

6

Balanço de carbono no semiárido brasileiro: Perspectivas e desafios

Vanderlise Giongo

Perspectivas

Ao longo do tempo a ação humana vem imprimindo alterações bastante profundas no ambiente, tornando difícil um amplo e relevante entendimento de um Bioma, por meio apenas de seus processos internos. Para que se entenda a dinâmica de um ambiente é imprescindível estudar também os efeitos, mesmo que indiretos, da ação do homem sobre ele. Isto acontece porque é praticamente impossível, no mundo atual, encontrar um ambiente natural totalmente isolado da ação do homem (Tilio Neto, 2008), visto que o ambiente natural também recebe intervenção antrópica, ainda que não seja ocupado por qualquer civilização. A dinâmica das massas de ar e das correntes marinhas, assim como os meios de transporte (dos objetos, das pessoas, dos dejetos) funcionam como irradiadores da ação humana em escala mundial (Ribeiro, 1991). Todos esses aspectos estão levando à “homogeneização da biosfera”, ou seja, à destruição do maior patrimônio da natureza: sua diversidade. Mesmo desconsiderando os muitos discursos contundentes em defesa radical da natureza, a preservação de sua biodiversidade, na maior parte desconhecida, já estaria justificada pelo simples fato de que cada espécie, por mais invisível que pareça, é uma obra da evolução natural e deve ter sua perpetuação garantida, se o objetivo for manter as condições do ambiente tais como se apresentam hoje.

A demanda crescente da população humana intensifica a pressão da exploração dos recursos naturais renováveis e acarreta processos de degradação ambiental em vastas áreas do planeta que, por sua vez, acentuam as mudanças climáticas. Um paradigma atual é verificar se a demanda crescente da população humana por serviços ambientais é um processo antagônico ou que se pode harmonizar com as necessidades emergentes de um planeta que

necessita estabelecer uma nova ordem ou retomar um equilíbrio anterior. Particularmente, este problema (paradigma) se torna evidente nas regiões semiáridas, onde os ecossistemas são naturalmente frágeis.

Por outro lado, tanto para o mundo, de forma geral, quanto para o Brasil, o início do século XXI trouxe, como principal traço, a velocidade da mudança, impulsionada pela consolidação da sociedade do conhecimento, pela convergência tecnológica, preocupação com o uso sustentável dos recursos naturais e pelos possíveis impactos provocados por mudanças climáticas. O desafio que se apresenta para o Brasil é discutir como o Semiárido – sua fragilidade ambiental e social – por meio da preservação e da valoração dos seus recursos, pode ser visto com potencialidade ou, minimamente, como uma região que pode apresentar autonomia diante dos demais Biomas deste país continental.

Segundo William e Dick Peddie (1991), desde os tempos antigos até o presente, o homem tem tentado utilizar as terras áridas, porém o maior sucesso é obtido em terras semiáridas; entretanto, o uso intenso e prolongado das áreas semiáridas tem levado frequentemente à redução da disponibilidade de água.

Para resgatar a história do Semiárido, entender o Bioma Caatinga e trabalhar com medidas mitigatórias e adaptativas, diante das mudanças climáticas globais – também inferidas pelo balanço de carbono – é necessário, primeiramente, fazer um resgate das relações sócioeconômicas e políticas, que se estabeleceram no Nordeste, no passado, sabiamente descritas e perpetuadas por Euclides da Cunha, Manuel Correia Andrade, Vasconcelos Sobrinho, entre outros. Neste intento, rever o Semiárido, segundo Pedrão (2008), significa reabrir questões sobre os processos da economia e os processos do poder na região, mapeando a ligação da gestão seletiva da memória social. Seca e pobreza sempre foram as principais referências para o Semiárido se tornar conhecido como um todo. As primeiras ações para compensar as desigualdades regionais, relacionadas com o tema água, foram realizadas com a criação do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em 1945. Posteriormente, projetos desenvolvimentistas, capitaneados pelo Banco do Nordeste (1952), Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste (GTDN), criado em 1956 e coordenado por Celso Furtado que, por sua vez, sugeriu a criação, em 1959, da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e, posteriormente, já na década de 70, a atuação da Embrapa Semiárido, foram muito importantes para romper a sinonímia Nordeste-seca-pobreza.

É incontestável, para o Brasil, o desenvolvimento socioeconômico decorrente da primeira revolução agrícola, obtido por meio do aumento da produção e da produtividade, com redução de custos. Apesar disto, muitas questões sociais e ambientais ainda reclamam, de modo urgente, por soluções. Dentre essas questões podem ser citadas, como exemplos, questões sociais, como a dificuldade de incorporação das tecnologias e do modelo de gestão pela

agricultura de menor escala, êxodo rural, o uso intenso de insumos derivados de petróleo, contaminação do ambiente, riscos à biodiversidade, uso exaustivo de recursos naturais como solos, água e florestas, dentre outros. Assim, a evolução no modo de encarar essas questões, em uma sociedade que hoje analisa suas dimensões locais, regionais e globais, acabou por descortinar um novo momento na agricultura (Crestana e Figueiredo, 2008).

