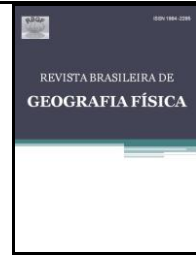




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge



Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro

Vanderlise Giongo¹; Tony Jarbas Ferreira Cunha¹; Alessandra Salviano Monteiro Mendes¹; Carlos Alberto Tuão Gava¹

¹Pesquisador (a) da Embrapa Semiárido. E-mail: vanderlise@cpatsa.embrapa.br; tony@cpatsa.embrapa.br; amendes@cpatsa.embrapa.br; gava@cpatsa.embrapa.br

Artigo recebido em 10/12/2011 e aceito em 27/12/2011

RESUMO

O Semiárido Tropical brasileiro representa 11% do território nacional sendo a Caatinga o Bioma mais representativo. A Caatinga é a forma de vegetação mais resiliente do Brasil. Porém, boa parte de sua área está profundamente antropizada e degradada pois está sob intensa utilização desde o período de colonização. As alterações devido à atividade agropastoril extensiva, associada ao superpastejo; ao extrativismo predatório; à substituição da vegetação nativa por culturas associada ao manejo inadequado do solo e da água modificam o ciclo do carbono (C) e do nitrogênio (N), dois elementos importantes na manutenção da dinâmica dos ecossistemas e que se encontram associados às mudanças climáticas. Os estudos sobre balanço de C e N estão sendo conduzidos em áreas de vegetação nativa e antropizadas, primeiramente relacionadas com a pecuária e a agricultura de sequeiro, por serem as atividades dominantes na região e, posteriormente com a agricultura irrigada, devido ao seu alto impacto no sistema produtivo. Um dos estudos com a avaliação do estoque de carbono na caatinga preservada, caatinga alterada, pastagem com capim buffel e cultivo irrigado de mangueira demonstrou o efeito da antropização com diferentes sistemas de culturas. Para os sistemas estudados a Caatinga preservada possui o maior estoque de carbono enquanto a mangueira o menor. Paralelamente, o desenvolvimento de tecnologias que viabilizem a agricultura de baixa emissão de carbono na zona semiárida constitui um grande desafio de pesquisa e desenvolvimento.

Palavras - chave: Caatinga; nitrogênio, mudança climática

Carbon in Soil Plant System of Brazilian Semiarid

ABSTRACT

The Brazilian Tropical Semiarid represents 11% of the country being the Caatinga Biome more representative. The Caatinga is the most resilient vegetation of Brazil. However, much of its area is deeply disturbed and degraded as it is under heavy use since the period of colonization. Changes due to extensive agropastoral activity, associated with overgrazing, the predatory extraction, the replacement of native vegetation by crops associated with inadequate change management of soil and water the cycle of carbon (C) and nitrogen (N), two important elements the maintenance of ecosystem dynamics and are associated with climate change. Studies of C and N balance are being conducted in areas of native vegetation and disturbed, primarily to rainfed agriculture and livestock, as they are the dominant activities in the region and later with irrigated agriculture, due to its high impact on production system. One study with the assessment of carbon stocks in preserved caatinga, changed caatinga, buffel grass pasture and irrigated mango crop demonstrated the effect of anthropic with different culture systems. For the systems studied, the preserved Caatinga has the largest stock of carbon, while the mango crop, the lowest. In parallel, the development of technologies that enable the farming low carbon in semiarid zone is a major challenge to research and development.

Keywords: Caatinga; nitrogen, climate change

1. Introdução

O Nordeste brasileiro abrange uma

área de 1,54 milhões de km², que corresponde

a 18% do território nacional e abriga 44,8

* E-mail para correspondência: vanderlise@cpatsa.embrapa.br (Giongo, V.).

milhões de habitantes, os quais representam 28% da população brasileira. Nessa região, localiza-se o Semiárido Tropical que possui uma extensão de 969.589 km², representando 11% do território nacional e, com 28 milhões de habitantes, é a região semiárida mais populosa do mundo.



Figura 1. Mapa do Bioma Caatinga.

Mapa elaborado por Iêdo Bezerra Sá e Tatiana Ayako Taura, no Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Semiárido.

O Bioma mais representativo do Semiárido Tropical brasileiro é a Caatinga e de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), este, possui uma área aproximada de 844.453 km² sendo considerado um bioma completamente

brasileiro (Figura 1) (IBGE, 2010). A Caatinga possui um dos tipos vegetacionais brasileiros mais complexos, cujas características principais são florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos muitos dos quais apresentam espinhos, microfilia e características xerofíticas. Também ocorrem espécies de Cactaceae e Bromeliaceae, enquanto as lianas são muito escassas (Araújo e Martins, 1999). Algumas espécies perenifólias também são encontradas e, segundo Araújo *et al.* (2002), a diversidade total de espécies herbáceas é significativa e assume grande importância por causa do seu valor forrageiro, medicinal e apícola.

Estudos também demonstram que a Caatinga é a forma de vegetação mais resiliente do Brasil. As áreas de sua ocorrência se encontram sob intensa utilização desde os primórdios da colonização no século 16 e com boa parte de sua área profundamente antropizada (Brasil, 2010). As causas desse processo estão associadas, principalmente, às práticas inadequadas de exploração de seus recursos naturais, destacando-se, a atividade agropastoril extensiva, associada ao superpastejo da Caatinga; ao extrativismo predatório; à substituição da vegetação nativa por culturas, principalmente por meio de queimadas e da retirada de madeira, surgindo assim os monocultivos (sistemas de cultivo espoliativos) de uma agricultura dependente de chuva; e aos cultivos irrigados, que

surgiram a partir do desmatamento das áreas, associados ao manejo inadequado do solo e da água. Essas alterações, ocasionadas pela ação humana, modificam os ciclos do carbono (C) e do nitrogênio (N), dois elementos importantes na manutenção da dinâmica dos ecossistemas e que se encontram associados às mudanças climáticas. A intervenção humana no ciclo global do C vem ocorrendo há milhares de anos. Entretanto, apenas nos dois últimos séculos o fluxo de C antrópico passou a ser comparável ao ciclo de C natural (Brasseur *et al.*, 2003). O uso contínuo do solo, pela atividade agropecuária, e a retirada de fitomassa para a produção de energia, não adequadamente planejados, de maneira geral, estão reduzindo o estoque de C do solo, bem como aumentando a emissão de CO₂ para a atmosfera no Semiárido Tropical brasileiro. O aumento da concentração de gases de efeito estufa, principalmente o gás carbônico (CO₂), tem se apresentado cada vez mais consistentes, em decorrência do uso inadequado dos recursos naturais (Pellegrino, 2007).

