos, em
139 quatro tipos de solos (Neossolo litólico, 26%; Planossolo, 24%; Argissolo, 21%; Neossolo
140 regolítico, 12%); na região semiárida leste foram 60 pontos, em cinco tipos de solos
141 (Luvissolo, 22%; Planossolo, 21%; Neossolo litólico, 19%; Neossolo quartzarênico, 19%; e
142 Argissolo, 6%) e na semiárida oeste foram 48 pontos, em quatro tipos de solos (Argissolo,
143 30%; Neossolo litólico, 26%; Latossolo, 22%; e Planossolo, 7%).

144 Para a localização das áreas de cobertura vegetal e uso da terra foram utilizados dados
145 do Projeto PROBIO (PROBIO, 2007), com complementação de imagens mais atuais dos
146 sensores LIS3 do satélite IRS P6, para a época chuvosa, e do sensor ccd1xs do satélite
147 CBERS 2B, para a época seca, de 2009 a 2012. A definição foi realizada a partir da
148 interpretação visual das imagens de satélite envolvendo elementos de: tom, cor, tamanho
149 (comprimento, largura, perímetro e área), forma, textura, padrão, altura e profundidade, sítio,
150 situação e associação (EMBRAPA, Dados não publicados), acompanhada por validação de
151 campo.

152 Figura 1. Distribuição dos pontos amostrais.



153 Fonte: Adaptado a partir da base cartográfica do IBGE, 2014.

154

155 Para localização das classes de solo foi usado o mapeamento do Zoneamento
 156 Agroecológico de Pernambuco (EMBRAPA, 1998), na escala de 1:100.000. As imagens de
 157 uso da terra e o mapa de solo foram sobrepostos, definindo-se os pontos a serem amostrados.
 158 Com os mapas e as coordenadas, os pontos foram localizados no campo, verificando-se se
 159 correspondiam à combinação prevista. Caso não correspondessem, um novo ponto era
 160 procurado. Caso correspondessem, era feita a amostragem das biomassas radiculares.

161 2.2. Amostragens da biomassa radicular

162 A biomassa de raízes foi determinada com a escavação de uma trincheira de $0,7 \times 0,7$
 163 m, no centro da parcela, com profundidade de 1 m ou até a camada de impedimento. O solo e
 164 as raízes foram separados por camadas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60,
 165 60-80, 80-100 cm. O solo de cada camada foi peneirado em malha de 4 mm e todas as raízes e
 166 outras estruturas vegetais subterrâneas que ficaram na peneira foram coletadas por catação
 167 manual, em campo. As raízes foram levadas ao laboratório e separadas em duas classes de
 168 diâmetro (raízes finas ≤ 5 mm e raízes grossas > 5 mm). Nas áreas com cana-de-açúcar, os
 169 colmos subterrâneos foram somados à biomassa de raízes grossas. As raízes foram secas em

170 estufa a 65°C e pesadas. Não foi feita a distinção entre raízes mortas e vivas e nem as raízes
171 foram separadas por espécies.

172 As biomassas radiculares das vegetações nativas densas e abertas tiveram seus valores
173 acrescidos em 41% para incluir a biomassa radicular existente sob a base do caule das árvores
174 que não é amostrada com a metodologia adotada. O valor de 41% foi determinado para a
175 caatinga por Albuquerque et al. (submetido) e é o mesmo valor médio determinado para
176 vegetações do mundo (Mokany et al., 2006).

177 2.3. Análise dos dados

178 Foi feita a análise de variância para avaliar a diferença entre as biomassas radiculares nos
179 diferentes usos da terra e classes de solo, em cada região. A comparação das médias foi feita
180 pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Para as análises foi utilizado o software *Assistat*
181 *7.6 Beta*.

182 3. Resultados

183 As biomassas radiculares nas pastagens foram baixas em todas as regiões (Tabela 1),
184 variando mais por classe de solo na região semiárida leste (0,7 a 6,7 Mg ha⁻¹) que nas outras
185 regiões (1,0 a 4,0 Mg ha⁻¹), mas sem diferenças significativas. As biomassas nas áreas de
186 agricultura também foram baixas e sem diferenças significativas nas regiões subúmida e
187 semiáridas (0,1 a 3,7 Mg ha⁻¹), mas, na região úmida, somando os colmos subterrâneos da
188 cana-de-açúcar às raízes as biomassas foram maiores (5,8 a 13,8 Mg ha⁻¹).

189 Em geral, as maiores biomassas ocorreram nas vegetações nativas densas e decresceram da
190 região úmida à semiárida oeste mas com variações grandes entre classes de solo, exceto na
191 região úmida (Tabela 1). Em todas as classes das regiões subúmidas e semiáridas, as
192 biomassas das nativas densas foram pelo menos cinco vezes maiores que as dos cultivos e
193 duas vezes maiores que as das pastagens. Na região úmida, foram pelo menos três vezes
194 maiores que as da cana-de-açúcar e sete vezes maiores que as das pastagens.

195 As biomassas das vegetações nativas abertas também foram maiores na região úmida que
196 nas subúmida e semiáridas. Em algumas classes de solo, em todas as regiões, as biomassas
197 dessa vegetação aberta foram quase iguais às da vegetação densa, mas em outras classes
198 foram bem menores, especialmente nos Neossolos regolíticos e litólicos da região subúmida,
199 onde foram cinco vezes menores.

200 3.1. Biomassa radicular nas classes de solo

201 As biomassas radiculares médias, nos dois tipos de solos (Tabela 1), nas florestas densa
202 ($32,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e aberta ($24,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) na região úmida foram significativamente maiores que
203 nas áreas com cana-de-açúcar ($9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) que, por sua vez, foram maiores que nas áreas de
204 pastagem ($2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). Embora as médias das duas classes de solo não tenham diferido
205 significativamente, em função da variabilidade interna.

206 A mudança no uso da terra na região subúmida resultou em decréscimo significativo da
207 biomassa radicular (Tabela 1) tendo a floresta densa a maior biomassa de raízes ($20,5 \text{ Mg ha}^{-1}$),
208 chegando a ser aproximadamente nove vezes superior que a pastagem ($2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$).

209 No Sertão leste a biomassa de raízes foi aproximadamente o dobro na caatinga densa
210 ($17,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) que na caatinga aberta ($9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). As menores biomassas foram encontradas
211 na agricultura ($1,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e pastagem ($3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$).

212 O Sertão oeste teve a maior amplitude entre as biomassas radiculares quando
213 comparados os diferentes usos da terra, tendo a caatinga densa ($13,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) 26 vezes mais
214 biomassa que a agricultura ($0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$).

215 Quando comparadas entre as regiões, as biomassas das raízes na vegetação densa não
216 diferiram significativamente entre as regiões úmida, subúmida e o Sertão leste, e foram
217 superiores ao Sertão oeste ($p=0,02$). Quando observadas as vegetações abertas, a região úmida
218 teve a maior biomassa radicular ($24,0 \text{ Mg ha}^{-1}$), chegando a ser mais de três vezes superior
219 que a floresta aberta da região subúmida ($8,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) ($p=0,0001$).

220 Tabela 1. Biomassa radicular (Mg ha^{-1}) sob diferentes usos da terra e tipos de solos nas
 221 diferentes regiões de Pernambuco, Brasil.

Região	Tipo de Solo	Agricultura	Pastagem	Vegetação	
				aberta	densa
Zona da Mata	Argissolo	13,8	3,6	29,2	29,3
	Latossolo	5,8	1,6	18,7	35,7
	Médias	9,8 BCa	2,6 Ca	24,0 ABa	32,5 Aa
Agreste	Planossolo	2,8	1,5	5,1	15,2
	Argissolo	2,5	4,0	9,7	10,8
	Neossolo regolíticos	0,7	2,5	5,7	27,7
	Neossololítico	3,7	1,1	5,0	28,4
	Médias	2,4 Bb	2,3 Ba	8,4 Bb	20,5 Aab
Sertão leste	Neossolo quartzarênico	0,7	5,3	9,4	19,9
	Planossolo	2,6	1,1	6,7	18,1
	Luvissolo	0,1	6,7	8,1	15,4
	Neossololítico	2,4	3,9	11,5	21,7
	Argissolo	0,4	0,7	11,8	10,5
	Média	1,2 Cb	3,5 Ca	9,4 Bb	17,1 Aab
Sertão oeste	Latossolo	1,0	1,0	13,8	26,7
	Argissolo	0,6	2,3	4,1	11,0
	Planossolo	0,3	1,9	7,6	5,4
	Neossolo litólico	0,1	3,5	10,0	9,8
	Média	0,5 Cb	2,2 BCa	8,9 ABb	13,2 Ab

222 Pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha não indicam
 223 diferença estatística significativa entre os diferentes usos da terra e médias seguidas pela mesma letra minúscula
 224 na coluna não indicam diferença estatística significativa para o mesmo tipo de uso nas diferentes mesorregiões.

225

226

227 Esse mesmo padrão, com a região úmida tendo maior biomassa radicular em relação às
 228 outras regiões, foi observado na agricultura, onde as raízes do Sertão oeste ($0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$)
 229 foram quase 20 vezes inferior que na região úmida ($9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$). Não foram evidenciadas
 230 diferenças significativas entre as regiões para as biomassas radiculares nas áreas de pastagem,
 231 que tiveram sua biomassa variando entre $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$.

232 Não houve diferenças significativas entre as biomassas radiculares nas diferentes classes
233 de solo na zona úmida. O mesmo comportamento foi visto para as diferentes classes de solo
234 tanto na região subúmida como nas semiáridas.

235 Dentro da classe dos Argissolos, a única classe de solo em comum a todas as regiões, a
236 maior biomassa radicular tanto na vegetação densa como na vegetação aberta e na agricultura,
237 estava na zona úmida, sem diferença entre as regiões subúmidas e semiáridas. As biomassas
238 radiculares nas pastagens foram semelhantes em todas as regiões, quando comparados os
239 valores entre os Argissolos.