Para o Semiárido, além das questões acima citadas é imperativo descartar alguns mitos, como o de ser a Caatinga uma mata de baixa qualidade e serem os solos de baixa potencialidade. Estudos como balanço de carbono e nitrogênio no Semiárido e o efeito da antropização do Bioma Caatinga, no sentido de estabelecer medidas adaptativas e mitigatórias aos cenários estabelecidos, devido às mudanças climáticas, nada mais são do que fragmentos de uma obra maior; porém sem esses estudos estaria comprometida a compreensão, sobre qualquer perspectiva, de uma análise profunda do Semiárido e do seu Bioma - a Caatinga - incluindo o contexto social.

Para se introduzir o tema balanço de carbono e nitrogênio no Semiárido numa perspectiva de estudo, é imperativo interpretar a inter-relação e a interdependência entre homem e natureza; talvez isso já tenha ocorrido no plano das idéias mas, segundo Tílio Neto (2001), no plano da prática esta reconciliação não se dá de forma pacífica. A relação homem-natureza é tensa, em razão das interações históricas, culturais, sociais, políticas e econômicas entre as sociedades humanas, que produzem e reproduzem essa dicotomia ao longo do tempo. A natureza tem velocidade própria, que não consegue acompanhar a velocidade das relações humanas – especialmente as relações de produção e consumo. O resultado é um descompasso persistente e crescente, entre as atividades humanas e a natureza, criando uma relação de contradição e de antagonismo entre ambas (Tílio Neto, 2001), embora seja relativamente e tecnicamente fácil realizar o balanço de carbono e nitrogênio, tanto em áreas preservadas quanto antropizadas, seja pela agricultura de sequeiro ou irrigada; o maior desafio ocorrerá quando da tradução desses dados para medidas mitigatórias e adaptativas às mudanças climáticas em que o agricultor, componente ativo do processo de construção de técnicas e processos que promovam o bem-estar.

Mudanças Climáticas e Sustentabilidade

As mudanças climáticas não são a única tensão que diminui a capacidade adaptativa e aumenta a vulnerabilidade. Há outras fontes de tensão, como conflitos, condições de saúde, insegurança alimentar, nível de desenvolvimento, aparato institucional ineficaz, perfil demográfico, pobreza e desigualdades no acesso a recursos. Fenômenos como esses diminuem a resiliência dos sistemas às mudanças climáticas e consomem recursos que seriam neces-

sários nos esforços de adaptação. A trajetória de desenvolvimento adotada afeta diretamente essas características, facilitando ou dificultando a adaptação e, portanto, aumentando ou diminuindo o grau de vulnerabilidade. Neste sentido, o desenvolvimento sustentável, ao aumentar a resiliência dos sistemas, reduz sua vulnerabilidade às mudanças climáticas. Em contrapartida, o aumento da vulnerabilidade promovido pelas próprias mudanças climáticas, dificulta o acesso ao desenvolvimento sustentável (IPCC, 2007).

A questão da sustentabilidade do padrão de consumo e de produção do homem na esfera global necessita, ainda, do fortalecimento de fóruns de discussão dos modelos de desenvolvimento desejados para o planeta (ex: Protocolo de Kyoto, Eco Rio 92, IPCC/ONU, Conferência Mundial do Clima...) e do consequente compromisso das nações com essa realidade [ex: substituição gradual da matriz energética fóssil e redução das emissões de gases de efeito estufa, investimento em pesquisa e desenvolvimento e inovação (PD&I) de mudanças climáticas, avaliação de vulnerabilidade nos biomas, ações de mitigação dos efeitos e de adaptações, entre outras]. Em esfera nacional são imprescindíveis a formulação e a integração de políticas públicas à C&T para fazer frente à complexidade das demandas (Crestana e Figueiredo, 2008).