As mudanças climáticas estão afetando diretamente a agricultura e as áreas florestais brasileiras. O comportamento dos biomas brasileiros diante da aplicação dos cenários do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para 2091-2100, no Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC-INPE, de acordo com Nobre (2005) e Nobre *et al.* (2005), apresentam resultados em que se percebe, em maior ou menor grau, a

desertificação do Semiárido, podendo-se, hoje, antever uma perda significativa de biodiversidade pela dificuldade de adaptação do Bioma Caatinga às mudanças climáticas em poucas décadas.

A degradação dos solos constitui um dos fatores mais importantes para origem da desertificação (Ribeiro *et al.*, 2009). A susceptibilidade dos solos à erosão tem, portanto, importância fundamental na instalação do processo de desertificação e degradação do Bioma Caatinga.

Portanto, o processo de degradação deve ser contido e revertido, por meio da utilização de sistemas de manejo que infiram sustentabilidade aos sistemas produtivos e extrativistas. Os sistemas propostos devem ser de grande flexibilidade em termos de adaptabilidade aos diferentes espaços do Semiárido e capazes de, em harmonia com a necessidade de preservação ambiental, elevar os níveis de produtividade biológica a patamares de viabilidade econômica. Na operacionalização e implantação desses sistemas, várias práticas, métodos e conhecimentos de uso sustentado dos recursos naturais, independentemente dos produtos explorados, são incorporados, possibilitando associá-los em sistemas diversificados, maximizando a sua eficiência econômica e ambiental.

Entretanto, alguns desses sistemas ainda se encontram em estágio de desenvolvimento, que pode ser considerado preliminar, fazendo-

se necessária a realização de análise de risco e avaliação da sustentabilidade social, econômica e ambiental. É preciso avaliar e comparar as ações de mitigação e adaptação a serem propostas analisando-as frente aos cenários dos sistemas produtivos atuais.

A adoção de sistemas que favorecem o uso sustentável do agroecossistema proporciona melhorias significativas nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. O monitoramento da evolução desses sistemas tem sido realizado por meio do estabelecimento de indicadores de qualidade do solo (FAO, 2003). O carbono orgânico total (COT) ou a matéria orgânica do solo (MOS) são consagrados como os principais indicadores químicos de qualidade do solo (Larson e Pierce, 1994; Nortcliff, 2002) e tem sido muito utilizados nos estudos que visam avaliar, direta ou indiretamente, as condições químicas, biológicas e físicas do sistema solo. A sensibilidade da MOS em relação às práticas de manejo agrícola e seus efeitos sobre as propriedades emergentes do solo destacam a importância deste atributo no solo, o que lhe confere grande credibilidade na avaliação do estado do solo sob diferentes sistemas de manejo (Vezzani, 2001).

Em virtude das questões que envolvem as mudanças climáticas globais, uma série de trabalhos científicos recentes tem objetivado quantificar os reservatórios de C em diferentes regiões semiáridas do mundo, bem como determinar os fatores que controlam a sua dinâmica. No Semiárido Tropical

brasileiro, estão sendo realizados estudos em relação ao balanços de C e N em áreas de vegetação nativa e antropizadas, primeiramente relacionadas com a pecuária e a agricultura de sequeiro, por serem as atividades dominantes na região e, posteriormente com a agricultura irrigada, por causa do seu alto impacto no sistema produtivo.

2. Desenvolvimento

2.1 Sistema Solo

A entrada de carbono no sistema solo ocorre via a adição deste elemento pela síntese de compostos orgânicos no processo de fotossíntese. A quantidade adicionada de carbono em determinadas condições edafoclimáticas depende das espécies e dos sistemas de culturas utilizados. Já as perdas de carbono ocorrem principalmente pela liberação de CO₂ na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da matéria orgânica do solo e pelas perdas de carbono orgânico por lixiviação e erosão. A magnitude desses processos, em dadas condições edafoclimáticas, depende direta ou indiretamente, nos agroecossistemas, do manejo do solo (Mielniczuk, 2008) e nos ecossistemas, do extrativismo. As alterações climáticas também podem alterar a magnitude dos processos, alterando as taxas de adição e de decomposição de carbono, conseqüentemente alterando a quantidade de carbono estocada no solo.

É importante conhecer os solos do

Semiárido Tropical brasileiro para verificar a potencialidade que os mesmos possuem de estocar carbono e compreender a dinâmica deste elemento no ecossistema, para tal, é importante conhecer os fatores de formação. A geologia do Semiárido se modela em base a dois tipos de estruturas. A primeira constitui o embasamento cristalino, de ocorrência em 70% da região semiárida e a segunda é conformada pelas bacias sedimentares. Vários tipos de rochas de origem identificada entre os períodos Terciário e Quaternário da era Cenozoica caracterizam a geomorfologia do Semiárido. De acordo com Ab'Saber (2005), as formações rochosas se distribuem na paisagem através das depressões interplanálticas, as quais representam o aspecto mais típico do Semiárido nordestino, entremeadas por maciços antigos e chapadas esporádicas. Estas extensões constituem a maior parte do Semiárido, destacando-se nelas formações areníticas ricas em óxido férreo formadores de solos ácidos e empobrecidos.

Com isso, Jacomine (1996) dividiu a região em três áreas conforme a natureza do material originário: áreas do cristalino, áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos e áreas sedimentares. Sobre a base cristalina, os solos geralmente são rasos (cerca de 0,60 m), com baixa capacidade de infiltração, alto escoamento superficial e reduzida drenagem natural. Nas bacias sedimentares, os solos geralmente são profundos (superiores a 2 m, podendo

ultrapassar 6 m), com alta capacidade de infiltração, baixo escoamento superficial e boa drenagem natural.

O Semiárido Tropical brasileiro apresenta quatro ordens predominantes de solo que ocupam 68% da área (Jacomine *et al.*, 1971, 1977; Cunha *et al.*, 2008; Salcedo e Sampaio, 2008) fracionada, formando mosaico (Figura 1).

Tabela 1. Tipos e percentual de solos no Semiárido brasileiro.

Tipo de solo	Área	
	Km ²	%
Latossolo	203.614	21
Neossolo	184.222	19
Litólico		
Argissolo	145.438	15
Luvissolo	126.047	13
Planossolo	38.784	4
Neossolo	38.784	4
Regolítico		
Cambissolo	38.784	4
Vertissolo	9.696	1
Outros	184.222	19
Total	969.589	100

Fonte: Jacomine *et al.* (1971, 1977).