240 3.2. Distribuição da biomassa em profundidade e em diâmetro das raízes

241 A distribuição da biomassa radicular nas diferentes profundidades do solo e diâmetro
242 das raízes variou entre as classes de solo, os tipos de usos e entre as regiões. No geral as raízes
243 atingiram a profundidade máxima de escavação dos solos, com exceção de apenas um ponto
244 na região subúmida, onde as raízes estavam presentes até a camada de 30 cm enquanto que o
245 solo foi escavado até os 100 cm e um na região semiárida, onde as raízes estavam até os 80
246 cm, enquanto que o solo foi escavado até 100 cm. Ambas as situações aconteceram em áreas
247 de agricultura.

248 Nos solos da região úmida (Latosolo e Argissolo), a biomassa radicular estava
249 predominante nas camadas superficiais de 0-40 cm e diminuía bruscamente nas profundidades
250 maiores. Na vegetação densa, as raízes nas camadas entre 0-40 cm representavam 87 %
251 (Tabela 2), na aberta 90% (Tabela 3), na agricultura 96% (Tabela 4) e na pastagem 93%
252 (Tabela 5) da biomassa radicular total. Na região úmida, houve predomínio de raízes grossas
253 tanto na vegetação densa (74%) como na agricultura (68%), na vegetação aberta observou-se
254 um equilíbrio entre as duas classes de diâmetro, já nas áreas de pastagem o predomínio foi de
255 raízes finas (76%).

256

257 A região subúmida, no geral, teve a maior parte das raízes nos primeiros 40 cm de
258 profundidade. A excessão foi para a agricultura em Neossolo regolítico, onde 61% das raízes
259 estavam nas camadas de 40-100 cm. Ao observar os outros usos da terra, os Neossolos
260 regolíticos também foram os que apresentaram menor proporção de raízes nas camadas entre
261 0-40 cm tanto na vegetação densa (67%) como na aberta (74%) e pastagem (86%). Quanto à
262 distribuição vertical, a maioria dos solos não apresentou uma diminuição na biomassa de
263 raízes à medida que a profundidade aumentava, sendo a vegetação densa sob Neossolo litólico
264 o que teve maior discrepância, com 8% das raízes na camada de 0-10, 24% na de 10-20; 26%
265 na camada de 20-30 e 36% na camada de 30-40 (Tabela 2). As raízes finas foram
266 predominantes nas áreas de pastagens em todas as classes de solo (82%).

267 No Sertão leste, todos os usos da terra nas suas diferentes classes de solos, tiveram sua
268 biomassa radicular concentradas nos primeiros 40 cm de profundidade, com excessão do
269 Neossolo quartzarênico tanto em vegetação densa (45%) como em vegetação aberta (43%).
270 Não houve um padrão na distribuição vertical das raízes. As raízes predominantes na
271 vegetação densa (65%) e aberta (59%) foram grossas com excessão para o Luvisolo neste
272 último tipo de uso, que teve a maior parte de raízes finas com 57%. Nas áreas de pastagem e
273 agricultura a maior parte de raízes se enquadrava na classe de diâmetro das finas, onde apenas
274 nos Neossolos quartzarênicos (58%) e planossolos (69%) a maior parte das raízes eram
275 grossas.

276 Os solos do Sertão oeste apresentaram a maior concentração de biomassa de raízes nos
277 primeiros 40 cm em todos os usos e classe de solo. Houve um equilíbrio entre as proporções
278 de raízes finas e grossas, nas diferentes classes e usos. Apenas na vegetação densa sob
279 Neossolo litólico (37%), na vegetação aberta sob latossolo (49%) e Neossolo litólico (40%)
280 em áreas de pastagem sob Planossolo (21%) as proporções de raízes finas foram inferiores a
281 50%.

282

283 Tabela 2. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por classe
 284 de diâmetro em áreas de vegetação densa, Pernambuco, Brasil.

Solo	Raiz	Profundidade (cm)						Total	
		0-10	11-20	21-30	31-40	41-60	61-80		81-100
Zona da mata									
Latossolo	Fina	10	6	4	3	2	1	0	27
	Grossa	47	13	4	4	4	1	0	73
Argissolo	Fina	10	3	3	4	2	2	1	25
	Grossa	26	11	8	16	11	2	2	75
Agreste									
Planossolo	Fina	16	8	5	1	1	1	0	32
	Grossa	40	19	8	0	0	0	0	68
Argissolo	Fina	5	8	7	1	2	10	0	34
	Grossa	13	8	39	2	1	1	1	66
N. regolítico	Fina	3	4	3	3	5	2	1	22
	Grossa	3	6	4	39	19	6	1	78
N. litólico	Fina	4	5	5	2	1	1	0	19
	Grossa	5	19	21	34	2	1	0	81
Sertão Leste									
N. quartzarênico	Fina	8	6	4	6	9	8	6	48
	Grossa	6	3	6	7	22	5	5	52
Planossolo	Fina	7	9	8	4	2	0	0	30
	Grossa	1	11	34	18	4	1	0	70
Luvissolo	Fina	8	7	6	6	3	1	0	30
	Grossa	28	6	12	12	11	1	0	70
N. litólico	Fina	9	8	5	4	2	1	0	29
	Grossa	14	18	13	21	4	0	0	71
Argissolo	Fina	11	11	4	6	3	2	0	38
	Grossa	36	19	2	1	3	1	0	62
Sertão Oeste									
Latossolo	Fina	17	10	7	5	6	3	3	51
	Grossa	12	10	10	7	5	2	2	49
Argissolo	Fina	19	11	10	6	6	4	1	57
	Grossa	22	3	7	7	2	1	1	43
Planossolo	Fina	25	23	15	6	0	0	0	69
	Grossa	0	20	11	0	0	0	0	31
N. litólico	Fina	16	6	6	4	5	0	0	37
	Grossa	7	23	22	9	1	0	0	63

285 Fina: diâmetro ≤ 5 mm; Grossa: diâmetro > 5 mm.

286

287

288

289

290

291 Tabela 3. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por classe
 292 de diâmetro em áreas de vegetação aberta, Pernambuco, Brasil.

Solo	Raiz	Profundidade (cm)							Total
		0-10	11-20	21-30	31-40	41-60	61-80	81-100	
Zona da mata									
Latossolo	Fina	21	13	5	3	3	2	0	46
	Grossa	19	22	3	4	5	1	0	54
Argissolo	Fina	27	10	4	4	2	1	1	50
	Grossa	19	14	6	7	3	1	1	50
Agreste									
Planossolo	Fina	11	12	9	3	0	0	0	35
	Grossa	14	10	39	1	0	0	0	65
Argissolo	Fina	20	11	6	3	4	1	0	46
	Grossa	29	18	3	3	2	0	0	54
N. regolítico	Fina	20	8	9	6	5	1	1	50
	Grossa	12	9	8	4	17	1	0	50
N. litólico	Fina	36	7	4	1	0	0	0	49
	Grossa	44	7	1	0	0	0	0	51
Sertão Leste									
N. quartzarênico	Fina	4	8	7	5	10	7	6	47
	Grossa	2	5	6	6	20	13	1	53
Planossolo	Fina	28	9	8	3	1	0	0	48
	Grossa	16	12	13	11	0	0	0	52
Luvissolo	Fina	32	11	8	4	2	0	0	57
	Grossa	8	22	9	2	2	0	0	43
N. litólico	Fina	18	12	5	4	2	0	0	41
	Grossa	3	46	7	3	0	0	0	59
Argissolo	Fina	9	6	4	2	3	2	1	26
	Grossa	18	39	11	1	2	1	0	74
Sertão Oeste									
Latossolo	Fina	9	11	8	6	7	4	4	49
	Grossa	11	20	7	5	5	1	2	51
Argissolo	Fina	26	12	6	3	4	3	2	56
	Grossa	10	3	4	2	3	22	1	44
Planossolo	Fina	15	17	12	7	1	0	0	52
	Grossa	8	15	19	6	0	0	0	48
N. litólico	Fina	12	14	9	2	3	0	0	40
	Grossa	43	15	1	0	0	0	0	60

293 Fina: diâmetro ≤ 5 mm; Grossa: diâmetro > 5 mm.

294

295

296

297

298

299

300 Tabela 4. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por
 301 classe de diâmetro em áreas de agricultura, Pernambuco, Brasil.

Solo	Raiz	Profundidade (cm)							Total
		0-10	11-20	21-30	31-40	41-60	61-80	81-100	
Zona da mata									
Latossolo	Fina	13	5	4	3	3	2	1	30
	Grossa	68	1	0	0	0	0	0	70
Argissolo	Fina	19	6	3	3	2	1	1	34
	Grossa	65	0	0	0	0	0	0	66
Agreste									
Planossolo	Fina	23	12	5	1	1	3	0	45
	Grossa	25	28	1	0	0	2	0	55
Argissolo	Fina	16	11	7	3	2	2	0	40
	Grossa	23	0	0	17	19	0	0	60
N. regolítico	Fina	15	4	1	4	6	2	1	35
	Grossa	10	1	0	2	36	16	0	65
N. litólico	Fina	32	6	2	2	1	0	0	44
	Grossa	55	1	0	0	0	0	0	56
Sertão Leste									
N. quartzarênico	Fina	17	11	7	5	10	5	5	60
	Grossa	9	9	22	0	0	0	0	40
Planossolo	Fina	9	10	7	4	2	0	0	31
	Grossa	17	8	21	21	1	0	0	69
Luvissolo	Fina	43	16	7	2	3	16	4	91
	Grossa	9	0	0	0	0	0	0	9
N. litólico	Fina	42	18	12	3	0	0	0	74
	Grossa	24	1	0	0	0	0	0	26
Argissolo	Fina	17	18	24	11	6	1	0	78
	Grossa	2	11	0	9	0	0	0	22
Sertão Oeste									
Latossolo	Fina	53	5	7	5	6	3	1	80
	Grossa	7	1	1	3	5	2	2	20
Argissolo	Fina	36	11	9	7	4	2	0	70
	Grossa	6	0	12	7	5	0	0	30
Planossolo	Fina	57	13	20	4	5	0	0	98
	Grossa	0	2	0	0	0	0	0	2
N. litólico	Fina	9	41	1	1	0	0	0	52
	Grossa	0	48	0	0	0	0	0	48

302 Fina: diâmetro \leq 5 mm; Grossa: diâmetro $>$ 5 mm.

303

304

305

306

307

308

309 Tabela 5. Proporção da biomassa radicular em profundidade e sua distribuição (%) por classe
 310 de diâmetro em áreas de pastagem, Pernambuco, Brasil.