O Semiárido brasileiro, com área de aproximadamente 1.037.000 km², no qual está localizado o Bioma Caatinga, com 734.478 km² representando, respectivamente 18 e 11,67% do território nacional (Castelletti et al, 2004; Brasil, 2005), necessita de atenção devido à sua fragilidade às mudanças climáticas globais. A variedade de paisagens e de ambientes deve ser destacada como uma das características mais marcantes da região, o que dificulta generalizações na discussão de vários temas (Salcedo e Sampaio, 2008). Caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil. Naturalmente, as plantas não têm características uniformes nessa vasta área mas cada uma dessas características e as dos fatores ambientais que afetam as plantas, são distribuídas de tal modo que suas áreas de ocorrência têm um grau de sobreposição razoável (Rodal e Sampaio, 2002). Neste sentido, os autores definem a Caatinga como: (a) a vegetação que cobre uma área mais ou menos contínua, submetida a clima quente e semiárido, bordada por áreas de clima mais úmido e localizada na região política do Nordeste; (b) vegetação com plantas que apresentam características relacionadas às adaptações à deficiência hídrica; (c) uma flora com algumas espécies endêmicas do Semiárido e outras que ocorrem nessa área e em outras áreas secas, mas não ocorrem nas áreas mais úmidas que fazem limite com o Semiárido.

Conhecer a biodiversidade do Semiárido e os processos bióticos e abióticos que afetam sua biota, é o primeiro passo para que seus recursos possam ser aproveitados de maneira sustentável, reduzindo a degradação ambiental e melhorando a qualidade de vida de seus habitantes. As áreas do Bioma Caatinga, alteradas pelo homem, variam, dependendo do critério, de 223.100 km² (30,4%) a 379.565 km² (51,7%). Segundo Tabarelli e Vicente (2004),

somente 3,56% da vegetação nativa deste Bioma estão protegidas em unidades de conservação de proteção integral. Estudos também demonstram que a Caatinga é o terceiro Bioma brasileiro mais modificado pelo homem, ultrapassado apenas pela Mata Atlântica e pelo Cerrado (Castelletti et al., 2004).

Ações coordenadas do governo têm sido propostas para fortalecer o conhecimento da biodiversidade do Semiárido. Foram reconhecidas oito ecorregiões e identificadas 57 áreas prioritárias para conservação no Bioma das Caatingas, 27 delas de extrema importância biológica (Velloso et al., 2002).

No Semiárido brasileiro a principal atividade econômica é a pecuária, sendo a produção agrícola limitada pelas condições climáticas. A pecuária explora principalmente a pastagem nativa e a atividade é marcada por baixa produtividade e, por ser extrativista, torna-se insustentável. As práticas da agricultura familiar no Nordeste brasileiro, associadas à pecuária, estão sendo apontadas como aceleradoras dos processos de degradação ambiental, em virtude do caráter extrativista e predatório dos recursos naturais. Este fato, aliado à pequena área da unidade de produção, tem resultado em baixos índices produtivos, perdas da renda familiar, inviabilidade econômica da atividade e incremento do êxodo rural.

Outra atividade importante, relacionada mais especificamente com o Vale São Francisco, é a agricultura irrigada. A exploração agrícola contínua e intensiva dos solos do Semiárido, com o cultivo de hortifrutícolas, em sistemas irrigados, tem causado a degradação dos solos e, conseqüentemente, ameaçado a qualidade e a sustentabilidade do agronegócio. As elevadas temperaturas e insolação, características do clima Semiárido, associadas à alta disponibilidade de água nos sistemas irrigados, aumentam a entropia do sistema, favorecendo o estado de mínima energia e máxima desordem, implicando na redução dos teores de matéria orgânica do solo e de nutrientes, além de redução na retenção de água, com sérias restrições sobre a produtividade agrícola.

A máxima desordem dos sistemas agrícolas, tanto em áreas de sequeiro como irrigadas, pode ser correlacionada com o decréscimo do teor de matéria orgânica do solo, carbono fixado nos tecidos vegetais e aumento da emissão de CO₂. Todos esses processos estão intimamente ligados ao sistema solo. Portanto, os solos deste Bioma estão submetidos a um processo intenso de degradação e desertificação, devido à atividade agropastoril extensiva, associada à substituição da vegetação nativa por culturas, principalmente por meio de queimadas e da retirada de madeira. O desmatamento, associado ao manejo inadequado do solo e da água nos cultivos irrigados, também está levando à degradação e salinização dos solos.

Carbono no Semiárido – solo-planta-atmosfera

O carbono é um elemento relativamente pouco abundante na crosta terrestre, presente em teores médios de 3%; portanto, menor que o oxigênio (47%), o silício (28%) ou o alumínio (18%), mas é essencial para a manutenção da vida na Terra (Hamblin e Christiansen, 1998).

A dinâmica do carbono no sistema solo-planta-atmosfera envolve vários processos químicos e bioquímicos que ocorrem, segundo Shibu et al. (2006), em quatro principais etapas: 1) incorporação do carbono atmosférico na forma de dióxido de carbono (CO_2), ao tecido vegetal das plantas (C orgânico), como produto da fotossíntese; 2) ciclo do carbono orgânico no solo considerando-se especialmente as transformações bioquímicas relacionadas com a atividade microbiana sobre os resíduos vegetais e a matéria orgânica do solo (MOS); 3) estabilização de partes do carbono orgânico, oriundo das plantas, na forma de matéria orgânica do solo; 4) emissão de parte do carbono orgânico para a atmosfera, como produto da decomposição microbiana dos resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo.