Algumas considerações podem ser realizadas a partir da análise da Tabela 2. A primeira delas é que em todos os solos, mesmo os mais argilosos, a fração areia é maior do que as frações argila e silte. Outro aspecto relevante, tomando por base que todos os solos estão sob um regime de temperatura e umidade muito semelhante é

que há relação direta entre os teores de carbono orgânico total, as frações argila, silte e areia e os teores de fósforo. Os Vertissolos e os Cambissolos apresentam os maiores teores de carbono orgânico total e também o maior teor de argila. Nesses solos, a matéria orgânica encontra-se, em grande parte, associada à superfície mineral de óxidos de ferro e, conforme Oades *et al.* (1989),

proporcionando alta estabilidade química. Os solos com menor conteúdo de argila possuem menor capacidade de proteger fisicamente o material orgânico, além da menor estabilidade química em consequência da menor quantidade de óxidos de ferro, o que leva, no período de chuvas, à maior ação dos micro-organismos e das enzimas.

Tabela 2. Relação entre teor de carbono, granulometria e fósforo nos horizontes superficiais dos principais tipos de solos no Semiárido Tropical brasileiro, em áreas de vegetação de Caatinga hipo e hiper-xerófila.

Tipo de solo	Número de observações	COT	Argila	Silte	Areia	P
		-----g.Kg ⁻¹ -----				mg.Kg ⁻¹
Vertissolo	16	12,3	374	238	388	368
Cambissolo	13	12,2	295	212	493	301
Luvissolo	47	11,8	176	258	566	235
Neossolo Litólico	45	10,4	132	250	618	239
Latossolo	41	9,7	250	130	620	173
Argissolo	90	8,9	147	157	696	167
Planossolo	68	7,4	105	188	707	162
Neossolo Regolítico	20	4,9	37	105	858	99
Médias ponderadas	340	9,3	163	189	648	196

Na segunda consideração, integrando uma análise amplificada (Tabelas 1 e 2), observa-se que os Vertissolos e os Cambissolos apresentam os maiores teores de carbono orgânico total (12,3 g.Kg⁻¹ e 12,2 g.Kg⁻¹) mas, em termos de área conjunta, ocupam somente 5% da área total do Semiárido. Já os Luvissolos e os Neossolos Litólicos apresentam teores de carbono

orgânico total de 11,8 g.Kg⁻¹ e 10,4 g.Kg⁻¹, com uma área de abrangência de 32%. Seguindo a ordem de importância relativa, em relação ao teor de carbono, os Latossolos e os Argissolos ocupam 36% das regiões e apresentam teores de carbono de 9,7 g.Kg⁻¹ e 8,9 g.Kg⁻¹. Finalmente, com uma área de abrangência de 8%, os Planossolos e os Neossolos Regolíticos apresentam os teores

mais baixos de carbono orgânico total, respectivamente 7,4 g.Kg⁻¹ e 4,9 g.Kg⁻¹. Integrando o componente fósforo a esta análise, deve-se considerar que em função dos fatores de formação, os solos apresentarão diferentes capacidades de suporte de fitomassa. Logo, os solos que apresentam maiores teores de fósforo, associado a profundidade do perfil, também podem apresentar maiores teores de carbono orgânico do solo.

Pesquisas direcionadas à determinação do estoque de C no solo ainda são incipientes no Semiárido Tropical brasileiro. Tiessen *et al.* (1998) estimaram o estoque de carbono para solos do Semiárido Tropical brasileiro em 20 Mg ha⁻¹ para a camada de 0-20 cm de profundidade. No entanto, em Luvissole crômico, sob Caatinga hiperxerófila no Semiárido cearense, Maia *et al.* (2007) encontraram estoque de carbono de 48,4 Mg ha⁻¹ e Kauffman *et al.* (1993), em solo sob Caatinga no Semiárido pernambucano, encontraram valores de 26,2 Mg ha⁻¹, ambos na mesma profundidade. Amorim (2009) avaliou a variação sazonal dos estoques médios de Carbono em Argissolo sob Caatinga, no Município de Petrolina, PE, e observou que no período de estiagem os valores foram de 16,5 Mg ha⁻¹; 11,8 Mg ha⁻¹ e 9,89 Mg ha⁻¹ e após o período chuvoso 14,2 Mg ha⁻¹; 10,0 Mg ha⁻¹ e 8,99 Mg ha⁻¹ nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, respectivamente. Os estoques médios de carbono na camada de 0-20 cm também foram

superiores aos estimados por Tiessen *et al.* (1998), alcançando 28,3 Mg ha⁻¹ e 24,2 Mg ha⁻¹ para os períodos de estiagem e após a chuva, respectivamente. Fraga e Salcedo (2004) encontraram, em Caatinga hiperxerófila, valores de 17,9 Mg ha⁻¹ e 28,6 Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-7,5 cm e 0-15 cm, respectivamente.

O Neossolo Litólico apresenta o maior estoque de carbono na camada superficial, 27,4 Mg.ha⁻¹, seguido do Luvissole, Vertissolo, Cambissolo e Latossolo, enquanto o Neossolo Regolítico possui o menor estoque, 12,1 Mg ha⁻¹ (Tabela 3).

Uma análise comparativa dos estoques de carbono dos diferentes biomas brasileiros foi realizada por Fidalgo *et al.* (2007), utilizando-se a base de dados de Chagas *et al.* (2004) com dados provenientes da caracterização de diferentes solos. A partir dos dados apresentados pelos autores verifica-se que o acúmulo médio de carbono orgânico total é de 23,7 Mg ha⁻¹ para os solos do Bioma Caatinga, valor menor do que os apresentados para os demais biomas (Tabela 4).

Elevada proporção dos solos do Semiárido ou cerca de 82% da área apresenta solos de baixo potencial produtivo, seja por limitações de fertilidade, de profundidade do perfil, por limitações de drenagem, elevados teores de Na trocável ou baixos teores de matéria orgânica (Silva, 2000; Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga, 2004). Práticas inadequadas de produção agropecuária, associadas à característica do

solo de apresentar limitação de uso ou de baixo potencial produtivo, tem contribuído, ao longo do tempo, com o processo de

degradação de muitos espaços vulneráveis, tornando inviável a recuperação dos mesmos (Silva, 2000).

Tabela 3. Principais classes de solo na região semiárida brasileira, em áreas de vegetação de Caatinga hiper e hipoxerófila, teores médios e estimativa do estoque de COT no horizonte superficial (Ap).

Classe de Solo	Profundidade cm	COT g kg ⁻¹	Estoque COT Mg ha ⁻¹
Vertissolo	13.1	12.3	24.1
Cambissolo	12.4	12.2	22.7
Luvisolo	13.7	11.8	24.2
Neossolo Litólico	17.6	10.4	27.4
Latossolo	15.6	9.7	22.7
Argissolo	15.3	8.9	20.4
Planossolo	18.2	7.4	20.2
Neossolo Regolítico	16.5	4.9	12.1
Médias ponderadas	15.9	9.3	22.2

Tabela 4. Estoque de carbono orgânico do solo em quatro Biomas brasileiros, obtidos em áreas sob vegetação nativa.