Solo	Raiz	Profundidade (cm)							Total
		0-10	11-20	21-30	31-40	41-60	61-80	81-100	
Zona da mata									
Latossolo	Fina	57	9	4	3	3	2	1	81
	Grossa	11	4	3	1	0	0	0	19
Argissolo	Fina	27	27	7	3	3	2	2	71
	Grossa	28	0	0	1	0	0	0	29
Agreste									
Planossolo	Fina	64	5	5	4	3	1	0	82
	Grossa	0	8	0	10	0	0	0	18
Argissolo	Fina	43	17	9	4	8	3	1	84
	Grossa	12	1	2	0	0	0	1	16
N. regolítico	Fina	60	8	9	3	7	5	2	94
	Grossa	6	0	0	0	0	0	0	6
N. litólico	Fina	56	10	4	0	0	0	0	70
	Grossa	0	19	11	0	0	0	0	30
Sertão Leste									
N. quartzarênico	Fina	6	10	8	5	7	5	1	42
	Grossa	15	24	5	4	9	1	0	58
Planossolo	Fina	44	12	16	7	4	2	0	85
	Grossa	15	0	0	0	0	0	0	15
Luvissolo	Fina	48	13	5	5	4	2	1	78
	Grossa	4	2	1	6	3	3	3	22
N. litólico	Fina	80	9	1	0	0	0	0	90
	Grossa	7	3	0	0	0	0	0	10
Argissolo	Fina	48	22	10	7	10	2	0	98
	Grossa	1	0	0	1	0	0	0	2
Sertão Oeste									
Latossolo	Fina	46	9	5	4	6	3	3	76
	Grossa	22	2	0	0	0	0	0	24
Argissolo	Fina	44	6	5	2	2	1	1	62
	Grossa	23	0	9	2	3	1	0	38
Planossolo	Fina	11	7	3	0	0	0	0	21
	Grossa	8	32	35	4	0	0	0	79
N. litólico	Fina	61	15	7	6	7	0	0	96
	Grossa	1	1	1	1	0	0	0	4

311 Fina: diâmetro ≤ 5 mm; Grossa: diâmetro > 5 mm.

312

313

314

315 4. Discussão

316 A biomassa radicular é um compartimento muitas vezes ignorado nas estimativas de
317 estoques florestais. A não mensuração deste compartimento pode chegar a subestimar dezenas
318 de toneladas de biomassa, como foi observado na região úmida em áreas de vegetação densa
319 ($32,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). Esse valor ficou próximo a biomassa radicular em vegetação de ecossistemas
320 úmidos cobertos por Mata atlântica, porém em outras regiões do Brasil, como a biomassa de
321 raízes mensurada por Vieira et al. (2011) em fragmentos de mata atlântica no estado de São
322 Paulo, que variaram entre pouco mais de 34 Mg ha^{-1} até $45,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, ao avaliar diferentes
323 altitudes, e por Watzlawick et al. (2012) em Floresta Ombrófila Mista Montana no Estado do
324 Paraná, que encontrou $44,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biomassa radicular. Porém esses valores podem atingir
325 patamares ainda maiores como relatado por Jackson et al., (1996), que através de uma revisão
326 global entre as florestas tropicais úmidas estimou o estoque de biomassa radicular em 49 Mg
327 ha^{-1} .

328 No presente trabalho não se observou diferença significativa entre as biomassas
329 radiculares nas classes de solo, enquanto Kenzo et al. (2014) reportou maiores investimentos
330 da vegetação em estoques de biomassa radicular associados a solos arenosos (83,9% de areia,
331 6,7% argila) de baixa fertilidade ($59,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) que em solos mais argilosos (77,1% de argila,
332 7,1% areia), mais férteis ($44,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). Neste estudo os valores de biomassa radicular
333 estavam inversamente proporcional aos de biomassa aérea (205 Mg ha^{-1} e 242 Mg ha^{-1}
334 respectivamente), o que sugere que o grande investimento em biomassa radicular em solos
335 pobres pode resultar em diminuição da biomassa aérea.

336 Além dos solos, diversos autores apontam outros fatores que podem ser determinantes no
337 estoque de biomassa como precipitação, temperatura, luminosidade, estágio sucessional,
338 latitude (região temperada ou tropical), taxa de evapotranspiração, entre outros (Cairns et al.,
339 1997; Jackson et al., 1996b; Jaramillo et al., 2003; Joslin et al., 2000; Mokany et al., 2006;
340 Sarmiento et al., 2005; Watzlawick et al., 2012).

341 As florestas que já sofreram algum tipo de perturbação como corte, por exemplo, vem
342 recebendo destaque pela sua grande capacidade em mitigar o C atmosférico, por causa da sua
343 alta taxa de crescimento (Mendes; Oliveira, 2011). A biomassa radicular da vegetação aberta
344 (24 Mg ha^{-1}) não se diferenciou da densa, esse resultado também foi evidenciado por
345 Jaramillo et al. (2003) ao comparar florestas tropicais sempre verde nunca perturbadas ($22,3$
346 Mg ha^{-1}) com outra de 28 anos após o desmatamento ($22,5 \text{ Mg ha}^{-1}$).

347 A substituição da vegetação nativa por outros usos da terra leva à perda do estoque de
348 biomassa (Jaramillo et al., 2003). Em relação à mata densa, as perdas de biomassa radicular
349 com a pastagem atingiram até 90% corroborando com Jaramillo et al. (2003) que constataram
350 uma redução maior que 80% ao comparar a biomassa radicular da vegetação densa ($22,3 \text{ Mg}$
351 ha^{-1}) com áreas sob pastagem ($4,33 \text{ Mg ha}^{-1}$).

352 A biomassa radicular média nas áreas de agricultura da região úmida, cobertas por
353 cana-de-açúcar ($9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) esteve ligeiramente superior a outra área reportada na região, em
354 cultivo sobre Argissolo (Ball-Coelho et al., 1992), que variou de $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ na cana planta a
355 $5,3 - 5,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas cana soca. Apesar da essencialidade do sistema radicular da cana-de-
356 açúcar para rebrota após o corte, a predominância de raízes finas e sua alta dinâmica com o
357 solo fazem com que esse estoque diminua rapidamente após a colheita, sendo a morte das
358 raízes, responsáveis pela redução de 17% da biomassa após duas semanas da colheita (Ball-
359 Coelho et al., 1992), necessitando-se aprimorar metodologias para determinar qual a melhor
360 época para coleta de material para estimativas.

361 Não houve diferença na biomassa radicular entre regiões subúmida e semiáridas
362 independente da cobertura vegetal e uso da terra, apenas com exceção da vegetação densa no
363 Sertão oeste que foi inferior ao comparada com as outras regiões subúmida e semiárida
364 estudada. Parte desta indiferença deve-se atribuir a ausência de históricos confiáveis do uso,
365 tendo a região subúmida provavelmente sofrido maiores impactos com a degradação
366 antrópica.

367 Os valores de biomassa radicular das vegetações aberta e densa ($9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $17,1 \text{ Mg ha}^{-1}$
368 ¹ respectivamente) da região do Sertão leste, estão próximos, apesar de mais elevados, a
369 valores reportados na mesma região por Costa et al. (2014) ($5,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $13,12 \text{ Mg ha}^{-1}$
370 respectivamente). Essa diferença deve-se ao acréscimo de 41% no valor da biomassa
371 respectivo a biomassa de raízes sob o caule (Albuquerque et al. Submetido; Mokany et al.,
372 2006).

373 Os estoques de biomassa radicular em áreas agrícolas tanto para o serão leste como
374 para o sertão oeste ($1,2$ e $0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ respectivamente) estão abaixo dos estoques globais
375 reportados por Jackson et al. (1996) ($1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) coletadas até a profundidade de 30 cm e
376 em lavouras de milho e soja ($2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tufekcioglu et al., 1999). Os sistemas agrícolas
377 são praticamente de subsistência na região semiárida, sendo rotineiro o plantio consorciado de
378 feijão e mandioca ou milho ou palma, falta de chuvas torna a produção baixa (Sampaio,
379 2010). É possível que mesmo após a colheita, as raízes permaneçam no solo, e como as
380 condições climáticas tornam a decomposição lenta fazendo com que as raízes perdurem até o
381 próximo plantio (Tufekcioglu et al., 1999).

382 As pastagens normalmente mal manejadas e com lotação excessiva nas regiões
383 subúmida e semiárido possuem baixo estoque de biomassa subterrânea ($2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) quando
384 comparadas a áreas outras áreas semiáridas (6 Mg ha^{-1}) estudadas por Jaramillo et al. (2003).
385 Todavia, comparar as variações da biomassa radicular em pastagens é difícil, já que além dos
386 fatores climáticos e de solo, as biomassas também podem ser influenciadas pelas formas de
387 manejo e pela intensidade de pastejo e pela idade da reforma das pastagens (Kenzo et al.,
388 2010; Santos et al., 2007; Vargas et al., 2008).