O carbono constitui cerca de 56% da matéria orgânica do solo e cerca de 45% do tecido vegetal. Segundo Houghton (2001), o estoque de C orgânico nos solos, em torno de 1,5 a 2 Pg, é cerca de duas vezes maior que o estoque de C na atmosfera e cerca de três vezes maior que todo o C contido na biomassa vegetal do planeta. Os estoques de carbono em solos sob vegetação natural do planeta, estão em equilíbrio dinâmico com o carbono na atmosfera, na vegetação e nos mares. Esses estoques são determinados principalmente pelo clima, pelo relevo, pela vegetação e pela composição mineralógica dos solos, além das inter-relações desses fatores, como explícito na teoria pedogenética dos fatores de formação dos solos (Jenny, 1994). A amplitude de variação desses estoques sob vegetação nativa é bastante significativa; regiões de maior altitude, de climas úmidos e sob florestas, têm maiores estoques de carbono orgânico do solo, sendo os menores estoques encontrados em regiões de clima árido (Post et al., 1982).

O uso de novas áreas para a agricultura é responsável por um dos maiores problemas de ordem global, ou seja, incremento da transferência de CO_2 , N_2O e CH_4 da biosfera para a atmosfera. Globalmente, a agricultura contribui com cerca de 20% das emissões antrópicas dos gases do efeito estufa, sendo responsável por 21-25 % do total das emissões de CO_2 ; 55-60% de CH_4 e 65-80% do N_2O (Houghton., 2001).

O teor de carbono orgânico no solo sob diferentes sistemas, fornece informações importantes para a avaliação da qualidade do solo. Existe interesse cada vez maior na identificação dos sistemas de manejo de culturas e pastagens que promovam o aumento do estoque de carbono no solo (Freitas et al. 2000). Um baixo teor do carbono orgânico estocado no solo pode estar diretamente relacionado a uma alta taxa de emissão de CO_2 para a atmosfera.

É de conhecimento geral ser o gás carbônico um dos principais gases causadores do efeito estufa, cujas emissões no mundo cresceram vertiginosamente nos últimos 40 anos (Rocha, 2000). Para avaliar as emissões de CO_2 devido à mudança do uso da terra, pela conversão de sistemas nativos em agricultura, o Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) desenvolveu um procedimento analítico, adotado como guia pelas autoridades das nações. Este procedimento, descrito no Guia para Inventários Nacionais dos Gases do Efeito Estufa (IPCC, 2006), permite a comparação adequada dos valores de emissões por serem utilizadas as mesmas equações. Assim, faz-se necessário estimar o estoque de carbono do solo, por ser um dos parâmetros da equação de emissão de CO_2 , admitindo-se que a perda ou acúmulo de carbono no solo está associado à respiração de CO_2 , ao longo do tempo; entretanto, é importante salientar que o estoque de carbono no solo não é um bom parâmetro, se utilizado isoladamente, para avaliar a dinâmica de carbono no Semiárido porque os solos da região possuem, de modo geral, baixo teor de matéria orgânica. Dentre as classes de solo presentes, segundo Salcedo e Sampaio (2008), os Vertissolos e Cambissolos apresentam os maiores valores de carbono orgânico total (COT), cerca de $12,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de solo, mas, em termos de área conjunta, esses solos ocupam somente 5% da região; já os Luvisolos e os Neossolos Litólicos têm uma abrangência maior (32% da área), com teores de COT entre $10,4$ e $11,8 \text{ g.kg}^{-1}$. Os Latossolos e Argissolos ocupam 36% da região e possuem teores de COT entre $9,7$ e $8,9\%$. Outras duas classes de solo com baixos teores de COT, são os Planossolos ($7,4 \text{ g.kg}^{-1}$) e Neossolos Regolíticos ($4,9 \text{ g.kg}^{-1}$) e ocupam uma área conjunta de 8% do Semiárido. Estratégias de manejo que visem ao aumento do teor de carbono orgânico total do solo é um desafio contido no rompimento do paradigma da fragilidade inerente a esse ambiente.

Neste contexto, também é importante se medir o quanto de carbono está contido na vegetação pois, considerando-se as ameaças de aquecimento global, o papel das árvores como sumidouro de carbono, passou a ser um novo serviço ambiental esperado das florestas (Sanquetta e Balbinot, 2004). Alternativas de manejo para florestas tropicais têm sido propostas no sentido de potencializar a fixação e o estoque de carbono por suas árvores (Brown, 1999). O aumento da cobertura arbórea em paisagens agrícolas e pastoris, também pode contribuir com o montante de carbono estocado na vegetação (Brown, 1999). Embora pouco se saiba a respeito da contribuição da Caatinga para o estoque de carbono, é importante se desenvolver estratégias de manejo que visem à preservação de áreas não antropizadas e à recuperação de áreas degradadas.

