

ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS E AGRICULTURA DE CORTE E QUEIMA NO NORTE DO PIAUÍ¹

Sandra Santana de Lima², Luiz Fernando Carvalho Leite³, Francisco das Chagas Oliveira⁴ e Daniela Batista da Costa⁵

RESUMO – A prática da agricultura de corte e queima tem causado a degradação do solo no Estado do Piauí, e isso tem estimulado a adoção de alternativas sustentáveis de uso da terra, como os Sistemas Agroflorestais. Este trabalho objetivou avaliar as mudanças nas características químicas e nos estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais com seis (SAF6) e 10 (SAF10) anos de adoção, sistema com base ecológica com três anos de adoção (SE3), agricultura de corte e queima (ACQ) e floresta nativa (FN), no Norte piauiense. Foram coletadas amostras de solo nos períodos seco e chuvoso na profundidade de 0-10 cm, para a avaliação dos atributos químicos do solo e dos estoques totais de carbono (COT) e nitrogênio (NT). O SAF10 apresentou menor teor de Al⁺³ (0,02 cmol_c dm⁻³). O teor de P no SAF10 (12,27 mg dm⁻³), no período seco, foi seis a sete vezes maior do que ACQ e FN, respectivamente. Os maiores estoques de COT e NT foram observados no período seco, respectivamente no SAF10 (48,54 Mg ha⁻¹ e 4,43 Mg ha⁻¹) e SAF6 (43,30 Mg ha⁻¹ e 3,45 Mg ha⁻¹). Os sistemas agroflorestais melhoraram a qualidade do solo e podem ser considerados como estratégia conservacionista para o Norte do Piauí.

Palavras-chave: Agrofloresta, Manejo do solo e Qualidade do solo.

CHEMICAL PROPERTIES AND CARBON AND NITROGEN STOCKS IN AN ACRISOL UNDER AGROFORESTRY SYSTEM AND SLASH AND BURN PRACTICES IN NORTHERN PIAUÍ STATE

ABSTRACT – *Slash and burn farming practices have caused land degradation in the state of Piauí. This problem has stimulated the adoption of land use sustainable alternatives such as agroforestry systems. This work aimed to evaluate changes in the chemical characteristics and carbon and nitrogen stocks in Acrisol under six (SAF6) and ten year (SAF10) old agroforestry systems, agriculture with a three year (SE3) ecological basis, slash and burning practices (ACQ), and native forest (FN) in the northern state of Piauí. Soil samples, in the dry and humid periods, were collected in the 0-10 cm depth. Chemical soil properties, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) were evaluated. SAF10 showed lower Al⁺³ content (0.02 cmol_c dm⁻³) in relation to the other systems. In the dry season, P content in SAF10 (12.27 mg dm⁻³) was six to seven times larger than ACQ and FN, respectively. The highest values of TOC and TN were observed, in the dry season, respectively, in the SAF10 (48.54 Mg ha⁻¹ and 4.43 Mg ha⁻¹) and SAF6 (43.30 Mg ha⁻¹ and 3.45 Mg ha⁻¹). Agroforestry systems improved soil quality and can be considered conservation strategy for northern Piauí.*

Keywords: Agroforestry, Soil management and Soil quality.

¹ Recebido em 06.06.2008 e aceito para publicação em 25.08.2010.

² Doutorado em andamento pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: <sandra.biologa@hotmail.com>.

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa, Teresina, PI. E-mail: <luizf@cpamn.embrapa.br>.

⁴ Analista da Embrapa Meio Norte, Teresina, PI. E-mail: <oliveira@cpamn.embrapa.br>.

⁵ Mestre em Engenharia Agrícola, Recife, PE. E-mail: <dani_agro@yahoo.com.br>.

1 INTRODUÇÃO

A conversão de áreas florestais em plantios agrícolas representa mudança drástica no ecossistema original, por provocar alterações no conjunto de atributos morfológicos, físicos, químicos e biológicos do solo. Assim, são esperados severos impactos, uma vez que se rompem os mecanismos naturais de reciclagem e de proteção do sistema, induzindo, desde o início, vários fatores de degradação (LUIZÃO et al., 2006).