389 Os maiores estoques de raízes geralmente são concentrados nas camadas superficiais
390 de 0-40 cm (Castellanos et al., 1991; Costa et al., 2014; Jackson et al., 1996; Jaramillo et al.,
391 2003). É geralmente observado por causa da maior disponibilidade de nutrientes derivados da
392 decomposição da serapilheira depositada na superfície do solo (Castellanos et al., 1991; Costa

393 et al., 2014; Jackson et al., 1996; Jaramillo et al., 2003). Porém Costa et al. (2014) observou
394 um maior estoque de biomassa de raízes em profundidade nas camadas de 40-100 cm em
395 Neossolos quartazrênicos com 56,9 % na vegetação aberta e 54,6 % na vegetação densa. Esse
396 mesmo padrão foi encontrado nas classes de solos mais arenosas, Neossolos regolíticos na
397 região subúmido e Neossolos quartzarênicos no Sertão oeste. Por causa da textura arenosa,
398 dos baixos teores de matéria orgânica e bases trocáveis (Santos et al., 2012) esses solos são
399 bem drenados e possuem baixa capacidade de retenção de água, fazendo com que as raízes
400 busquem condições favoráveis em maiores profundidades.

401 A predominância de raízes finas ≥ 2 mm em relação as grossas sugerem uma baixa
402 necessidade de investimento nas raízes de sustentação, sendo essa classe de diâmetro
403 predominante em áreas de agricultura e pastagens, em contrapartida as raízes grossas
404 predominantes na vegetação densa refletem essa necessidade por conta do porte das árvores.
405 Resultado semelhante foi apresentado por Costa et al. (2014) que observou uma maior
406 proporção de raízes grossas em fitofisionomia densa que em áreas de fitofisionomia aberta.
407 As estimativas de biomassas radiculares centraram-se em raízes finas (Cavelier et al., 1996) e
408 apenas nas camadas superficiais (FRA, 2009) o que pode resultar em uma subestimação nos
409 estoques de biomassa radicular.

410 **5. Conclusão**

411 As maiores biomassas radiculares nas áreas de vegetação nativa que nas de pastagem e
412 agricultura mostram que a substituição da vegetação nativa leva à perda no estoque de
413 biomassa. A maior parte dos estoques de biomassa radicular encontra-se na camada
414 superficial de 0-40 cm, porém existe uma tendência da vegetação alocar biomassa de raízes
415 em profundidades subsuperficiais em solos de textura arenosa. A biomassa radicular não varia
416 de acordo com a classe de solo.

417 **6. Agradecimentos**

418

419 Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela
420 bolsa de doutorado da primeira autora e as bolsas de pesquisa do terceiro autor. Também
421 agradecem ao CNPq e à Fundação de Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo
422 suporte financeiro e logístico, principalmente através dos projetos “Estoques de carbono na
423 vegetação e no solo em áreas com diferentes usos da terra em Pernambuco (CNPq Universal
424 14/2012 Processo 473449/2012-9)” e “Impactos de Mudanças Climáticas Sobre a Cobertura e
425 Uso da Terra em Pernambuco: Geração e Disponibilização de Informações para o Subsídio a
426 Políticas Públicas (Processo APQ-0077-5.01/09, edital 05-2010)”.

427 **7. Referências**

- 428 Ball-Coelho, B., Sampaio, E.V.S.B., Tiessen, H., Stewart, J.W.B., 1992. Root dynamics in
429 plant and ratoon crops of sugar cane. *Plant Soil* 142, 297–305.
- 430 Bicalho, I.M., 2010. Fluxo de dióxido de carbono e potencial de mineralização de serapilheira
431 em solos sob vegetação clímax de cerrado. 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia),
432 Universidade Federal de Uberlândia.
- 433 Cairns, M.A., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world
434 s upland forests. *Oecologia* 111, 1–11.
- 435 Castellanos, J., Maass, M., Kummerow, J., 1991. Root biomass of a dry deciduous tropical
436 forest in Mexico. *Plant Soil* 131, 225–228.
- 437 Cavelier, J., Estevez, J., Arjona, B., Biotropica, S., Dec, P.B., 1996. Fine-Root Biomass in
438 Three Successional Stages of an Andean Cloud Forest in Colombia Fine-root Biomass in
439 Three Successional Stages of an Andean Cloud Forest in Colombia. *Biotropica* 28, 728–
440 736.

- 441 Ceconi, D.E., Poletto, I., Lovato, T., Schumacher, M.V., 2007. Biomassa e comprimento de
442 raízes finas em povoamento de. *Floresta* 38, 1–10.
- 443 Cifuentes Jara, M., Henry, M., Réjou-Méchain, M., Wayson, C., Zapata-Cuartas, M., Piotto,
444 D., Alice Guier, F., Castañeda Lombis, H., Castellanos López, E., Cuenca Lara, R.,
445 Cueva Rojas, K., Del Águila Pasquel, J., Duque Montoya, Á., Fernández Vega, J.,
446 Jiménez Galo, A., López, O.R., Marklund, L.G., Michel Fuentes, J.M., Milla, F., Návar
447 Chaidez, J.D.J., Ortiz Malavassi, E., Pérez, J., Ramírez Zea, C., Rangel García, L.,
448 Rubilar Pons, R., Saint-André, L., Sanquetta, C., Scott, C., Westfall, J., 2014. Guidelines
449 for documenting and reporting tree allometric equations. *Ann. For. Sci.* 71.
450 doi:10.1007/s13595-014-0415-z
- 451 Coomes, D.A., Grubb, P.J., 2000. Impacts of Root Competition in Forests and Woodlands : A
452 Theoretical Framework and Review of Experiments. *Ecol. Monogr.* 70, 171–207.
- 453 Costa, T.L., Sampaio, E.V.S.B., Sales, M.F., Accioly, L.J.O., Althoff, T.D., Pareyn, F.G.C.,
454 Albuquerque, E.R.G.M., Menezes, R.S.C., 2014. Root and shoot biomasses in the
455 tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. *Plant Soil* 378, 113-123.
456 doi:10.1007/s11104-013-2009-1
- 457 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1998. Zoneamento Agrícola de
458 Pernambuco.
- 459 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA,
460 2014.URL<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambuc
461 [ana/](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambuc)
- 462 Figueiredo, C.C., Ramos, M.L.G., Tostes, R., 2008. Propriedades físicas e matéria orgânica
463 de um latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. *Biosci. J.* 24, 24–30.

- 464 FRA, 2009. Global Forest Resources Assessment 2010, Brazil, Country Report. Rome, Italy.
- 465 Gill, R. a., Jackson, R.B., 2000. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems.
466 New Phytol. 147, 13–31. doi:10.1046/j.1469-8137.2000.00681.x
- 467 Higuchi, N., Chambers, J., Santos, J. dos, Ribeiro, R.J., Pinto, A.C.M., Silva, R.P. da, Rocha,
468 R.D.M., Trhibuzy, E.S., 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da.
469 Floresta 34, 295–304.
- 470 Higuchi, N., Santos, J., Ribeiro, R.J., Minette, L., Biot, Y., 1998. Biomassa da parte aérea da
471 vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da amazônia brasileira. Acta Amaz.
472 28(2), 153–166.
- 473 IBGE, 2014. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. URL<
474 <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/estadual.html> (accessed
475 12.11.14).
- 476 IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007. Climate
477 change impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II. Geneva,
478 Switzerland.
- 479 Jackson, R.B., Canadell, J.G., Ehleringer, J.R., Mooney, H. a., Sala, O.E., Schulze, E.D.,
480 1996a. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. Oecologia 108, 389–
481 411.
- 482

- 483 Jaramillo, V.J., Ahedo-Hernández, R., Kauffman, J.B., 2003. Root biomass and carbon in a
484 tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest
485 conversion to pasture. *J. Trop. Ecol.* 19, 457–464. doi:10.1017/S0266467403003493
- 486 Johansen, B., Tømmervik, H., 2014. *International Journal of Applied Earth Observation and*
487 *Geoinformation* The relationship between phytomass , NDVI and vegetation
488 communities on Svalbard. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 27, 20–30.
489 doi:10.1016/j.jag.2013.07.001
- 490 Joslin, J. D.; Wolfe, M. H.; Hanson, P. J., 2000. Effects of altered water regimes on forest root
491 systems. *New Phytologist*, 147, 117-129.
- 492 Kenzo, T., Furutani, R., Hattori, D., Kendawang, J.J., 2014. Aboveground and belowground
493 biomass in logged-over tropical rain forests under different soil conditions in Borneo. *J.*
494 *For. Res.* 1–9. doi:10.1007/s10310-014-0465-y
- 495 Kenzo, T., Ichie, T., Hattori, D., Kendawang, J.J., Sakurai, K., Ninomiya, I., 2010. Changes in
496 above- and belowground biomass in early successional tropical secondary forests after
497 shifting cultivation in Sarawak, Malaysia. *For. Ecol. Manage.* 260, 875–882.
498 doi:10.1016/j.foreco.2010.06.006
- 499 Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1–22.
500 doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.032
- 501 Martínez-Yrizar, A., 1995. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry
502 forest, in: Stephen, H.B., Mooney, H.A., Medina, E. (Eds.), *Seasonally Dry Tropical*
503 *Forests*. Cambridge University, New York, pp. 326–345.
- 504 Mendes, M. M. S., Oliveira, M. E., 2011. Biomassa e florística em florestas secundárias de
505 diferentes idades. *Floresta* 41, 19–26.