Bioma	Estoque C Kg.m ⁻²	Área Km ²	Estoque C 10 ⁹ Mg
Amazônia	2,9075	3.408.607,63	9,91
Caatinga	2,3680	497.774,19	1,18
Cerrado	3,9173	859.528,86	3,37
Mata Atlântica	4,1846	124.525,93	0,52

Fonte: Adaptado de Chagas *et al.* (2004) e Fidalgo *et al.* (2007).

O uso indiscriminado dos recursos, seja através da supressão da vegetação em grandes extensões para a conversão em áreas de agricultura e pastagens, da prática de queimadas, da extração de lenha sem

planejamento, da abertura de áreas para mineração e do excesso de carga animal em áreas de vegetação natural da Caatinga, tem efeitos negativos sobre a estabilidade e a capacidade regenerativa dos solos e da

vegetação, prejudicando a regeneração natural e dificultando a permeabilidade dos solos.

Pela característica da semiaridez a capacidade de suporte de biomassa do Semiárido Tropical brasileiro é menor quando comparada às regiões úmidas tropicais ou temperadas. Conforme pode ser observado na Tabela 5 o teor de Carbono nos solos é menor quando comparado aos teores de carbono presente na Amazonia, ou florestas temperadas, e é similar às regiões Semiáridas do mundo.

2.2 Sistema Planta

Para definir a contribuição do sistema planta no balanço de carbono de um ecossistema ou agroecossistema é necessário conhecê-lo detalhadamente. Os agroecossistemas dominantes no Semiárido são compostos por monocultivos, logo, possuem baixa variabilidade e estimativas diretas ou indiretas são relativamente fáceis de serem realizadas. Porém, estimar a contribuição da vegetação nativa, a Caatinga, permanece um desafio. Constata-se, porém, que por causa da grande extensão territorial que ocupa e os diferentes ambientes em que pode ser encontrada, a Caatinga encerra uma enorme variabilidade de faciações fitogeográficas evidenciadas, principalmente, pelas diferenças fisionômicas, densidades, composição de espécies e aspectos fenológicos (Andrade-Lima, 1981; Rodal *et al.*, 1992; Sampaio *et al.*, 1998; Brasil, 2010). A carência de informações sobre a vegetação de caatinga se torna muito

evidente quando se procura dados relativos, por exemplo, à estrutura fitossociológica, à dinâmica de populações, aos processos de sucessão ecológica e de regeneração natural dos ecossistemas aí encontrados (Ibama, 1992; Araújo Filho, 1996).

Pode-se afirmar que o Bioma Caatinga é composto por diferentes “Caatingas” caracterizadas como formações arbóreo-arbustivas, hierarquizadas em diversas tipologias, muitas das quais ainda são praticamente desconhecidas do ponto de vista ecológico. Numa tentativa de adaptar a classificação da vegetação brasileira a um sistema universal, a Caatinga foi classificada, na década de 1990, como Savana estépica (IBGE, 1992), dividida em quatro tipos:

1) Florestada – Composta por espécies medindo em torno de 5 m a 7 m de altura, mais ou menos densas, com grossos troncos e esgalhamento ramificado, provido de espinhos e/ou acúleos. São decíduas na época desfavorável. Os gêneros dominantes são: *Cavanillesia*, *Chorisia*, *Acacia*, *Mimosa* e outros da família Leguminosae.

2) Arborizada – Apresenta as mesmas características florísticas da Caatinga florestada. Difere apenas na altura dos indivíduos (mais baixos) e no seu espaçamento, que possui maior abertura entre os indivíduos. Predominam as seguintes espécies e gêneros: *Spondias tuberosa*, *Commiphora leptophloeos*, *Cnidioscolus phyllacanthus*, *Aspidosperma pyriforme* e *Mimosa* sp.

3) Parque – Sua característica marcante é a pseudo-orientação de plantas lenhosas raquíticas sobre denso tapete gramíneo-lenhoso de hemicriptófitos e carnéfitos, composto, principalmente, pelas espécies: *Mimosa acustipula*, *Auxema oncolalyx*, *Combretum leprosum* e *Aspidosperma pyrifolium*. Esta formação recobre pequenas depressões capeadas que, na época das chuvas, são alagadas, por causa da má drenagem dos solos dominantes.

4) Gramíneo-lenhosa – Conhecida, também por campo espinhoso, caracteriza-se por um extenso tapete graminoso salpicado de plantas lenhosas anãs, espinhosas. Os campos são recobertos inteiramente pelo capim-panasco (*Aristida* sp.), que apresenta aspecto de palha na seca e enverdece na época das chuvas, e entremeados por indivíduos do gênero *Jatropha*, da família Euphorbiaceae.

A vegetação de Caatinga está distribuída em 17 grandes unidades de paisagens, por sua vez subdivididos em 105 unidades geoambientais (Rodal e Sampaio, 2002), de um total de 172 no Nordeste como um todo (Silva *et al.*, 1993).

A Caatinga foi reconhecida como uma das 37 regiões naturais do planeta. De acordo com Giuletta *et al.* (2006), foram registradas cerca de 1.500 espécies para a região, sendo as famílias Leguminosae (18,4%), Convolvulaceae (6,82%), Euphorbiaceae (4,83%), Malpighiaceae (4,7%) e Poaceae (4,37%), consideradas as mais ricas em número de espécies. A presença de espécies

endêmicas indica que se trata de um ecossistema rico em biodiversidade, sendo a flora representada por cerca de 20 gêneros e mais de 300 espécies, com destaque para a família Leguminosae, detentora de 80 espécies de distribuição exclusiva nessa região (Giuletta *et al.*, 2002). A capacidade que as plantas possuem de absorver e armazenar carbono tornou-se estratégia mitigatória aos efeitos das mudanças climáticas. Com isso, a quantificação do estoque de carbono na biomassa dos ecossistemas é fundamental para caracterizar o status de um bioma e desenvolver estratégias sustentáveis.

Segundo Sampaio e Freitas (2008), há cinco razões principais para o interesse no estoque e produção de biomassa na vegetação nativa do Semiárido Tropical brasileiro: parte da biomassa é utilizada na produção de lenha; outra parte constitui a pastagem nativa, usada nos sistemas agropecuários; a acumulação de biomassa e de nutrientes nela contidos fazem parte da etapa de pousio no ciclo da agricultura itinerante; a revegetação de área degradada ou onde a agricultura é descontinuada pode entrar no mercado de carbono, e a vegetação nativa é o melhor indicador da capacidade de produção de um sistema. Entretanto, são relativamente poucos os trabalhos sobre biomassa aérea da Caatinga.

A biomassa deve ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do

carbono fixado nos ecossistemas florestais (Sanquetta e Balbinot, 2004) e nos agroecossistemas. O conhecimento dos reais teores de carbono de um bioma é um dos pontos-chave na elaboração de projetos ambientais voltados ao sequestro de carbono (Vieira *et al.*, 2009). Geralmente é adotado um valor fixo, cujo o teor de carbono é de 50% da fitomassa (Intergovernmental Panel On Climate Change, 2003), o que pode induzir graves erros de estimativas (Koehler *et al.*, 2002).