Os agroecossistemas baseados no uso indiscriminado de agroquímicos, no manejo intensivo e na perda da vegetação (biodiversidade) pelo processo de corte e queima têm como consequências a redução da qualidade do solo e a interrupção da continuidade dos seus processos biológicos, que são responsáveis pela mineralização dos nutrientes orgânicos para a nutrição das plantas. Esse problema é mais agravante em solos das regiões tropicais de avançado estágio de intemperismo (GAMA-RODRIGUES et al., 2006). Os processos mais importantes e responsáveis por essa degradação são a erosão, a compactação e a diminuição dos estoques de matéria orgânica do solo, os quais influenciam negativamente a microbiota e macrofauna do solo (LEITE et al., 2003).

Nesse sentido, vários estudos com sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido realizados em diversas regiões do mundo, sob diferentes aspectos, considerando-se essa forma de manejo como alternativa sustentável e com menor impacto aos ecossistemas (ALBRECHT e KANDJI, 2003; ELLIS et al., 2005; NAIR, 2006; MORENO et al., 2007; GRUENEWALD et al., 2007). No Brasil, a maioria dos trabalhos está concentrada na região da Amazônia e, em menor escala, nas demais regiões, abordando-se a qualidade dos solos por meio da aferição de indicadores físicos-químicos e biológicos, comparativamente a outras práticas de manejo (SCHROTH et al., 2002; BARRETO et al., 2006; MAIA et al., 2007).

A implantação de SAFs tem sido direcionada para locais onde os modelos tradicionais de exploração e desmatamentos seguidos pela atividade agropecuária já exportaram muitos nutrientes, tornando a agrofloresta importante alternativa para gerar produtos agrícolas enquanto proporciona a recuperação do ambiente, melhorando os atributos do solo e, conseqüentemente, a vegetação nele existente (CAMPELLO et al., 2005). Esses sistemas podem ser empregados tanto como estratégia metodológica de restauração com o objetivo de reduzir

os custos por meio da compensação financeira em curto e médio prazos, por produtos agrícolas e florestais, quanto para a constituição de agroecossistemas sustentáveis, com produtos orgânicos e saudáveis (AMADOR, 2003). Nesse sentido, os SAFs têm sido amplamente promovidos como sistemas de produção sustentável e, particularmente, atraentes para agricultura familiar.

O sucesso de um sistema agroflorestal está relacionado à quantidade de nutrientes fornecida durante o processo de decomposição e como esses nutrientes liberados satisfazem as necessidades da colheita (MENDONÇA e STOTT, 2003). Além disso, há diversos outros benefícios, como: maior cobertura do solo; maior aporte de matéria orgânica (produção de biomassa); fixação biológica de nitrogênio atmosférico; redução de perdas de solo e nutrientes (SCHROTH et al., 2002; MACEDO et al., 2000); controle da erosão e lixiviação; e aumento da biodiversidade (NAIR, 2006; MORENO et al., 2007). Os SAFs também apresentam-se como eficientes reservatórios de carbono (OELBERMANN et al., 2004; KIRBY e POTVIN, 2007) e constituem-se em fonte renovável de energia, além de evidenciar a importância do estrato herbáceo e da serapilheira como agentes reguladores das condições térmicas no solo da floresta (RIBASKI et al., 2002).

Para avaliar os efeitos dos SAFs, de acordo com condições específicas de cada sítio, é imprescindível determinar como essa prática de manejo pode interferir nos processos edáficos e na disponibilidade de nutrientes para as culturas. Nesse sentido, avaliações quantitativas dos teores e estoques de nutrientes são importantes para dimensionar o resultado dos fatores envolvidos nesse sistema de produção. São escassos na Região Nordeste e inexistentes no Estado do Piauí estudos que relacionem sistemas agroflorestais e atributos do solo. Assim, este trabalho objetivou avaliar mudanças nas características químicas, bem como nos estoques de carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais com diferentes idades de adoção, sistema com base ecológica e agricultura de corte e queima em áreas do Norte do Estado do Piauí.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e descrição da área