- 506 Mokany, K., Raison, R.J., Prokushkin, A.S., 2006. Critical analysis of root : shoot ratios in
507 terrestrial biomes. *Glob. Chang. Biol.* 12, 84–96. doi:10.1111/j.1365-
508 2486.2005.001043.x
- 509 Pinheiro, E. a. R., Costa, C. a. G., de Araújo, J.C., 2013. Effective root depth of the Caatinga
510 biome. *J. Arid Environ.* 89, 1–4. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.10.003
- 511 PROBIO, 2007. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica
512 Brasileira. Subprojeto – Levantamento da Cobertura Vegetal e do Uso do solo do Bioma
513 Caatinga.
- 514 Ribeiro, S.C., Fehrmann, L., Soares, C.P.B., Jacovine, L.A.G., Kleinn, C., de Oliveira Gaspar,
515 R., 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *For. Ecol. Manage.*
516 262, 491–499. doi:10.1016/j.foreco.2011.04.017
- 517 Salcedo, I., Leite, L., Vasconcelos, E., Sampaio, E., 1999. Produção de raízes finas sob
518 vegetação de caatinga, In: Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudo de
519 casos. (Ed.) EMBRAPA, Tabuleiros Costeiros, Aracajú-SE, pp. 139–152.
- 520 Sampaio, E.V.S.B., 2010. Caracterização do bioma caatinga: características e potencialidades,
521 in: Gariglio, M.A., Kageyama, P.Y. (Eds.), *Uso Sustentável E Conservação Dos*
522 *Recursos Florestais Da Caatinga*. GARIGLIO, M.A. et al. (Orgs.), Brasília: Serviço
523 florestal brasileiro, pp. 29–48.
- 524 Sampaio, E.V.S.B., COSTA, T.L., 2011. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido
525 Nordeste: Estimativas Preliminares. *Rev. Bras. Geogr. Física* 06, 1275–1291.
- 526 Santos, J.C.B. dos, Souza, V.S., Corrêia, M.M., Ribeiro, M.R., Almeida, M. da C., Borges,
527 L.E.P., 2012. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado
528 de Pernambuco. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 36, 683–695.

- 529 Santos, R.S.M. dos, Oliveira, I.P. de, Morais, R.F. de, Urquiaga, S.C., Boddey, R.M., Alves,
530 B.J.R., 2007. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de *Brachiaria* spp em
531 diferentes idades após a reforma , como indicadores de produtividade em ambiente de
532 cerrado. *Pesqui. Agropec. Trop.* 37, 119–124.
- 533 Sarmiento, G., Pinillos, M., Garay, I., Ciencias, F. De, Alegre, P., 2005. Biomass variability
534 in tropical american lowland rainforests *variabilidad de la biomasa en selvas tropicales.*
535 *Ecotropicos* 18, 1–20.
- 536 Silva, G.C., Sampaio, E.V.S.B., 2008. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga.
537 *Rev. Árvore* 32, 567–575.
- 538 Tufekcioglu, A., Raich, J.W., Isenhardt, T.M., Schultz, R.C., 1999. Fine root dynamics , coarse
539 root biomass , root distribution , and soil respiration in a multispecies riparian buffer in
540 Central Iowa , USA. *Agrofor. Syst.* 44, 163–174.
- 541 Vargas, R., Allen, M.F., Allen, E.B., 2008. Biomass and carbon accumulation in a fire
542 chronosequence of a seasonally dry tropical forest. *Glob. Chang. Biol.* 14, 109–124.
543 doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01462.x
- 544 Vasconcelos, A.C.M., Casagrande, A.A., Perecin, D., Jorge, L.A.C., Landell, M.G.A., 2003.
545 Seção IV - Fertilidade do solo e nutrição de plantas avaliação do sistema radicular. *Rev.*
546 *Bras. Ciência do Solo* 27, 849–858.
- 547 Vieira, S. A et al., 2011. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and
548 belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and*
549 *evolution* 1, 421–34,
- 550

551 Watzlawick, L.F., Caldeira, M.V.W., Viera, M., 2012. Estoque de biomassa e carbono na
552 Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná Stock of biomass and carbon in the montane
553 mixes shade forest , Paraná Resumo 353–362.

554 Zákia, M.J.B., Pareyn, F.G., Riegelhaupt, E., 1992. Equações de peso e de volume para oito
555 espécies lenhosas nativas do Seridó - RN.

556

557

558

559

560

561

Anexo I

Figura 1. Áreas de pastagem, A) Região Zona da Mata; B) Região Agreste; C) Sertão Leste

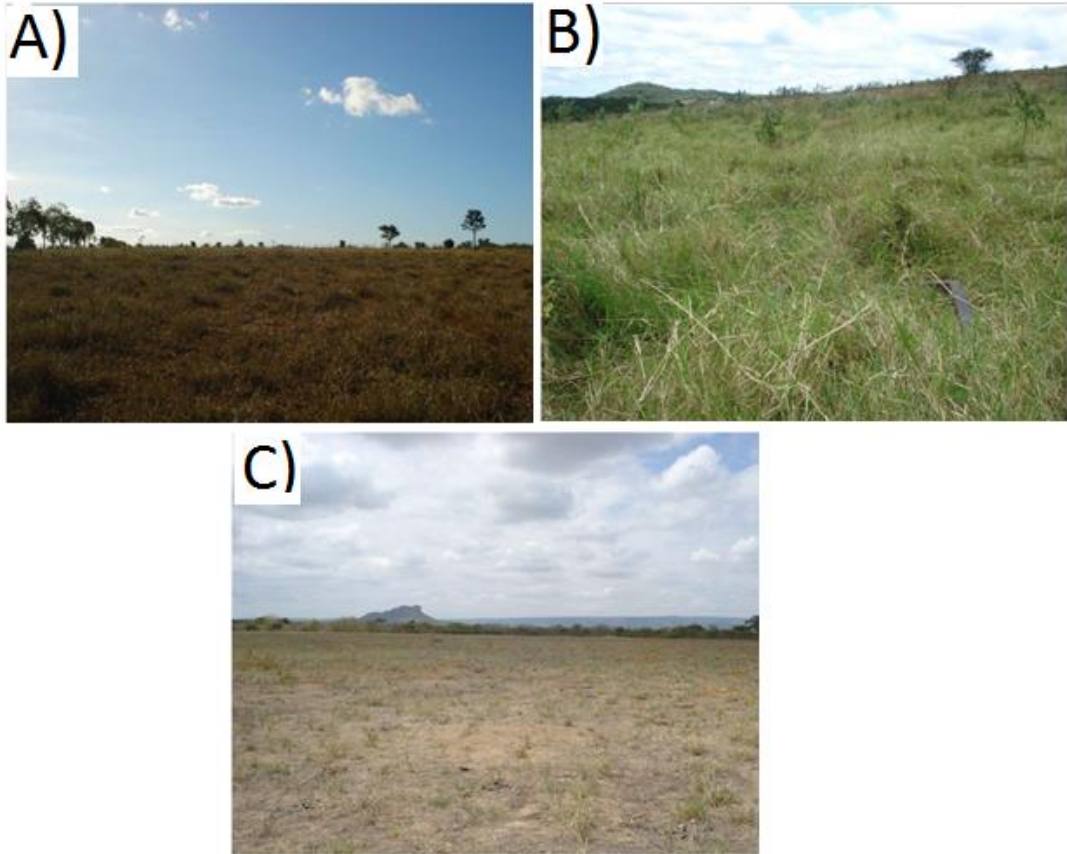


Figura 2. Áreas de vegetação densa, A) região Zona da Mata; B) região Agreste; C) Sertão Leste

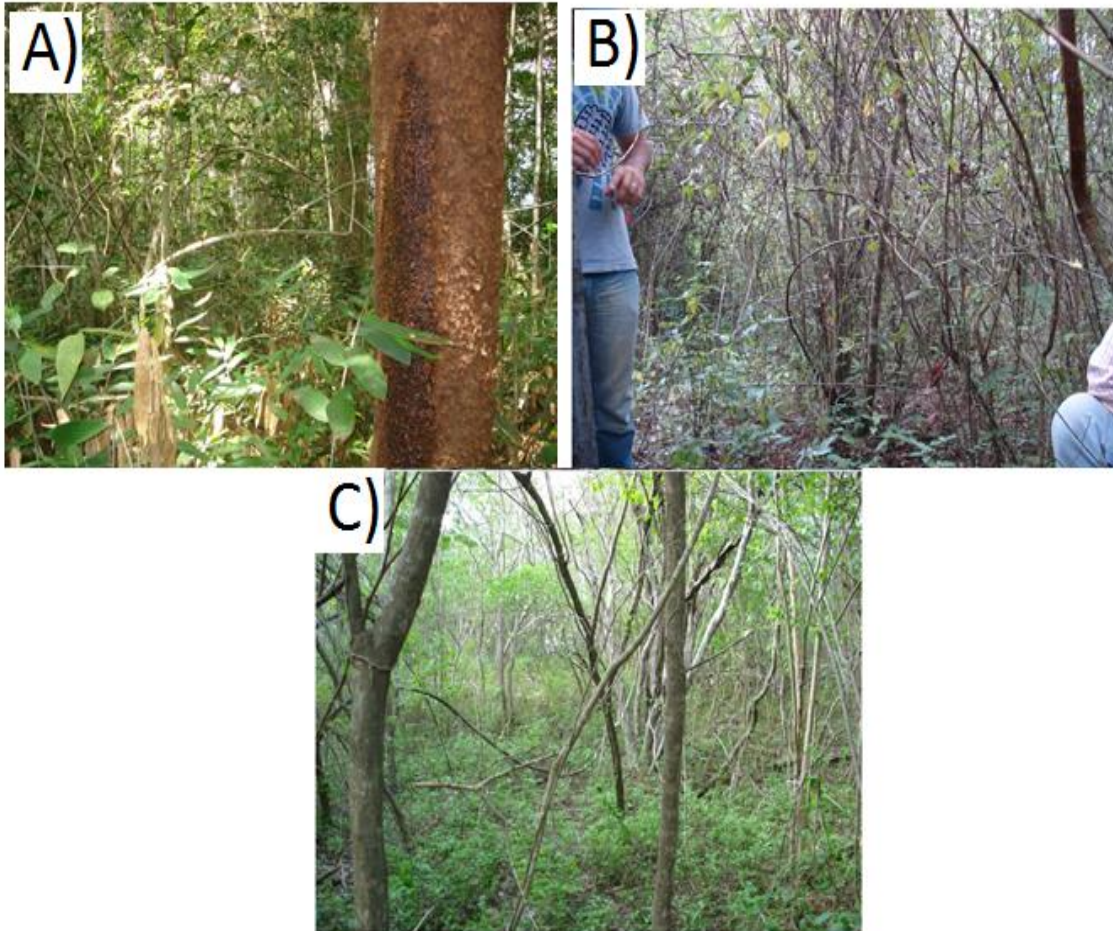


Figura 3. Áreas de vegetação aberta, A) região Zona da Mata; B) região Agreste; C) Sertão Leste