As alterações dos Biomas pela ação humana, modificam o ciclo do carbono, um elemento importante para se manter a dinâmica dos ecossistemas, associado às mudanças climáticas e ao tema “sequestro de carbono”. A intervenção humana no ciclo global do carbono vem ocorrendo há milhares de anos; entretanto, apenas nos dois últimos séculos o fluxo de carbono

antrópico passou a ser comparável ao ciclo de carbono natural. O uso contínuo do solo pela intensa atividade agropecuária, reduz, de maneira geral, o estoque de carbono do solo e aumenta a emissão de C-CO₂ para a atmosfera. Em virtude das questões que envolvem as mudanças climáticas globais, uma série de trabalhos científicos recentes tem objetivado quantificar os reservatórios de carbono em diferentes regiões semiáridas do mundo e determinar os fatores que controlam sua dinâmica (Sarah, 2006; Bastida et al., 2007; Bhattacharyya et al., 2007; Perez et al., 2007; Singh et al., 2007; Vourlitis et al., 2007). No Semiárido brasileiro precisam ser realizados estudos em relação ao balanço de carbono, 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 também pela agricultura irrigada, em virtude do seu alto impacto no sistema produtivo.

Sabe-se que, dependendo dos sistemas de uso e manejo adotados, o solo pode agir como fonte ou dreno do CO₂ atmosférico (Parton et al., 1987), contribuindo diretamente no efeito estufa. Do ponto de vista agrícola, o solo se torna fonte de CO₂ para a atmosfera quando as perdas por oxidação são maiores que as adições de carbono. Os sistemas de manejo que usam o preparo do solo para a produção vegetal se constituem no principal fator dessas perdas (Bruce et al., 1999, Perez et al., 2007). Por outro lado, condições de alta produção de fitomassa e adição de resíduos são fontes de carbono para o solo (Campos et al., 1999).

A emissão de CO₂ pode ser um indicador de qualidade do solo para validar sistemas agricultura de sequeiro, integração lavoura-pecuária-floresta e agricultura irrigada no Semiárido. A fonte primária de emissão terrestre de CO₂, até a década dos anos 50, eram os solos e a vegetação da região de clima temperado. A partir dessa década, a região tropical tornou-se a principal fonte na emissão terrestre de CO₂, devido ao avanço da exploração dos solos, associado ao desmatamento e à queima de biomassa. A taxa líquida de perda de carbono estimada foi de 0,2 Gt para a região temperada e até 2,0 Gt para a região tropical (Houghton, 2001). Com isto, a agricultura se tornou fator significativo no balanço de CO₂ na atmosfera, embora a emissão de CO₂, pela queima de combustíveis fósseis, seja mais do que o dobro do CO₂ emitido pelos sistemas agropecuários.

A conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas (desmatamento e queima de biomassa) e a oxidação da matéria orgânica do solo devido ao preparo do solo, contribuem com aproximadamente 33% da emissão global líquida de CO₂. O volume de CO₂ emitido para a atmosfera contribui com 50% do efeito estufa, enquanto o CH₄ contribui com 19%, N₂O com 5%, os CFC's com 15% e outros com 11% (Houghton, 2001).

Por outro lado, o solo se torna um dreno do CO₂, atmosférico quando as adições de carbono são maiores do que as perdas por oxidação. De acordo com Bruce et al. (1999), a implementação de medidas integradas, conforme os itens relacionados a seguir, é o caminho

para o solo atuar como dreno: a) redução e/ou eliminação da intensidade de preparo do solo; b) intensificação de sistemas de rotação de culturas; c) adoção de práticas que promovam o aumento da produtividade das culturas e d) restabelecimento de cobertura vegetal permanente.

O equilíbrio estável (steady-state) do reservatório de carbono no solo, é o balanço entre adições (resíduos vegetais e adubos orgânicos) e perdas (decomposição e mineralização da matéria orgânica, resultando na liberação de CO_2 para a atmosfera, e por erosão). A matéria orgânica do solo é um componente dinâmico e vários modelos têm sido usados para descrever suas alterações com o tempo.

De maneira geral, o carbono orgânico tende a aumentar com a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo. Dentre esses sistemas o não revolvimento do solo, associado ao retorno de resíduos vegetais e rotação de culturas, tem se constituído como a principal alternativa para diminuir a emissão de CO_2 e recuperação da matéria orgânica do solo, tanto para as regiões sob clima temperado, quanto tropical.