O estudo foi realizado na comunidade Vereda dos Anacleto, localizada no Município de Esperantina (03° 54' 07" S e 42° 14' 02" W, altitude 59 m), região

Norte do Estado do Piauí. O clima enquadra-se no tipo tropical subúmido, com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca, com temperaturas anuais médias, mínima de 26 °C e máxima de 34 °C. A precipitação média anual é de 1.400 mm, e os maiores índices pluviométricos são concentrados entre os meses de janeiro e maio. A região é caracterizada por apresentar formação vegetal predominante de transição entre cerrado e floresta secundária mista, possuindo extensas áreas com babaquais. O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura franco arenosa (EMBRAPA, 2006).

Para a realização deste trabalho, foram estudados cinco sistemas: sistema com base ecológica com três anos de adoção (SE3), sistemas agroflorestais com seis (SAF6) e 10 (SAF10) anos de adoção; uma área manejada com agricultura de corte e queima (ACQ) e uma floresta nativa (FN) como referência de um estado de equilíbrio. Esses sistemas compreendem uma área de aproximadamente 1 ha e estão sob a mesma classe de solo e tipo de relevo (plano).

No SE3, a prática do corte e queima da vegetação foi utilizada até o ano de 2003. A partir de 2004, após a regeneração natural da vegetação, o manejo foi realizado apenas com duas roçadas, a primeira no final da estação seca, deixando o material vegetal sobre o solo. A segunda roçada foi realizada no período chuvoso, para garantir o crescimento das espécies agrícolas. Como incrementos extras foram adicionados ao solo esterco de caprinos e todos os resíduos orgânicos decorrentes do consumo da família. Nesse sistema são cultivados o milho (*Zea mays* L.) e a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) associados às espécies como mamão (*Carica papaya* L.), caju (*Anacardium occidentale* L.), melancia (*Citrullus vulgaris* Schrad.), maxixe (*Cucumis anguria* L.) e banana (*Musa paradisiaca* L.). As espécies frutíferas são distribuídas de forma aleatória na área, sendo a maior proporção representada por *Anacardium occidentale* (caju).

Em relação ao SAF6, a área foi mantida com agricultura de corte e queima até 2001. Em 2002, essa prática foi substituída pela roçada da vegetação secundária, excluindo-se algumas espécies arbóreas. Foram realizadas duas roçadas, sendo a primeira no final do período seco (novembro), em que o material vegetal proveniente do manejo foi utilizado como cobertura do solo. A segunda roçada foi efetuada no período chuvoso (fevereiro) para permitir o crescimento das espécies agrícolas. Além disso, foi adicionada ao

solo palha de carnaúba como cobertura. São cultivados nesse sistema: milho (*Zea mays* L.) e algodão (*Gossypium herbaceum* L.) associados a caju (*Anacardium occidentale* L.), banana (*Musa paradisiaca* L.), amendoim (*Arachis sylvestris* (A.Chev.) A.Chev.), pinha (*Annona squamosa* L.), mamona (*Ricinus communis* L.), jatobá (*Hymenaea* sp), jurubeba (*Solanum* sp), pau-d'arco amarelo (*Tabebuia serratifolia*), carnaúba (*Copernicia prunifera* Mill.) e mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.). O arranjo espacial das espécies arbóreas nativas e frutíferas é inteiramente aleatório. A espécie *Anacardium occidentale* L. (caju) predomina sobre as frutíferas.