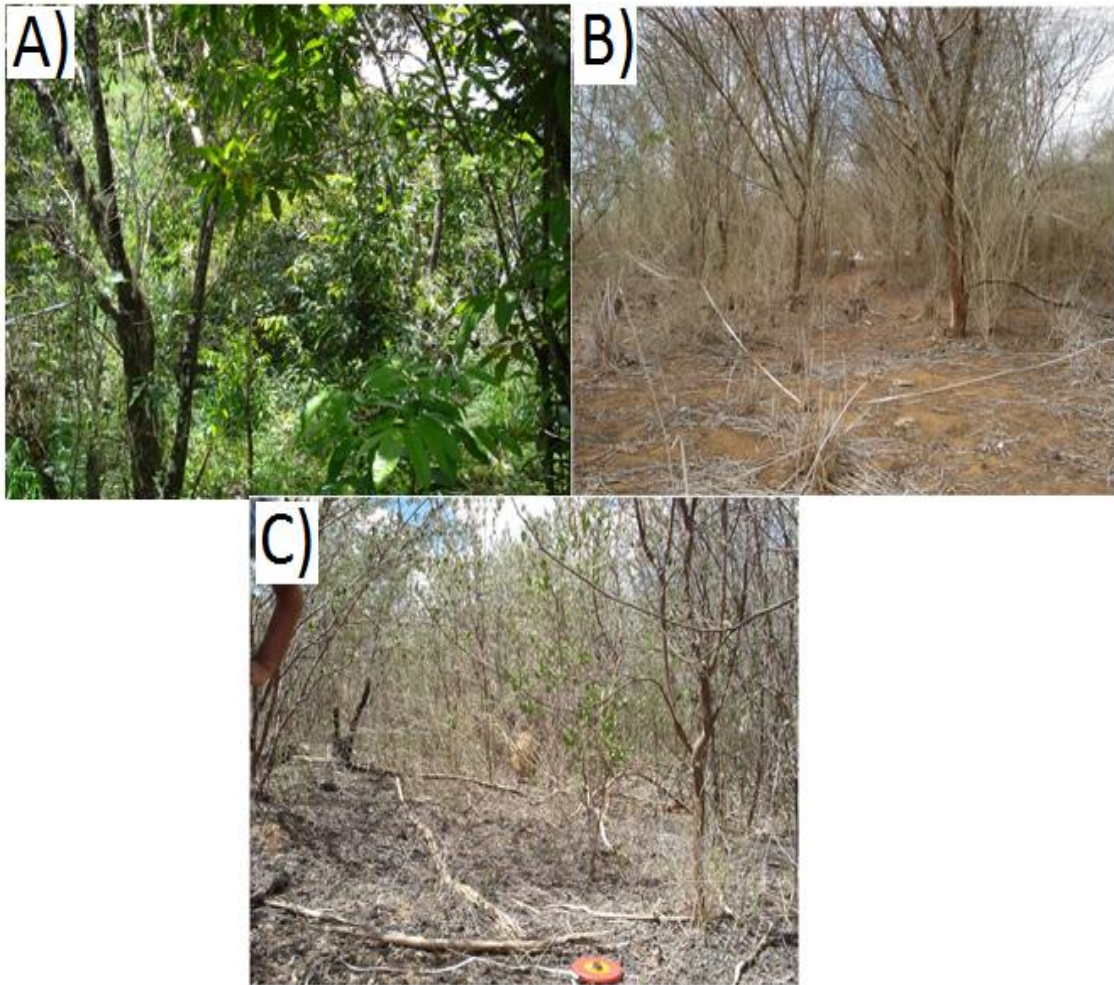
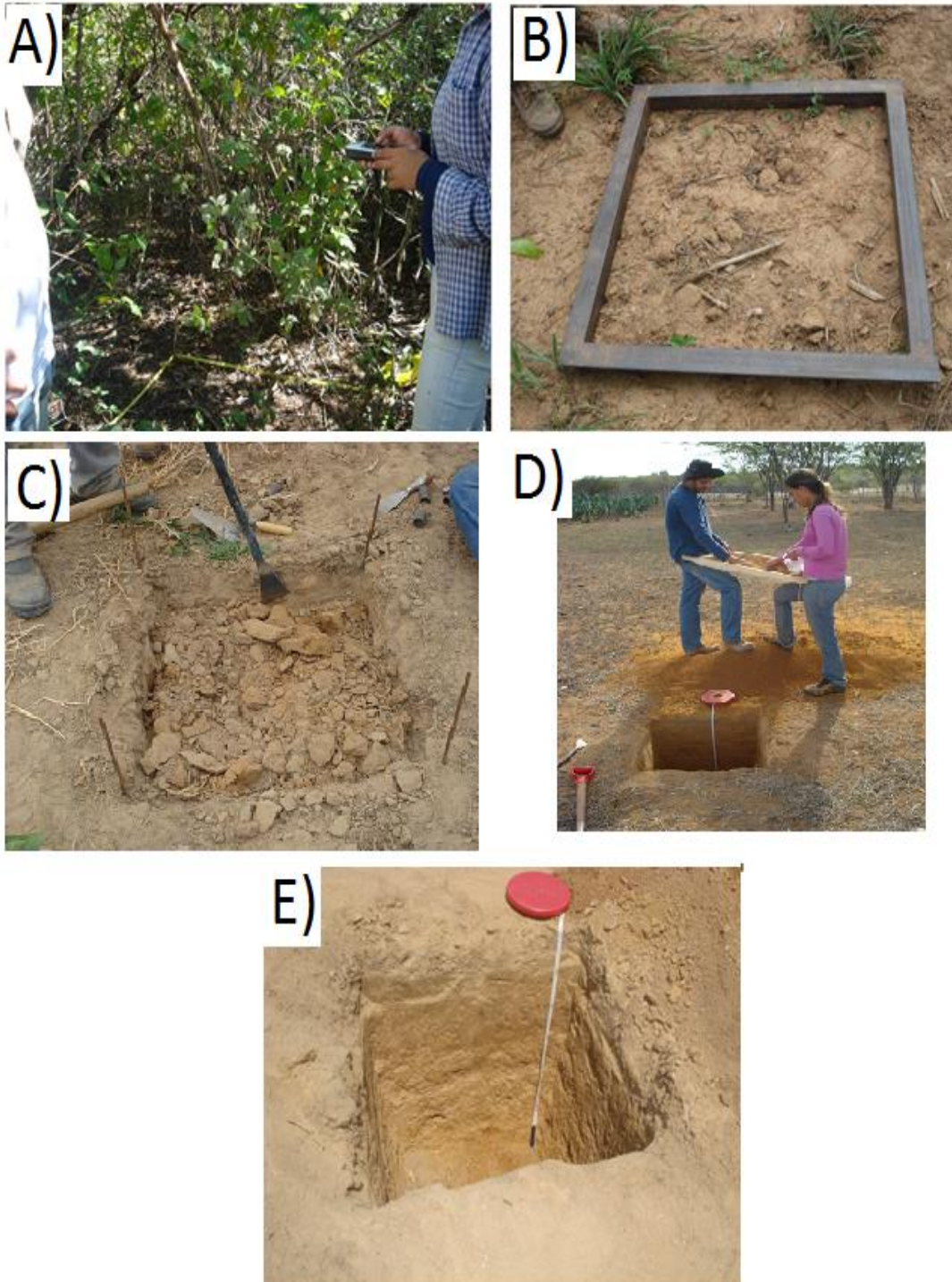


Figura 4. Processo de amostragem em campo; A) Marcação da coordenada; B) Gabarito para abertura da trincheira; C) Abertura da trincheira; D) solo peneirado e catação manual das raízes; E) trincheira



Anexo II- Normas para publicação nos periódicos



JOURNAL OF ARID ENVIRONMENTS

AUTHOR INFORMATION PACK

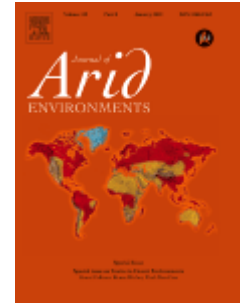


TABLE OF CONTENTS

ISSN: 0140-1963

- **Description** p.1
- **Impact Factor** p.1
- **Abstracting and Indexing** p.1
- **Editorial Board** p.1
- **Guide for Authors** p.3

DESCRIPTION

The Journal of Arid Environments is an international journal publishing original scientific and technical research articles on physical, biological and cultural aspects of **arid, semi-arid, and desert environments**. As a forum of multi-disciplinary and interdisciplinary dialogue it addresses research on all aspects of arid environments and their past, present and future use.

Research Areas include: **Paleoclimate** and **Paleoenvironments** **Climate** and **Climate Change** **Hydrological processes** and systems **Geomorphological processes** and systems **Soils** (physical and biological aspects) **Ecology** (Plant and Animal Sciences) **Anthropology** and **human ecology** (archaeology, sociology, ethnobotany, human adaptations, etc. Agriculture Land use grazing, mining, tourism, etc) **Land use** (agronomy, grazing, mining, tourism, etc) **Conservation** (theory, policy, sustainability, economics, heritage) **Land degradation** (desertification) and rehabilitation **Environmental monitoring** and management

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our [author services](#).