Os teores de carbono das espécies do Cerrado e da Caatinga foram determinados por Vieira *et al.* (2009), em diversos compartimentos das árvores: folhas, galhos, raízes, cascas e fustes. Os teores médios de carbono para as espécies do Cerrado foram: 43,24% para a folhagem, 42,06% para os galhos, 40,09% para as raízes, 41,01% para os fustes e 40,60% para as cascas. Já para o Bioma Caatinga foram encontrados os seguintes resultados: 47,39% para a folhagem, 44,68 para os galhos, 44,38% para as raízes, 43,75% para os fustes e 44,60 % para as cascas. Nas espécies estudadas, as análises estatísticas mostraram que existem diferenças entre os teores para os dois biomas analisados, sendo esses sempre maiores nas espécies da Caatinga. A folhagem foi o compartimento que apresentou maior valor do teor de carbono, tanto para o Cerrado como para a Caatinga. Concluiu-se que os teores de carbono são sempre inferiores aos sugeridos pelo Intergovernmental Panel on Climate

Change (2003), o que levaria a uma superestimação dos valores estocados na fitomassa.

Embora seja importante realizar determinações diretas dos teores de carbono, há uma grande dificuldade para se estimar a biomassa média total produzida pela vegetação da Caatinga, por causa, principalmente, da grande variabilidade espacial e sazonal que ocorre nessa região atrelada ao regime hídrico e ao tipo de solo. Kauffmann *et al.* (1993), realizando medidas diretas da produção de fitomassa aérea total, em uma área de Caatinga, situada no Estado de Pernambuco, determinaram uma quantidade de 75 Mg ha⁻¹. Há áreas com vegetação rala e baixa e áreas com vegetação alta e densa, com variação estimada entre 2 Mg ha⁻¹ e 156 Mg ha⁻¹ (Salcedo e Sampaio, 2008). Já para a biomassa total de serrapilheira medidas em áreas de Caatinga preservada os valores podem variar de 6,5 Mg ha⁻¹ a 20,1 Mg ha⁻¹ (Martins *et al.*, 2008; Amorim, 2009).

Estima-se que a produção anual de fitomassa da Caatinga varia de 1,0 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ a 7,0 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. A capacidade de acumulação de biomassa da Caatinga pode ser traduzida em número de anos necessários para repor o estoque. O tempo de renovação do estoque de lenha permitindo uma exploração sustentável tem sido estimado entre 10 a 15 anos (IBAMA, 1992). O tempo necessário para renovação da vegetação na etapa de pousio da agricultura itinerante com o

acúmulo de nutrientes suficiente na biomassa vegetal e no solo para o reinício do ciclo, também tem sido estimada nessa faixa. Tanto a variabilidade de clima quanto de solo, bem como a intensidade de degradação durante o ciclo da agricultura convencional tornam as médias gerais pouco válidas frente à grande diversidade de situações.

Outra forma de acompanhar a produtividade da vegetação arbórea e arbustiva é medir a queda de folhas e detritos. A biomassa das folhas, que corresponde entre 5% a 10% da biomassa aérea total, é renovada a cada ano e compõe grande parte do folheto (60-80%) (Salcedo e Sampaio, 2008). Uma Caatinga arbórea pode produzir de 2,9 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ a 5,3 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ de folhas (Dantas, 2003). Se considerarmos que a fitomassa aérea contém 40% de carbono, pode-se estimar que uma Caatinga arbórea aporta 1,16 Mg C.ha⁻¹.ano a 2,12 Mg C.ha⁻¹.ano apenas com a queda das folhas.

Se os dados de produção e estoque de biomassa da parte aérea da Caatinga são escassos, dados do sistema radicular são praticamente inexistentes (Sampaio e Freitas, 2008). Estes são limitados a três trabalhos, dois deles restritos às camadas superficiais e às raízes finas, que quantificou estoque de raízes até 5 mm de espessura e até 30 cm de profundidade variando de 3 Mg.ha⁻¹ a 8 Mg.ha⁻¹ (Salcedo *et al.*, 1999), enquanto aos de todas as raízes até 1 m de profundidade atingiram 12 Mg.ha⁻¹ (Tiessen *et al.*, 1992). A produção de raízes finas, até 2 mm de

espessura foi estimada por Medeiros (1999), por diferença do estoque de carbono no solo ao longo anos, obtendo-se o valor de 2,4 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. A variabilidade da produção de fitomassa aérea e de raízes ocorre porque na região semiárida há grande variedade de paisagens e ambientes, sendo esta uma característica marcante da região.

A instalação de plantios comerciais no Semiárido Tropical brasileiro é uma alternativa para suprir a demanda da região por produtos florestais e reduzir o corte de espécies nativas. Assim, a introdução de espécies de alta produção de biomassa, adaptadas às condições edafoclimáticas do Semiárido, representa uma alternativa de renda para os agricultores, “auxilia” na preservação do Bioma e “aumenta” a possibilidade de estocar carbono na fitomassa aérea e radicular. Neste sentido, Drumond *et al.* (2008) avaliaram a produção e distribuição de biomassa de algumas espécies arbóreas introduzidas, de uso múltiplo para a região semiárida, em solos de baixa fertilidade, comparando a uma espécie nativa, de alto potencial de produção de biomassa. Entre as espécies estudadas (Tabela 5) a *Mimosa tenuiflora* apresentou a menor produção de biomassa seca de parte aérea e raiz, respectivamente, 21,62 Mg.ha⁻¹ e 6,60 Mg.ha⁻¹, enquanto a *Caesalpinia velutina* apresentou produção de biomassa aérea e radicular de 51,64 Mg.ha⁻¹ e 12,04 Mg.ha⁻¹, respectivamente.

Há necessidade de maiores informações

a respeito do estoque de carbono na fitomassa aérea e radicular da Caatinga e nos agroecossistemas. Neste sentido é necessário desenvolver trabalhos em grandes redes de pesquisa para que se abranja a grande

variabilidade característica do Semiárido Tropical brasileiro. Para tanto, é importante reunir todos os trabalhos existente, orientar as iniciativas pontuais e planejar estrategicamente os futuros estudos.

Tabela 5. Biomassa e carbono da parte aérea e radicular de espécies arbóreas de usos múltiplos na região semiárida do Nordeste brasileiro, após 8 anos de plantio.