O conhecimento dos processos envolvidos no sequestro de carbono é importante para o entendimento do potencial do solo como dreno para o CO_2 atmosférico (Bastida et al., 2007). A proteção física da matéria orgânica do solo durante a agregação do solo tem sido um dos processos mais discutidos (Tisdal e Oades, 1982; Lal et al., 1999). Em vários trabalhos tem-se demonstrado que a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, associada à redução e/ou eliminação do preparo do solo, aumenta a agregação dos solos. As transformações químicas de compostos orgânicos oriundos da decomposição lenta e gradual dos resíduos culturais e sua associação com a fase mineral, promovendo a proteção física da matéria orgânica do solo, tem sido a proposta geral do mecanismo que explica o sequestro de carbono no solo (Oades et al, 1988).

Os efeitos de sistemas de manejo do solo no efluxo de CO_2 para a atmosfera, estão diretamente relacionados à influência líquida que o conjunto de suas práticas tem na composição e atividade das populações de microrganismos que degradam os materiais orgânicos do solo e na difusão de O_2 e CO_2 no sistema solo-atmosfera (Young e Ritz, 2000). Enquanto a porosidade de agregados e do solo comanda, em geral, essa difusão (Leffelaar, 1993), a qualidade química da matéria orgânica do solo e o grau de proteção física, química e biológica do carbono orgânico edáfico influenciam a composição e a atividade das populações de microrganismos (Baldock e Skjemstad, 2000; Young e Ritz, 2000).

O equilíbrio entre os fatores relacionados com o balanço de carbono, diminuído notadamente com o preparo do solo ou estimulado pela atuação de processos biológicos, é particularmente importante nos solos do Bioma Caatinga, que contém baixos teores de matéria orgânica e argila.

Conhecer em detalhe como o Bioma Caatinga e a atividade agrícola podem atuar em sentido contrário aos efeitos negativos das alterações climáticas, nas condições brasileiras de clima, solo e manejo, é uma ação efetiva no sentido de conciliar a produção de alimentos com a qualidade do ambiente. Para tal, é importante dimensionar a contribuição do Bioma Caatinga e dos sistemas agrícolas, provenientes de sua antropização, no balanço de carbono e nitrogênio, enfatizando aspectos do estoque deste elemento no solo e na vegetação, tal como sua emissão como gases de efeito estufa.

A partir de estudos sobre balanço e dinâmica de carbono realizados no Bioma Caatinga, em áreas preservadas e em sistemas antropizados, em áreas referências e em experimentos de longa duração, será possível ampliar as bases científicas e tecnológicas, para dar continuidade aos estudos abrangendo as demais áreas e, assim, estimar o impacto do Bioma Caatinga e de sua antropização no aquecimento global. Também, será possível desenvolver sistemas de manejo de solo e de culturas que favoreçam o acúmulo de carbono no solo, promovendo um balanço positivo e diminuindo a emissão de gases de efeito estufa.

O princípio da sustentabilidade é um dos pilares do esforço de inovação para a agricultura no Semiárido. Diante disso e partindo-se da premissa de que a busca de sistemas agrícolas sustentáveis é parte crucial do processo de recuperação e conservação dos recursos naturais, busca-se estudar o balanço e dinâmica de carbono em áreas referência de agricultura de sequeiro, integração lavoura-pecuária-floresta e agricultura irrigada e assim determinar a capacidade que cada sistema tem de adicionar, emitir e armazenar carbono e nitrogênio no solo, quando comparados à Caatinga preservada ou à Caatinga degradada sob pastejo.

A Embrapa Semiárido tem contribuído, ao longo dos seus trinta e três anos de existência, para o avanço do conhecimento tecnológico, a competitividade e a sustentabilidade agricultura do Semiárido brasileiro, em benefício da sociedade. Para alcançar a sua missão, a instituição mantém um programa abrangente de geração de conhecimentos, tecnologias e inovações, pautado no Planejamento Estratégico, envolvendo os temas mudanças climáticas e sequestro de carbono. Esses temas são desafios tecnológicos para o Semiárido, também vislumbrados no PAC, V Plano Diretor da Embrapa e IV Plano Diretor da Embrapa Semiárido.

Desta forma, é importante que as perspectivas de pesquisas estejam sintonizadas com as tendências climáticas do Semiárido, a fim de que se obtenham medidas de mitigação e soluções sobre possíveis adaptações às mudanças climáticas, principalmente no que se refere à conservação dos recursos naturais, produtividade agrícola e qualidade de vida da população.

A partir de tais conhecimentos poderão ser adotadas políticas públicas visando ao desenvolvimento sustentável do Semiárido brasileiro, decorrente da necessidade de se aumentar a capacidade adaptativa da sociedade e da economia regional, frente às mudanças climáticas.