Please see our [Guide for Authors](#) for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our support pages: <http://support.elsevier.com>

IMPACT FACTOR

2013: 1.822 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2014

ABSTRACTING AND INDEXING

Science Citation Index

Scopus

Science Citation Index Expanded

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

D.A. Ravetta, Museo Egidio Feruglio, Trelew, Chubut, Argentina

Associate Editors:

C. Armas, Universidad de La Serena, La Serena, Chile

A. Cibils, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, USA

D. Eldridge, University of New South Wales, Sydney, New South Wales, Australia

L.K. Horwitz, Hebrew University of Jerusalem, Israel

D.S.G. Thomas, University of Oxford, Oxford, UK

E.R. Vivoni, Arizona State University, Tempe, Arizona, USA

L. Wang, Indiana University-Purdue University at Indianapolis (IUPUI), Indianapolis, Indiana, USA

Consulting Editors:

J.S. Carrion, Universidad de Murcia, Murcia, Spain

A.E. Castellanos, Universidad de Sonora, Hermosilla, Sonora, Mexico

A. Chehbouni, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Toulouse Cedex 9, France

N. Drake, King's College London, London, UK

R. Fernández, Universidad de Buenos Aires and IFEVA-CONICET, Buenos Aires, Argentina

J. Garatuza, Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregon, Son., Mexico

N. Lancaster, Desert Research Institute, Reno, Nevada, USA

M.E. Meadows, University of Cape Town, Rondebosch, South Africa

F.M. Padilla, University of Almeria, La Cañada, Almeria, Spain

F. Parrini, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa

S. Soliveres, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, Spain

Editorial Board:

S. Archer, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA

R. Balling, Jr, Arizona State University, Tempe, Arizona, USA

K.H. Berry, U.S. Geological Survey (USGS), Moreno Valley, California, USA

B.T. Bestelmeyer, New Mexico State University, La Cruces, New Mexico, USA

J.N. Blignaut, University of Pretoria, Derdepark, South Africa

D. Burnside, URS Corporation, East Perth, Western Australia, Australia

W.R.J. Dean, University of Cape Town, Rondebosch, Cape Town, South Africa

M.J. Delany, University of Bradford, Bradford, UK

D.L. Dunkerley, Monash University, Melbourne, Victoria, Australia

J.C. Guevara, Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas, Mendoza, Argentina

H. Heatwole, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA

J. Henschel, Gobabel Research and Training Centre, Walvis Bay, Namibia

M.T. Hoffman, University of Cape Town, Rondebosch, South Africa

C.F. Hutchinson, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA

F.M. Jaksic, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

E.G. Jobbagy

G.I.H. Kerley, Nelson Mandela Metropolitan University, Port Elizabeth, South Africa

K.T. Killingbeck, University of Rhode Island, Kingston, Rhode Island, USA

T. Luo, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing, China

S.R. Morton, CSIRO (The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), Alice Springs, Northern Territory, Australia

M.K. Seely, Gobabel Research and Training Centre, Walvis Bay, Namibia

P. Shaw, University of The West Indies, St. Augustine, Trinidad and Tobago

F. Tiver, University of South Australia, Mawson Lakes, South Australia, Australia

W.G. Whitford, New Mexico State University, La Cruces, New Mexico, USA

B. Wu, Chinese Academy of Forestry (CAF), Beijing, China

X.P. Yang, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing, China

GUIDE FOR AUTHORS

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a correct format for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

INTRODUCTION

Aims and Scope

The Journal of Arid Environments is an international journal publishing original scientific and technical research articles on physical, biological and cultural aspects of arid, semi-arid, and desert environments. As a forum of multi-disciplinary and interdisciplinary dialogue it addresses research on all aspects of arid environments and their past, present and future use.

Research Areas include: Paleoclimate and Paleoenvironments Climate and Climate Change Hydrological processes and systems Geomorphological processes and systems Soils (physical and biological aspects) Ecology (Plant and Animal Sciences) Anthropology and human ecology (archaeology, sociology, ethnobotany, human adaptations, etc. Agriculture Land use grazing, mining, tourism, etc) Land use (agronomy, grazing, mining, tourism, etc) Conservation (theory, policy, sustainability, economics, heritage) Land degradation (desertification) and rehabilitation Environmental monitoring and management

Types of paper

Research Articles: reporting original and previously unpublished work. Research papers have a reference limit of 50 cites

Short Communications: These are concise, but complete descriptions of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Examples include descriptive research on seed-germination conditions, plant responses to salinity, animal feeding habits, etc. Short communications have a reference limit of 20 cites

Short communications should not exceed 2400 words (six printed pages), excluding references and legends. Submissions should include a short abstract not exceeding 10% of the length of the communication and which summarizes briefly the main findings of the work to be reported. The bulk of the text should be in a continuous form that does not require numbered sections such as Introduction, Materials and methods, Results and Discussion. However, a Cover page, Abstract and a list of Keywords are required at the beginning of the communication and Acknowledgements and References at the end. These components are to be prepared in the same format as used for full-length research papers. Occasionally authors may use sub-titles of their own choice to highlight sections of the text. The overall number of tables and figures should be limited to a maximum of three (i.e. two figures and one table).

Review Articles: Critical evaluation of existing data, defined topics or emerging fields of investigation, critical issues of public concern, sometimes including the historical development of

topics. Those wishing to prepare a review should first consult the Editors or Associate Editors concerning acceptability of topic and length.

Think Notes: Short, one page notes describing new developments, new ideas, comments on a controversial subject, or comments on recent conferences will also be considered for publication.

Letter to the Editor: A written discussion of papers published in the journal. Letters are accepted on the basis of new insights on the particular topic, relevance to the published paper and timeliness.

Contact details for submission

Authors may send queries concerning the submission process, manuscript status, or journal procedures to the Editorial Office at jae@elsevier.com.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Human and animal rights

If the work involves the use of animal or human subjects, the author should ensure that the work described has been carried out in accordance with The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/index.html>; EU Directive 2010/63/EU for animal experiments http://ec.europa.eu/environment/chemicals/lab_animals/legislation_en.htm; Uniform Requirements for manuscripts submitted to Biomedical journals <http://www.icmje.org>. Authors should include a statement in the manuscript that informed consent was obtained for experimentation with human subjects. The privacy rights of human subjects must always be observed.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/p/7923.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

Contributors

Each author is required to declare his or her individual contribution to the article: all authors must have materially participated in the research and/or article preparation, so roles for all authors should be described. The statement that all authors have approved the final article should be true and included in the disclosure.

Changes to authorship

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

Copyright

This journal offers authors a choice in publishing their research: Open access and Subscription.

For subscription articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights. For more information on author rights for:

Subscription articles please see <http://www.elsevier.com/journal-authors/author-rights-and-responsibilities>. Open access articles please see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or their research funder **Subscription**
- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our access programs (<http://www.elsevier.com/access>)
- No open access publication fee

All articles published open access will be immediately and permanently free for everyone to read and download. Permitted reuse is defined by your choice of one of the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY): lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA): for noncommercial purposes, lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation, and license their new adaptations or creations under identical terms (CC BY-NC-SA).

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND): for noncommercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

To provide open access, this journal has a publication fee which needs to be met by the authors or their research funders for each article published open access.

Your publication choice will have no effect on the peer review process or acceptance of submitted articles.

The open access publication fee for this journal is **\$2500**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 5 potential referees. It is required that potential referees not be from the same institution as the authors. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal

will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes. Divide the article into clearly defined sections.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file.

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. 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>). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

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.

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 phone 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. 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

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. 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 and 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 editable 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.

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.).

Plant names

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*.

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. 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.

Artwork

Electronic artwork General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files. A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here. *Formats*

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Non-electronic artwork

Provide all illustrations as high-quality printouts, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Number illustrations consecutively in the order in which they are referred to in the text. They should accompany the manuscript, but should not be included within the text. Clearly mark all illustrations on the back (or - in case of line drawings - on the lower front side) with the figure number and the author's name and, in cases of ambiguity, the correct orientation. Mark the appropriate position of a figure in the article.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications that can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

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.

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.

Regular research papers have a reference limit of 50 cites and short communications should not exceed 20 cites.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

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 formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
 2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
 3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.
- Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Please note that Journal names and references should be provided in full.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and

to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, highresolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Data at PANGAEA

Electronic archiving of supplementary data enables readers to replicate, verify and build upon the conclusions published in your paper. We recommend that data should be deposited in the data library PANGAEA (<http://www.pangaea.de>). Data are quality controlled and archived by an editor in standard machine-readable formats and are available via Open Access. After processing, the author receives an identifier (DOI) linking to the supplements for checking. As your data sets will be citable you might want to refer to them in your article. In any case, data supplements and the article will be automatically linked as in the following example: [doi:10.1016/0016-7037\(95\)00105-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00105-9). Please use PANGAEA's web interface to submit your data (<http://www.pangaea.de/submit/>).

Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <http://www.elsevier.com/googlemaps>.

Interactive plots

This journal encourages you to include data and quantitative results as interactive plots with your publication. To make use of this feature, please include your data as a CSV (comma-separated values)

file when you submit your manuscript. Please refer to <http://www.elsevier.com/interactiveplots> for further details and formatting instructions.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Telephone

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/89/p/8045/. You can track your accepted article at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.



AGRICULTURE, ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT

An International Journal for Scientific Research on the Interaction Between
Agroecosystems and the Environment



**AUTHOR
INFORMATION PACK**

TABLE OF CONTENTS

ISSN: 0167-8809

- **Description** p.1
- **Audience** p.1
- **Impact Factor** p.2
- **Abstracting and Indexing** p.2
- **Editorial Board** p.2
- **Guide for Authors** p.4

DESCRIPTION

AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT

An International Journal for Scientific Research on the Interaction Between Agroecosystems and the Environment

Agriculture, Ecosystems and Environment publishes scientific articles dealing with the interface between **agroecosystems** and the **natural environment**, specifically how **agriculture** influences the environment and how changes in that environment impact agroecosystems. Preference is given to papers from experimental and observational research at the field, system or landscape level, from studies that enhance our understanding of processes using data-based biophysical modelling, and papers that bridge scientific disciplines and integrate knowledge. All papers should be placed in an international or wide comparative context.