Na área com SAF10, em 1997, o manejo convencional utilizando o corte e queima foi substituído por um manejo com base ecológica. O material vegetal decorrente da roçagem, antes queimado, passou a servir como cobertura do solo. A partir disso, ao longo do tempo foram introduzidas espécies frutíferas, e paralelamente permitiu-se a regeneração natural de plantas pioneiras, nas quais foram realizadas podas periódicas. Além disso, foram adicionados ao solo esterco de caprinos e todos os resíduos orgânicos decorrentes do consumo da família. Nesse sistema, cultivam milho (*Zea mays* L.), abóbora (*Curcubita pepo* L.), fava (*Phaseolus lunatus* L.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.), batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) e algodão (*Gossypium herbaceum* L.) associados a acerola (*Malpighia glabra* L.), mamão (*Carica papaya* L.), goiaba (*Psidium guajava* L.), banana (*Musa paradisiaca* L.), caju (*Anacardium occidentale* L.), manga (*Mangifera indica* L.), pinha (*Annona squamosa* L.), pitomba (*Talisia esculenta* Raldlk.), mamona (*Ricinus communis* L.), urucum (*Bixa orellana* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.), pau-d'arco (*Tabebuia* sp), babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.), gonçalo-alves (*Astromiun fraxinifolium* Schott), tamboril (*Enterolobium* sp), jatobá (*Hymenaea* sp), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), mufumbo (*Combretum* sp) e unha-de-gato (*Mimosa* sp). Assim como os demais sistemas conservacionistas estudados, as espécies arbóreas e frutíferas são distribuídas de forma aleatória, com maior densidade da espécie caju, mamona e banana e manga, em menor proporção.

Na área de ACQ, o manejo do corte e queima da vegetação ocorreu após o período de pousio, em 2005. Em 2006, a área foi mantida com monocultura de milho (*Zea mays* L.).

A floresta natural foi caracterizada por apresentar vegetação de floresta semidecídua preservada, onde se observaram espécies de Cerrado e Caatinga, caracterizando uma área transicional. Não houve aplicação de fertilizantes químicos ou calagem em nenhum dos sistemas estudados.

2. 2. Análises químicas e físicas do solo

O material foi coletado em duas épocas que caracterizassem os períodos seco e chuvoso, respectivamente (outubro de 2006 e maio de 2007). Na amostragem do solo, cada área (sistema) foi dividida em cinco subáreas. Em cada subárea foram coletadas cinco amostras simples, na profundidade de 0-10 cm, para formar uma amostra composta, totalizando cinco amostras compostas por área. O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos, identificados e encaminhados ao Laboratório de Solos da Embrapa Meio Norte, para a realização das análises.

As amostras foram destorroadas, secas e passadas em peneiras com malha de 2 mm, para avaliação das características químicas do solo. O pH do solo foi determinado em água (1:2,5) por potenciometria, e a acidez trocável (Al^{+3}), extraída com KCl $1\ mol\ L^{-1}$ e quantificada por titulometria com hidróxido de sódio $0,025\ mol\ L^{-1}$ padronizado com biftalato de potássio (EMBRAPA, 1997). O fósforo e o potássio foram extraídos com Mehlich I (EMBRAPA, 1997) e determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. O cálcio e o magnésio foram extraídos com KCl $1\ mol\ L^{-1}$ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1997). O nitrogênio total (N) do solo foi determinado por meio da digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldhal (BREMER, 1996). Para determinação dos teores de carbono orgânico total (CO), as amostras de solo foram trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha 0,2 mm, quantificadas por oxidação de matéria orgânica via úmida, utilizando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS e BREMER, 1988). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). A amostragem foi realizada no período seco com a coleta de amostras com estrutura preservada, com um cilindro extrator de 10 cm de comprimento e 5,2 cm. Em cada área foram feitas três amostras por área. A densidade foi determinada dividindo-se a massa de solo seco a $105\ ^\circ C$ pelo volume da amostra. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio.

2. 4. Análises dos dados

As respostas médias das análises químicas do solo entre os sistemas avaliados, em cada período do ano (seco e chuvoso), foram comparadas por meio de intervalos de confiança (Tabelas 3 e 4) com coeficientes de confiança de 95%, construídos no *software* SISVAR (FERREIRA, 2000).

As médias foram consideradas significativamente diferentes umas das outras quando seus intervalos de confiança não se sobrepunham. Desse modo, comparando os intervalos dois a dois, foi possível colocar as letras que permitem diferenciar estatisticamente as médias entre si (Tabela 1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3. 1. Características químicas do solo

No período seco, os maiores valores ($p < 0,05$) de pH foram verificados no solo sob SAF10, com acidez fraca, diferindo significativamente dos demais sistemas, especialmente da FN, que obteve o menor valor. No período chuvoso, houve pouca alteração dos valores de pH, no entanto o SAF10 manteve a diferença significativa dos sistemas (Tabela 1). O aumento do pH no solo sob SAF10, provavelmente esteja associado à disponibilização de bases trocáveis e à decomposição do material vegetal adicionado ao solo (LOPES, 1998). Os valores de pH obtidos na FN são similares aos observados por Ribeiro (2007), e Farias e Castro (2004), em área de transição Cerrado-Caatinga do Complexo de Campo Maior, no Norte do Piauí.