Desafios para pesquisa

De modo geral, todas as alterações antrópicas alteram o ambiente. Dados do IPCC (2007) apontam que o Semiárido brasileiro será uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas globais no País. Reforçando esta afirmação, pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, têm desenvolvido modelos regionais para cenários futuros, com maior resolução espacial. Tais modelos indicam que a temperatura poderá aumentar em função do cenário, de 1.5-2.5 °C e em até 3-5.5 °C, até o final do século XXI. Com o aquecimento haverá aumento na evaporação e diminuição da disponibilidade hídrica (Marengo, 2006).

Procurar entender o balanço de carbono nos mais diferentes tipos de antropização de um bioma e nas áreas preservadas associado aos processos de degradação e preservação, nos contextos mundial, nacional e regional e avaliar a evolução da compreensão desse tema, é mais do que um exercício teórico ou um resgate histórico. Pode ser uma forma de se analisar a motivação das ações já propostas e empreendidas, nelas encontrar as razões dos insucessos e ajudar a ajustar o foco das novas proposições, sempre com o objetivo de ampliar as discussões e democratizar os conhecimentos em benefício de uma sociedade.

É necessário, inicialmente, internalizar a importância estratégica do tema balanço de carbono no Semiárido e novas perspectivas de manejo dos recursos naturais para o desenvolvimento rural sustentável. Para tal, há necessidade de serem executados projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação que valorizem o uso e a conservação da agrobiodiversidade, por meio de estratégias coletivas, com enfoque sistêmico, enfatizando os sistemas de produção e o homem, como componente da biodiversidade do Bioma, por meio de ações diretas ou indiretas, considerando-se o efeito das irradiações da atividade antrópica.

Não se pode negligenciar, com isto, a função de fornecer elementos estruturantes (métodos, instrumentos e meios) para apoiar políticas públicas e programas mais específicos de desenvolvimento, fomento, capacitação e socialização de conhecimentos e tecnologias agropecuárias e não agropecuárias, que visem à inclusão social dos segmentos da sociedade envolvidos com a produção de base familiar, comunidades tradicionais e os grandes latifúndios que estão abrigados no Semiárido.

Neste sentido devem ser realizados estudos de balanço de carbono e nitrogênio, em áreas referência, na vegetação nativa e nos diferentes sistemas antropizados de agricultura de sequeiro, integração lavoura-pecuária-floresta e agricultura irrigada. O impacto desses sistemas sobre o estoque de carbono e nitrogênio e a emissão de gases de efeito estufa, não foram avaliados até o momento.

Com base nesse contexto devem ser respondidas, nos estudos, as seguintes questões básicas: 1 - Quanto de carbono e nitrogênio está armazenado na parte aérea e no sistema radicular na vegetação da Caatinga preservada e de seus sistemas antropizados? 2 - Quanto de carbono e nitrogênio está armazenado no primeiro metro do solo sob Caatinga preservada e nos sistemas antropizados? 3 - Os solos sob vegetação de Caatinga apresentam maior estoque de carbono, comparativamente a solos antropizados? 4 - A conversão da vegetação nativa da Caatinga em sistemas de agricultura de sequeiro, integração lavoura-pecuária-floresta e agricultura irrigada, altera o balanço zero de carbono e nitrogênio? 5 - Qual o comportamento dos sistemas antropizados quando alterados por sistemas de agricultura de sequeiro, integração lavoura-pecuária-floresta e agricultura irrigada, em relação ao Bioma Caatinga preservada, no que diz respeito aos estoques de carbono e nitrogênio na fitomassa e no solo, à taxa de adição de resíduos, à emissão de dióxido de carbono e óxido nitroso e balanços e dinâmicas de carbono e nitrogênio? 6 - Poderão as técnicas de modelagem, por meio de programas específicos e se utilizando ferramentas do geoprocessamento, contribuir com o estudo da dinâmica de carbono e nitrogênio no Semiárido brasileiro?

Para responder às questões é necessário realizar estudos em áreas de agricultura dependente de chuva, integração lavoura-pecuária-floresta e agricultura irrigada, tendo-se como referência a Caatinga preservada. A partir desses estudos será possível expandir e fortalecer as bases científicas e tecnológicas para o conhecimento e entendimento do balanço de carbono e de nitrogênio no Bioma Caatinga e, assim, desenvolver estratégias que propiciem o uso sustentável deste Bioma.

Referências

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, n. 7/8, p. 697-710, 2000.

BASTIDA, F.; MORENO, J. L.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. The long-term effects of the management of a forest soil on its carbon content, microbial biomass and activity under a semi-arid climate. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 37, p. 53-62, 2007.