The focus is on the following areas:

- Biological and physical characteristics and dynamics of agroecosystems.
- Ecology, diversity and sustainability of agricultural systems.
- Relationships between agroecosystems and the natural environment, including land, air, and water. • Agroecosystem and global environmental changes including climate change, greenhouse gases and air pollution.
- Ecological consequences of intensification, soil degradation, waste application, irrigation, and mitigation options.
- Environmental implications of agricultural land use and land use change.

All manuscripts are initially screened on their topic suitability and linguistic quality. The following topics are discouraged unless they provide new information regarding processes operating at the agroecosystem-environment interface: inventory and survey analysis and impact assessment, including life cycle and energy analysis; greenhouse or laboratory-based studies; development of models or methodologies and pure model application; studies that are purely agronomic, socioeconomic, or political.

AUDIENCE

Scientists in Agriculture, Forestry, Ecology and the Environment, Administrators and Policy-Makers in these fields.

IMPACT FACTOR

2013: 3.203 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2014

ABSTRACTING AND INDEXING

AGRICOLA

BIOSIS

Biological and Agricultural Index

Elsevier BIOBASE

Current Contents/Agriculture, Biology & Environmental Sciences

Ecological Abstracts
 Environmental Abstracts
 Environmental Periodicals Bibliography
 GEOBASE
 Science Citation Index
 TROPAG/RURAL Database
 Scopus
 EMBiology

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

J. Fuhrer, Agroscope, Institute for Sustainability Sciences, Climate/Air Pollution Research Group, Zurich, Switzerland

Associate Editors

J.P. Aeschlimann, Montpellier, France

C. Boutin, Environment Canada, Ottawa, ON, Canada

F. Burel, Université de Rennes I, Rennes, France

M. Carter, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Charlottetown, Pr. Edward Island, Canada

A.C. Edwards, Crop & Soil Systems, SRUC, Aberdeen, UK

S. Saggarr, Manaaki Whenua Landcare Research, Palmerston North, New Zealand

G. Seneviratne, Institute of Fundamental Studies, Kandy, Sri Lanka

B. Vanlauwe, International Institute of Tropical Agriculture, Nairobi, Kenya

T.A. Veldkamp, University of Twente, Enschede, Netherlands

Editorial Advisory Board

B. Amon, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Wien, Austria

A. Arunachalam, North Eastern Regional Inst. of Sci. & Technology, Nirjuli, Arunachal Pradesh, India

P. Audet, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada

E. Baggs, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland, UK

K.L. Bailey, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Saskatoon, Saskatchewan, Canada

- N. Batjes**, ISRIC - World Soil Information, Wageningen, Netherlands
- I. Cardoso**, Federal University of Vicosa, Vicosa, Brazil
- M. Centritto**, National Research Council of Italy (CNR), Monterotondo Scalo RM, Italy
- K.Y. Chan**, University of New South Wales, Wagga Wagga, New South Wales, Australia
- X. Chen**, Zhejiang University, Zhejiang, China
- F. Conen**, Universität Basel, Basel, Switzerland
- A. de Rouw**, Paris, France
- C. Drury**, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Harrow, Ontario, Canada
- F. Ewert**, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Germany
- L.G. Firbank**, Institute of Grasslands and Environmental Research, Okehampton, UK
- A.J. Franzluebbbers**, U.S. Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service (ARS), Watkinsville, Georgia, USA
- M. Frei**, Japan International Research Center for Agricultural, Tsukuba, Ibaraki, Japan
- J. Helenius**, University of Helsinki, University of Helsinki, Finland
- W.B. Hoogmoed**, Wageningen Universiteit, Wageningen, Netherlands
- Y. Huang**, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing, China
- M.J. Jones**, The Roaches, Dorset, UK
- M.B. Kirkham**, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA
- J. Leifeld**, Research Station Agroscope Reckenholz, Zürich, Switzerland
- F-M. Li**, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu Province, China
- Y. Li**, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China
- N.Z. Lupwayi**, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Lethbridge, Alberta, Canada
- A. Légère**, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Saskatoon, Saskatchewan, Canada
- E.J.P. Marshall**, Marshall Agroecology Limited, Winscombe, UK
- W.J. McConnell**, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA
- G. Moreno Marcos**, Universidad de Extremadura, Plasencia, Spain
- K. Mueller**, AgeResearch Ltd., Hamilton, New Zealand
- J. Nyamangara**, Int. Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics (ICRISAT), Bulawayo, Zimbabwe
- O. Oenema**, Wageningen Universiteit, Wageningen, Netherlands
- D.M. Olszyk**, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Corvallis, Oregon, USA
- A. Ouin**, INP ENSAT, Castanet-Tolosan, France
- J. Pant**, The WorldFish Center, Bayan Lepas, Penang, Malaysia
- D. Pimentel**, Cornell University, Ithaca, New York, USA

- H. Pleijel**, Göteborgs Universitet, Göteborg, Sweden
- S.L. Poggio**, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina
- D.D. Poudel**, University of Louisiana at Lafayette, Lafayette, Louisiana, USA
- A. Reenberg**, University of Copenhagen, Copenhagen K, Denmark
- M. Shiyomi**, Ibaraki University, Mito, Japan
- P. Smith**, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland, UK
- L. Sparrow**, Tasmanian Institute of Agricultural Research, Kings Meadows, Tasmania, Australia
- M. Sperow**, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, USA
- F. Van der Pol**, Royal Tropical Institute, Amsterdam, Netherlands
- E.F. Viglizzo**, INTA Centro Regional La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina
- C. Wellstein**, Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany
- H. Xiubin**, Chinese Academy of Sciences (CAS), Yangling Shaanxi, China
- H. Yao**, Zhejiang University, Hangzhou, China

GUIDE FOR AUTHORS

INTRODUCTION

Agriculture, Ecosystems and Environment deals with the interface between agriculture and the environment. Preference is given to papers that develop and apply interdisciplinarity, bridge scientific disciplines, integrate scientific analyses derived from different perspectives of agroecosystem sustainability, and are put in as wide an international or comparative context as possible. It is addressed to scientists in agriculture, food production, agroforestry, ecology, environment, earth and resource management, and administrators and policy-makers in these fields.

The journal regularly covers topics such as: ecology of agricultural production methods; influence of agricultural production methods on the environment, including soil, water and air quality, and use of energy and non-renewable resources; agroecosystem management, functioning, health, and complexity, including agro-biodiversity and response of multi-species ecosystems to environmental stress; the effect of pollutants on agriculture; agro-landscape values and changes, landscape indicators and sustainable land use; farming system changes and dynamics; integrated pest management and crop protection; and problems of agroecosystems from a biological, physical, economic, and socio-cultural standpoint.

Types of papers

Types of papers 1. Original papers (Regular Papers) should report the results of original research. The material should not have been published previously elsewhere, except in a preliminary form.

2. Reviews should cover a part of the subject of active current interest. They may be submitted or invited.

3. A Short Communication is a concise, but complete, description of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Short Communications should be as completely documented, both by reference to the literature and description of the experimental procedures employed, as a regular paper. They should not occupy more than 6 printed pages (about 12 manuscript pages, including figures, etc.).

4. In the section 'Comments', short commentaries on material published in the journal are included, together with replies from author(s).

5. The section 'News and Views' offers a forum for discussion of emerging or controversial ideas, new approaches and concepts, in all areas covered by the journal.

Contributions to this section should not occupy more than 2 printed pages (about 4 manuscript pages).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/p/7923.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

Changes to authorship

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement.

In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

Article Transfer Service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable for another journal, you may be asked to consider transferring your article to the alternative journal of your choice. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. More information about this can be found here: <http://www.elsevier.com/authors/article-transfer-service>.

Copyright

This journal offers authors a choice in publishing their research: Open access and Subscription.

For subscription articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights. For more information on author rights for:

Subscription articles please see <http://www.elsevier.com/journal-authors/author-rights-and-responsibilities>. Open access articles please see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or their research funder **Subscription**
- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through open access programs (<http://www.elsevier.com/access>)
- No open access publication fee

All articles published open access will be immediately and permanently free for everyone to read and download. Permitted reuse is defined by your choice of one of the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY): lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA): for noncommercial purposes, lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation, and license their new adaptations or creations under identical terms (CC BY-NC-SA).

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND): for noncommercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

To provide open access, this journal has a publication fee which needs to be met by the authors or their research funders for each article published open access.

Your publication choice will have no effect on the peer review process or acceptance of submitted articles.

The open access publication fee for this journal is **\$3300**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop

(<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of five potential referees. The suggested referees should not be part of your or your co-authors' institutions, nor should you or your co-authors have collaborated with them in the past three years. Potential referees should be experts in your research field and from several countries.

Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

PREPARATION

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor 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 word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. 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>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Manuscripts should be prepared with numbered lines, with wide margins and double line spacing throughout, i.e. also for abstracts, footnotes and references. Every page of the manuscript, including the title page, references, tables, etc. should be numbered.

However, in the text no reference should be made to page numbers; if necessary, one may refer to sections.

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.

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 phone 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. 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.

Optional graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the paper 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 paper. Graphical abstracts should be submitted with a caption. Supply captions separately, not attached to the graphical abstract. A caption should comprise a brief title (**not** on the graphical abstract itself). Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Maximum image size: 400 × 600 pixels (h × w, recommended size 200 × 500 pixels). Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

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 editable 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, please provide 4-6 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.

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.).

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

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.

Artwork

Electronic artwork General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.

- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the printed version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:
<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here. *Formats*

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi. TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications that can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

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.

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.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

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 EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to wordprocessing 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: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations:

<http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web

products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, highresolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <http://www.elsevier.com/googlemaps>.

Interactive plots

This journal encourages you to include data and quantitative results as interactive plots with your publication. To make use of this feature, please include your data as a CSV

(comma-separated values) file when you submit your manuscript. Please refer to <http://www.elsevier.com/interactiveplots> for further details and formatting instructions.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Phone numbers

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web) • Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print • If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/89/p/8045/. You can track your accepted article at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.