O comportamento do Al em ambos os períodos foi compatível com os valores de pH do solo, evidenciando a significativa diferença da FN, em relação aos demais sistemas (Tabela 1). No período seco, as menores concentrações de Al observadas em solos sob o SAF10 e SE3 podem ser relacionadas aos valores de pH, que são 6,1 e 5,72, respectivamente.

Os teores de P sob o solo do SAF10 no período seco foram seis e sete vezes maiores do que ACQ e FN, respectivamente, o que demonstra a eficiência do manejo com SAF na ciclagem do P, considerando-se a baixa concentração desse elemento nos solos da região. No período chuvoso, os maiores teores desse nutriente no SAF10 foram similares às áreas SAF6, com aumento na concentração de P nos solos de todos os sistemas em relação ao período seco (Tabela 1).

Tabela 1 – Características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo (0-10 cm), sob sistema ecológico com três anos (SE3), sistemas agroflorestais com seis (SAF6) e 10 anos de adoção (SAF10), agricultura de corte e queima (ACQ) e floresta nativa (FN).

Table 1 – Chemical characteristics in an Acrisol (0-10 cm) under agriculture with an ecological basis (SE3), agroforestry system with six (SAF6) and ten years (SAF10), slash and burning practices (ACQ) and native forest (FN)

Sistema	pH em H ₂ O	Al cmol _c dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Período seco					V %
				Ca	Mg	K	SB	CTCe	
				cmol _c dm ⁻³					
SE 3	5,72b	0,04c	2,03c	3,39b	0,74d	0,28b	4,41c	4,45c	99,16a
SAF6	5,23c	0,18b	5,31b	3,14b	2,21a	0,50a	5,85b	6,03b	96,90b
SAF10	6,18a	0,02c	12,27a	8,78a	1,85b	0,53a	11,16a	11,18a	99,81a
ACQ	5,59b	0,14b	2,07c	3,49b	0,56e	0,16c	4,20c	4,34c	96,88b
FN	4,63d	1,52a	1,55d	0,94c	1,14c	0,30b	2,38d	3,90c	60,46c
Período chuvoso									
SE 3	5,77ab	0,16b	5,10b	3,43c	0,59d	0,13d	4,14c	4,30c	96,22b
SAF6	5,57c	0,16b	13,98a	7,35b	1,82a	0,38a	9,55b	9,71b	98,38b
SAF10	6,03a	0,16b	16,85a	14,31a	1,68b	0,29b	17,45a	17,61a	99,09a
ACQ	5,68b	0,16b	8,79b	3,15c	0,36e	0,13d	3,64c	3,80c	94,93b
FN	4,59d	1,64a	2,46b	1,20d	0,95c	0,21c	2,36d	4,00c	57,59c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, no mesmo período, pelo intervalo de confiança de 95%.

Embora o fósforo seja nutriente essencial para o crescimento das plantas, movimenta-se pouco na maioria dos solos, e a ausência de revolvimento e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo contribuem para o aumento dos teores do elemento, principalmente na superfície (LOPES, 1998; FALLEIRO et al., 2003). Portanto, o acúmulo desse elemento na camada superficial no SAF10 está associado à sua baixa mobilidade no solo e à atuação conjunta do bombeamento de nutrientes pelas raízes das árvores das camadas mais profundas do solo, para a superfície, potencializado pelo manejo do sistema, assim como a dinamização da atuação da biota do solo para disponibilização de nutrientes, em função do incremento periódico de matéria orgânica de qualidade diferenciada resultante do manejo (PENEIREIRO, 1999).