Espécie	Biomassa aérea	Carbono*	Biomassa radicular	Carbono*	Relação R/PA
	Mg.ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹	-
<i>A. herert-smithii</i>	26,41	13,2	11,52	5,76	0,43
<i>C. coriaria</i>	22,99	11,5	7,60	3,80	0,33
<i>C. velutina</i>	51,64	25,8	12,04	6,02	0,23
<i>L. diversifolia</i>	36,64	18,3	9,18	4,59	0,25
<i>M. tenuiflora</i>	21,62	10,8	6,60	3,30	0,30

*Valores estimados conforme Intergovernmental Panel on Climate Change (2003).

Fonte: Adaptado de Drumond *et al.* (2008).

2.3. Efeito do Uso da Terra no Balanço de Carbono Orgânico

Em 1984, a cobertura do Bioma Caatinga foi estimada em 68% de sua vegetação remanescente, sendo 32% de áreas antropizadas, ou seja, espaços ocupados por agricultura ou alterados pela ação humana (Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga, 2004). Posteriormente, em 1990, foram realizadas atualizações pela SUDENE e IBAMA, que confirmaram redução expressiva da cobertura florestal remanescente. Segundo essa atualização, a área total com vegetação de Caatinga passou de 68% para 47%. No mesmo período, as áreas antropizadas aumentaram de 32% para 53% da superfície total do Bioma.

Em 2004, os trabalhos de mapeamento do bioma foram retomados através do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO). Os resultados obtidos revelaram uma área de vegetação remanescente superior a 43% da área total do bioma. Com base nesse levantamento foi possível estimar a superfície dos remanescentes de vegetação da Caatinga em 363.115 km² e as superfícies de outras formações florestais pertencentes ao bioma (encraves de formações do cerrado, tipos florestais em estágio secundário de desenvolvimento, formações pioneiras e florestas de transição ou ecótonos nas áreas de contato da Caatinga com o Cerrado e os domínios do Bioma de Mata Atlântica). A

área dos remanescentes de vegetação da (Brasil, 2010).
 Caatinga, em 2008, foi de 53,62% (Figura 2)



Figura 2. Mapa do Bioma Caatinga, contendo a distribuição espacial das áreas com vegetação (verde), desmatamento acumulado até 2008 (marrom) e corpos d'água (azul). Fonte: Brasil (2010).

O desmatamento acumulado por décadas reflete no estoque de carbono orgânico total do solo nos diferentes biomas. As áreas antropizadas dos biomas Caatinga,

Cerrado e Mata Atlântica apresentam estoque de carbono do solo menor quando comparadas a vegetação nativa (Tabela 6).

Tabela 6. Estoque de carbono orgânico total do solo na vegetação nativa e em área antropizadas de diferentes biomas.

Bioma	Vegetação nativa	Área Antropizada
	Estoque de Carbono	
	----- Mg.ha ⁻¹ -----	
Amazonia	29,08	33,35
Caatinga	23,68	22,27
Cerrado	39,17	33,52
Mata Atlântica	41,85	37,51

Fonte: Adaptado de Chagas *et al.* (2004) e Fidalgo *et al.* (2007).

O desmatamento decorrente da agricultura de subsistência irradia-se pelo bioma por causa da abertura anual de novas áreas para lavouras. Este fenômeno ocorre

porque a agricultura de subsistência prevê o uso intensivo da mesma área de produção por um período de 3 a 4 anos, permanecendo posteriormente por 7 a 8 anos sem uso,

obedecendo a um ciclo de pousio ou recomposição de vegetação para nova retirada de madeira, queimadas, pastejos e implantação de culturas.

Diferentemente dos demais biomas do País, a produção agrícola em área dependentes de chuva (agricultura de subsistência) não é responsável por frentes importantes de desmatamento no Bioma Caatinga. Porém, a demanda por lenha e carvão amplia as áreas desmatadas para melhorar a renda com a venda da madeira. A vegetação nativa, para a produção de lenha e carvão vegetal, constitui mais de 30% da matriz energética (Campello, 2008). Assim, a utilização da vegetação lenhosa para a produção de lenha e carvão vegetal conjuntamente com a conversão de uso visando à produção agropecuária são identificadas como as maiores ameaças para a fragmentação das áreas naturais.

Nos últimos 30 anos, a agricultura comercial

dependente da irrigação e de insumos externos, que se estrutura em torno da produção em larga escala, principalmente orientada para mercados de exportação, vem assumindo grande importância para a região. Os cultivos irrigados são relevantes para criação de emprego e renda em alguns polos de produção do Semiárido, destacando-se a produção irrigada de manga, uva, maracujá, melão, mamão, banana, acerola, graviola e caju, entre outras (Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga, 2004).

As alterações decorrentes do processo de antropização no Bioma Caatinga alteram o estoque de carbono no solo e na vegetação. O efeito de diferentes sistemas de cultura pode ser evidenciado no estudo, realizado em 2009 (Giongo, 2011), que avaliou o estoque de carbono na Caatinga preservada, Caatinga alterada, pastagem com capim-buffel e cultivo irrigado de mangueira, em um Argissolo Amarelo (Tabela 7).

Tabela 7. Estoque de carbono de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos. Petrolina, Pernambuco, 2011.

Profundidade	Caatinga preservada	Caatinga Alterada	Buffel	Mangueira
	CO ₂ equivalente			
Cm	----- Mg. ha ⁻¹ -----			
0,0 - 2,5	18,32 ^a	8,03b	8,49b	5,24c
2,5 - 5,0	9,25 ^a	6,25b	6,85b	4,49c
5,0 - 7,5	7,35 ^a	5,88ab	4,96b	3,71bc
7,5 - 10,0	6,38	5,51	4,81	3,68
10,0 - 15,0	9,13 ^a	10,40 ^a	8,38a	4,83b
15,0 - 20,0	8,22 ^a	8,83 ^a	6,84b	3,59c
0,0 - 20,0	58,64 ^a	44,91b	40,34b	25,54c

*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha diferem pelo teste de Duncan (P ≤ 0,05).

Em relação às quantidades totais estocadas de CO₂ equivalente na camada de 0,0-20,0 cm, a Caatinga preservada, com 58,64 Mg.ha⁻¹, possui o maior valor entre os sistemas. A área de Caatinga alterada foi desmatada em 1983 e abandonada em 1989, possuindo um estoque de CO₂ equivalente na camada de 0,0-20,0 cm 44,91Mg.ha⁻¹. A área contendo capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), com um estoque de CO₂ equivalente na camada de 0,0-20,0cm 40,34 Mg.ha⁻¹, foi implantada no ano de 1977, após a retirada da vegetação nativa da Caatinga. A área irrigada com o cultivo de mangueira foi instalada em 2004. O desmatamento desta área ocorreu em 1998 e no período de 1999 a 2004 foi cultivada com culturas anuais e possui o menor estoque de carbono entre os sistemas avaliados. As elevadas temperaturas e intensidade de insolação, características do clima semiárido, associadas à alta disponibilidade de água, nos sistemas de cultivo da manga irrigada aumenta a entropia do sistema, favorecendo o estado de mínima energia e máxima desordem, implicando na redução do estoque de carbono.