BHATTACHARYYA, T.; PAL, D. K.; EASTER, M.; WILLIAMS, S.; PAUSTIAN, K.; MILNE, E.; CHANDRAN, P.; RAY, S. K.; MANDAL, C.; COLEMAN, K.; FLOON, P.; POWLSON, D.; GAJBHIYE, K. S. Evaluating the century C model using long-term fertilizer trials in the Indo-Gangetic Plains, India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, p. 73-83, 2007.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Relatório final do grupo de trabalho interministerial para a redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas**. Brasília, DF: MIN: MMA, 2005. 118 p. il.

BROWN, S. **Opportunities for mitigating carbon emissions through forestry activities**. Little Rock, Arkansas: Winrock International, 1999. Disponível em: <http://www.winrock.org/REEP/opportum_carbon.html>. Acesso em: 31 jan. 2008.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservations**, Ankeny, v. 5, p. 382-389, 1999.

CASTELLETTI, C. H. M.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Quanto ainda resta da caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 91-100.

CHATTERJU, S.; PRICE, B. **Regression analysis by example**. New York: John Wiley, 1977. 228 p.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 157-170, jan. 2000.

HAMBLIN, W. K.; CHRISTIANSEN, E. H. **Earth 's dynamic system**. 8. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998. 740 p.

HOUGHTON, J. T. (Ed.). **Climate change 2001: the scientific basis**. Cambridge: Cambridge University Press: IPCC, 2001. 881 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: 26 abr. 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.: **Summary for policymakers**. 2007. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: Dover, 1994. 281 p.

- LAL, R.; FOLLET, R. F.; KIMBLE, J.; COLE, C. V. Managing U.S. Cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 5, p. 374-381, 1999.
- LEFFELAAR, P. A. Water movement, oxygen supply and biological processes on the aggregate scale. **Geoderma**, Amsterdam, v. 57, n. 1/4, p. 143-165, 1993.
- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 159 p. il. (Biodiversidade, 26).
- OADES, J. M.; WATERS, A. G.; VASSALLO, A. M.; WILSON, M. A.; JONES, G. P. Influence of management on the composition of organic matter in a redbrown earth as shown by ¹³C nuclear magnetic resonance. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 26, p. 289-299, 1988.
- PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 51, p. 1173-1179, 1987.
- PEDRÃO, F. C. Rever o semi-árido. **Bahia Análise & Dados**, Salvador. v. 18, p. 193-199, 2008.
- PEREZ, C.; RONCOLI, C.; EELY, C; STEINER, J. L. Can carbon sequestration markets benefit low-income producers in semi-arid Africa? potentials and challenges. **Agricultural Systems**, Barking, v. 94, p. 2-12, 2007.
- POST, W. M.; EMANUEL, W. R.; ZINKE, P. J.; STANGENBERGER, A. Soil carbon pools and world life zones. **Nature**, London, v. 298, p.156- 158,1982.
- REDE DE INOVAÇÃO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA PARA O AGRONEGÓCIO. **Cenários do ambiente de atuação das instituições públicas e privadas de PD&I para o agronegócio e o desenvolvimento rural sustentável - horizonte 2023**. São Carlos, SP: RIPA: CTAgro, 2008. 98 p
- RIBEIRO, W. C. Meio ambiente: o natural e o produzido. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 5, p. 29-32, 1991.
- ROCHA, M. T. Aquecimento e o seqüestro de carbono em projetos agroflorestais. **Revista Ecologia**, Rio de Janeiro, n. 151, 2000.

RODAL, M. J. N. F.; SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. (Ed.). **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: CNIP: Associação Plantas do Nordeste, 2002. p. 11-24.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. de S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. de; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 419-441.

SARAH, P. Soil organic matter and land degradation in semi-arid area, Israel. **Catena**, Amsterdam, v. 67, p. 50-55, 2006.

SHIBU, M. E.; LEFFELAAR, P. A.; KEULEN, H. van; AGGARVAL, P. K. Quantitative description of soil organic matter dynamics: a review of approaches with reference to rice-based cropping systems. **Geoderma**, Cambridge, v. 137, p. 1-8, 2006.

SINGH, S. K.; SINGH, A. K.; SHARMA, B. K.; TARAFDAR J. C. Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, Índia. **Journal of Arid Environments**, London, v. 38, p. 408-421, 2007.

TABARELLI, M. F.; VICENTE, A. Conhecimento sobre plantas lenhosas da caatinga: lacunas geográficas e ecológicas. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 101-112.

TILIO NETO, P. de . **Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres**. 2008. 190 f. Tese (Doutorado em Ciência Política) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo.

TISDAL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). **Ecorregiões: propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste: Instituto de Conservação Ambiental, 2002. 75 p.

VOURLITIS, G. L.; ZORBA, G.; PASQUINI, S. C.; MUSTARD, R. Carbon and nitrogen storage in soil and litter of southern Californian semi-arid shrublands. **Journal of Arid Environments**, London, v. 70, p. 164-173, 2007.