Em relação às bases trocáveis, independentemente do período de coleta, os maiores valores foram observados nos SAFs (Tabela 1). No período seco, observou-se que o valor de Ca no SAF10 foi significativamente superior ($p < 0,05$) aos demais sistemas e considerado como bom (> 4 cmol_c dm⁻³). Para o Mg, o maior valor foi obtido pelo SAF6, tido como bom ($> 1,0$ cmol_c dm⁻³), e o menor valor foi verificado no ACQ (0 a 0,5 cmol_c dm⁻³), considerado baixo. O K foi verificado em maior quantidade nos SAF6 (0,50 cmol_c dm⁻³)

e SAF10 (0,53 cmol_c dm⁻³), considerado como valor médio (0,46 a 0,80 cmol_c dm⁻³), enquanto SE3 e ACQ apresentaram baixos valores desse nutriente (0 a 0,45 cmol_c dm⁻³) (Tabela 1). Perez et al. (2004) obtiveram valores semelhantes aos observados neste estudo, em relação aos teores de Ca, Mg e K em SAF, comparativamente ao sistema convencional submetido a queima, em Latossolo Vermelho-Amarelo no Estado de Minas Gerais. Quanto aos menores teores de Mg sob o solo do ACQ, podem estar associados ao manejo do corte e queima que resulta em menores teores desse elemento na camada superficial do solo (JACQUES, 2003). Para a classificação dos valores em bom, médio e baixo, considerou-se a escala proposta por Lopes (1998).

No período chuvoso, verificou-se aumento nos teores de Ca nos SAF6 e SAF10 em relação ao observado no período seco. Entretanto, nos teores de Mg e K houve diminuição da concentração desses nutrientes em todos os sistemas (Tabela 1). As perdas de K no período chuvoso podem ser relacionadas à lixiviação desse nutriente no solo.

O SAF10 apresentou os maiores valores de soma de bases (SB), em relação aos demais sistemas, tanto no período seco quanto no período chuvoso. No que concerne à capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), observou-se comportamento semelhante, com a

significativa diferença do SAF10 em relação aos demais sistemas nos diferentes períodos de coletas. Quanto à saturação por bases (V), os sistemas agrícolas apresentaram valores muito altos (> 90%), superiores a FN, que obteve valor médio (51 a 70%) (Tabela 1). Mendonça et al. (2001) observaram aumento nos valores de CTCe e associaram ao manejo com SAF. As médias obtidas pela SB e CTCe são semelhantes aos resultados obtidos por Theodoro et al. (2003), que compararam os efeitos do manejo em cafeeiro orgânico, convencional e em conversão e relacionaram esses maiores incrementos ao manejo do sistema. Os resultados de V(%) diferem dos observados por Ribeiro (2007) e Farias e Castro (2004), que verificaram valores inferiores ($V < 50\%$) sob solos com vegetação de transição entre Cerrado-Caatinga. Maia et al. (2006) observaram maiores valores de V(%) em SAF no semiárido cearense e atribuíram à eficiência desse sistema na ciclagem de nutrientes.

3. 2. Teores e estoques totais de carbono e nitrogênio no solo

No período seco, os maiores teores de COT foram observados no solo sob SAF6 e SAF10, enquanto no período apenas o SAF6 foi significativamente diferente

dos demais sistemas (Tabela 2). Isso pode estar relacionado à maior quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo nos SAFs, considerando que mudanças nos sistemas de manejo podem afetar os teores de carbono do solo pela alteração do aporte anual de resíduos vegetais e pela modificação na taxa de decomposição da matéria orgânica (LEITE et al., 2003). No entanto, os menores teores de COT foram observados no ACQ, provocado principalmente pelas perdas de nutrientes durante a queima da vegetação durante o preparo de área para o plantio, conforme também reportado em outros estudos (SOMMER, 2000). Essa prática de manejo, embora possa elevar os teores das bases trocáveis, pode, em longo prazo, diminuir a fertilidade do solo, uma vez que as cinzas, em grande parte, são suscetíveis a perdas por lixiviação ou erosão (MENDONZA et al., 2000). Entretanto, a biomassa vegetal roçada e deixada em cobertura ou incorporada ao solo nos SAFs, além de atuar como fonte de C (carbono) e de nutrientes (fonte energético), atenua as oscilações de temperatura e de umidade, intensificando a atividade biológica (RICCI, 2005) e melhorando a qualidade do solo. Em relação ao período de coleta, houve diminuição nas concentrações dos nutrientes em todos os sistemas no período chuvoso em relação aos valores do período seco.