3. Conclusão

Compreender a dinâmica do carbono e nitrogênio e conhecer o estoque destes elementos nos ecossistemas tornou-se um desafio para manutenção da vida nas condições em que se encontra atualmente.

Estimar os estoques de carbono e nitrogênio no sistema solo-planta e conhecer a

dinâmica destes elementos no ambiente é difícil diante da complexidade de clima, solo, cobertura vegetal e uso da terra do Bioma Caatinga.

O uso indiscriminado da Caatinga, por meio do desmatamento para obtenção de lenha e uso agrícola tem conduzido à aceleração do processo de degradação do bioma. Tornou-se um desafio propor novas alternativas tecnológicas que favoreçam a sustentabilidade da base produtiva da região em longo prazo e a manutenção da biodiversidade.

É importante desenvolver tecnologias que reduzam o uso de recursos naturais e as emissões de gases de efeito estufa, aumentando os sumidouros.

4. Referências

- Ab'Saber, (2005) A. *Os domínios da natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas*. 3. ed. São Paulo: Ateliê,. 160 p.
- Addiscot, T. (1992) M. Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Science*, v. 46, p. 161-168,
- Amorim, L. B. (2009). *Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após desmatamento sem queima*. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 66p.
- Andrade-Lima, D. (1981). The caatingas

dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 149-153.

Araújo Filho, J. A. (1996) Desenvolvimento sustentável da Caatinga. Sobral: EMBRAPA-CNPC. 20 p.

Araújo, E.L.; Silva, S.I.; Ferraz, E.M.N. Herbáceas da caatinga de Pernambuco. In: Tabarelli M, Silva JMC (Eds) (2002). Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco. Recife, Editora Massagana. p. 183-205.

Araújo, F. S.; Martins, F. R. (1999) Fisionomia e organização da vegetação do carrasco no Planalto da Ibiapaba, Estado do Ceará. *Acta Botanica Brasilica*, v. 13, p. 1-14.

Araújo, E. L.; Silva, S. I.; Ferraz, E. M. N. (1981). Herbáceas da caatinga de Pernambuco. In: Tabarelli, M.; Silva, J.M.C. da (Org.). *Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco*. Recife: Secretaria de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente. v. 1, p. 183-205.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2010). Plano de ação para prevenção e controle ao desmatamento na Caatinga (versão preliminar). Brasília, DF.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. (2010) Caatinga. Disponível em: <<http://homolog-w.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=203>>. Acesso em: 30 abr.

Brasseur, G, Prinn, RG, Pszenny, AAP, Eds. (2003) *Atmospheric Chemistry in a Changing World. An Integration and Synthesis of a Decade of Tropospheric Chemistry Research. The International Global Atmospheric Chemistry Project of the International Geosphere-Biosphere Programme*. Berlin & Heidelberg, Springer-Verlag.

Campello, B. F. (2008). O uso da energia de biomassa no Bioma Caatinga. In: *Semana do meio ambiente, 5.*, Recife. Mudanças climáticas e o Nordeste brasileiro. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2008. 1 CD-ROM.

Chagas, C.S.; Carvalho Júnior, W.; Bhering, S.B.; Tanaka, A.K.; Baca, J.F.M. (2004). Estrutura e organização do Sistema de Informações Georreferenciadas de solos do Brasil (SIGSOLOS – Versão 1.0). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 865-876.

Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga (Brasil). (2004). *Cenários para o Bioma Caatinga*. Recife: SECTMA. 283 p.

Cunha, T.J.F.; Silva, F.H.B.B. da; Silva, M.S. L. da; Petrere, V.G.; Sá, I.B.; Oliveira Neto, M.B.; Cavalcanti, A.C. (2008). Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina: Embrapa Semi-Árido. 60 p. il. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).

Dantas, S. V. (2003). *Dinâmica da produção*

e decomposição de folhedo e ciclagem de nutrientes em um ecossistema de Caatinga arbórea no agreste da Paraíba. 32 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Doran, J. W.; Parkin, T. B., Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A. (Ed.). (2003). *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison: Soil Science Society of America. p. 3-22. (SSSA. Publication, 35).

Drumond, M.A.; Pires, I.E.; Oliveira, V.R. de; Oliveira, A.R. de; Alvarez, I.A. (2008). Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no Semi-Árido brasileiro. *Revista Árvore*, v. 32, p. 665-669.

FAO. (2011). Data sets, indicators and methods to assess land degradation in drylands. Rome, 2003. 123 p. (FAO. World Soil Resources Reports, 100). Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/showcdr.asp?urlfile=/DOCREP/005y4609E/Y4609E00.HTM>>.

Fidalgo, E. C. C.; Benites, V. M.; Machado, P. L. O. A.; Madari, B. E.; Coelho, M. R.; Moura, I. B.; Lima, C. X. (2007). Estoque de carbono nos solos do Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 27 p.

Fraga, V. S.; Salcedo, I. H. (2004). Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Science*

Society America Journal, Madison, v. 68, p. 215-224

Giongo, V.; Galvão, S. R. da S.; Mendes, A. M. S.; Cunha, T. J. F.; Gava, C. A. T.; Oliveira, R. C. da S. Oliveira, R. C. da S. (2011). Estoque de carbono no sistema solo em uma área referência do Semiárido. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 33. Anais... Uberlândia: SBCS, 2011. 1 CD-ROM

Giulietti, A. M.; Harley, R. M.; Queiroz, L. P.; Barbosa, M. R. V.; Bocage Neta, A. L.; Figueiredo, M. A. (2002). Espécies endêmicas da Caatinga. In: Sampaio, E. V. S. B.; Giulietti, A. M.; Virgínio, J.; Gamarra-Rojas, C. F. L. (Ed.). *Vegetação e flora da Caatinga.* Recife: Associação Plantas do Nordeste: Centro Nordestino de Informação sobre Plantas. p. 103-119.

Giulietti, A.M.; Queiroz, L.P.; Silva, T.R.S.; Guedes, M.L.; Amorim, A.M. (2006). Flora da Bahia. *Sitientibus. Série Ciências Biológicas*, v.6, p.169-173.

Ibama. (1992). Plano de manejo florestal para a Região do Serido do Rio Grande do Norte. Natal. v.1.

IBGE. (1992). Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro. 92 p.

IPCC (2003). Intergovernmental panel on climate change. Good practice guidance for land-use change and forestry. Disponível em: <<http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

- Jacomine, P.K.T. (1996). Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: Alvarez VH, Fontes LEF, Fontes MPF. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, SBCS., p. 95-133.
- Jacomine, P. K. T.; Silva, F. B. R. e; Formiga, R. A.; Almeida, J. C.; Beltrão, V. de A.; Pessôa, S. C. P.; Ferreira, R. C. (1971). Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: DNPEA: SUDENE. 531 p. (DNPEA. Boletim Técnico, 21; SUDENE. Pedolôgia, 9).
- Jacomine, P. K. T.; Cavalcanti, A. C.; Silva, F. B. R. Montenegro, J. O.; Formiga, R. A.; Burgos, N.; Melo Filho, H. F. R. de. (1977). Levantamento exploratório - reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco Estado da Bahia. Recife: EMBRAPA-SNLCS: SUDENE. 2 v. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 52; SUDENE. Recursos de Solos, 10).
- Jacomine, P. K. T. (1971). Solos sob Caatinga: características e uso agrícola. In: Alvarez, V. H.; Fontes, L. E. F.; Fontes, M. P. F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. SBCS: UFV. p. 95-133.
- Karlen, D. L.; Mausbach, M. J.; Doran, J. W.; Cline, R. G.; Harris, R. F.; Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, p. 4-10.
- Kauffman, J. B.; Sanford Júnior, R. L.; Cummings, D. L.; Salcedo, I. H.; Sampaio, E. V. S. B. (1993). Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*, v.74, p.140-151.
- Koehler, H. S.; Watzlawick, L. F.; Kirchner, F. F. (2002). Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: Sanquetta, C. R.; Watzlawick, L. F.; Balbinot, R.; Ziliotto, M. A. B.; Gomes, F. dos S. (Ed.). *As florestas e o carbono*. Curitiba: Ed. dos Autores. p. 251-264.
- Larson, W. E.; Pierce, F. J.; (1994). The dynamics of soil quality as measure of sustainable management. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America. p. 37-51. (SSSA. Publication, 35).
- Maia, S. M. F.; Xavier, F. A. S.; Oliveira, T. S.; Mendonça, E. S.; Araújo Filho, J. A. (2007). Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semiarid region of Ceara, Brazil. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v. 71, p. 127-138.
- Martins, C. M.; Galindo, I. C. L.; Souza, E. A.; Poroça, H. A.; Andrade, F. M.; Andrade,

- B. M. T., Almeida Neto, L. A.; Lima, J. F. W. F. (2008). Fracionamento físico da serrapilheira presente em áreas em processo de degradação no semiárido pernambucano. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação Do Solo e da Água*. 17. Anais... Rio de Janeiro: UFRRJ: Embrapa Solos: Embrapa Agrobiologia. 1 CD-ROM.
- Medeiros, E. V. (1999). *Variação sazonal na Biomassa de raízes finas sob vegetação de Caatinga*. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, p.48.
- Mielniczuk, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Ed.). (2008). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole. p.1-5.
- Nobre, C. A. (2005). Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. In: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. *Mudança do clima*. Brasília, DF. 250 p. (Cadernos NAE, 3).
- Nobre, C.A., Assad, E.D.; Oyama, M.D. (2005). Mudança ambiental no Brasil: o impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. *Scientific American Brasil*, São Paulo, n. 12.
- Nortcliff, S. (2002). Stabderdusation of soil quality attributes. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 88, p. 161-168.
- Oades, J. M.; Gillman, G. P.; Uehara, G. (1989). Interactions of soil organic matter and variable-change clays. In: Coleman D. C. (Ed.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: Univiversity of Hawaii. p.69-96.
- Ribeiro, M.R.; Sampaio, E.V.S.B.; Galindo, I.C.L. Os solos e o processo de desertificação no Semi-árido brasileiro. In: Ribeiro, M. R.; Nascimento, C. W. A.; Ribeiro Filho, M. R.; Cantalice, J. R. B. (Ed.). (2009). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do solo. v.6 p.413-450.
- Rodal, M.J.N.F.; Sampaio, E.V.S.B.; Figueiredo, M.A. (1992). *Manual sobre métodos de estudos florísticos e fitossociológicos: ecossistema Caatinga*. Brasília, DF: Sociedade Botânica do Brasil. 24 p.
- Rodal, M.J.N.; Sampaio, E.V.S.B. (2002). A vegetação do Bioma Caatinga. In: Sampaio, E. V. S. B.; Giulet, A. M.; Virgínio, J.; Gamarra Rojas, C. F. L. (Ed.). *Vegetação e flora da Caatinga*. Recife: APNE: CNIP. p. 11-24.
- Salcedo, I. H.; Leite, L. F. C.; Vasconcelos, E. V.; Souza, F.; Sampaio, E. V. S. B. (1999). Produção de raízes finas sob vegetação de caatinga. In: *Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudos de caso*. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 139-152
- Salcedo, I. H.; Sampaio, E. V. S. B. (2008).

- Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: Santos, G. de A.; Silva, L. S. da; Canellas, L. P.; Camargo, F. de O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2. ed.rev.atual. Porto Alegre: Metrópole.. p. 419-441.
- Sampaio, E. V. S. B.; Araújo, E. L. de; Salcedo, I. H.; Tiessen, H. (1998). Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 33, n. 5, p. 621-632.
- Sampaio, E. V. S. B.; Freitas, A. D. S. (2008). Produção de biomassa na vegetação nativa do Semi-árido nordestino. In: Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H. (Ed.). *Fertilidade do solo e produção de biomassa no Semi-árido*. Recife: UFPE. p. 11-26.
- Sanquetta, C.R.; Balbinot, R. (2004). Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: *Simpósio latino americano sobre fixação de carbono*, 2., 2004, Curitiba. Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: FUPEF. parte 5. p.77-93.
- Silva, F.B.R. e; Riche, G.R.; Tonneau, J.P.; Souza Neto, N.C. de; Brito, L.T. de L.; Correia, R.C.; Cavalcanti, A.C.; Silva, F.H. B. B. da; Silva, A. B. da; Araujo Filho, J.C.de; Leite, A.P. (1993). Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnostico do quadro natural e agrossocioeconomico. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA; Recife: EMBRAPA-CNPS. 2 v. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 80).
- Silva, J. R. C. (2000). Erosão e produtividade do solo no Semi-árido. In: Oliveira, T.S.; Assis, Júnior, R.N.; Romero, R.E.; Silva, J.R. C. (Ed.). *Agricultura, sustentabilidade e o Semi-árido*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. p. 168-213.
- Tiessen, H.; Salcedo, I.H.; Sampaio, E.V.S. B. (1992). Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 38, p. 39-151.
- Tiessen, H.; Cuevas, E.; Salcedo, I.H. (1998). Organic matter stability and nutrient availability under temperate and tropical conditions. *Advances in GeoEcology*, Reiskirchen, v. 31, p. 415-422.
- Vezzani, F. M. (2001). Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Vieira, G.; Sanquetta, C. R.; Klüppel, M. L. W.; Barbeiro, L. S. S. (2009). Teores de carbono em espécies vegetais da Caatinga e do Cerrado. *Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental*, v.7, p.145-155.