Tabela 2 – Estoques totais de carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho-Amarelo na camada de 0-10 cm, sob sistema com base ecológica com três anos de adoção (SE3), sistemas agroflorestais com seis (SAF6) e 10 anos de adoção (SAF10), agricultura de corte e queima (ACQ) e floresta nativa (FN).

Table 2 – Carbon and nitrogen total stocks in an Acrisol (0-10 cm) under agriculture with an ecological basis (SE3), agroforestry system with six (SAF6) and ten years (SAF10), slash and burning practices (ACQ) and native forest (FN).

Sistema	Período seco					
	Teores		Dens. g cm ⁻³	Estoques		Relação C/N
	COT	NT		COT	NT	
—dag kg ⁻¹ —			—Mg ha ⁻¹ —			
SE 3	2,27c	0,26c	1,0a	22,68c	2,62c	9,13c
SAF6	3,77a	0,30b	1,15a	43,30a	3,45b	12,58b
SAF10	4,01a	0,37a	1,21a	48,54a	4,43a	11,24b
ACQ	1,74d	0,20d	1,29a	22,50c	2,24c	9,98c
FN	3,02b	0,22cd	1,13a	34,16b	2,49c	13,71a
Período chuvoso						
SE3	1,60d	0,12d	1,0a	15,96d	1,18e	13,24bc
SAF6	3,54a	0,24b	1,15a	40,70a	2,76b	15,07b
SAF10	3,11c	0,28a	1,21a	39,53b	3,34a	11,38c
ACQ	1,22d	0,13c	1,29a	15,81d	1,66d	9,40d
FN	3,15b	0,19b	1,13a	35,59c	2,17c	16,40a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, no mesmo período, pelo intervalo de confiança de 95%.

O teor de NT do SAF10 (0,37 dag kg⁻¹) no período seco diferiu significativamente dos outros sistemas. Todavia, no período chuvoso os maiores valores de NT foram observados nos SAF10 e SAF6 e os menores, nos SE3 e ACQ. Embora não tenha sido realizada a análise estatística entre os períodos de coleta, pode-se observar que o período seco apresentou os maiores valores de NT em todos os sistemas (Tabela 3).

Os maiores estoques de COT ($p < 0,05$), no período seco, foram observados nos SAF10 seguido do SAF6. No período chuvoso, apenas o SAF6 foi significativamente diferente. Apesar disso, a diferença numérica de valores do SAF6 para o SAF10 foi pequena em relação aos outros sistemas. Nos estoques de NT, no período seco o maior valor foi visto no SAF10. Comportamento semelhante foi verificado no período chuvoso, com significativa diferença do SAF10 em relação aos outros sistemas (Tabela 4). A variação dos estoques de COT foi similar aos de NT, pela evidente diminuição dos valores no período chuvoso. Esses resultados corroboram os obtidos por Silva (2006), ao estudar diferentes SAFs no Município de Paraty, RJ.

O aumento dos estoques de COT e NT nos SAFs está relacionado à melhoria da qualidade do solo, proporcionado pelo manejo agroflorestal, por meio das interações entre os componentes florestal e agrícola que resultam no maior aporte de fitomassa no solo. Além disso, a ausência de revolvimento do solo dos SAFs proporciona melhores condições para os organismos responsáveis pela fragmentação do material vegetal e ciclagem dos nutrientes. Os valores de COT e NT foram semelhantes aos obtidos por Mendonça et al. (2001) no cultivo de café em SAFs. No entanto, superaram os observados por outros autores em estudos com sistemas convencionais com intenso revolvimento do solo e conservacionistas, nesse caso o plantio direto (FREITAS et al., 2006; LEITE et al., 2003). Os menores estoques no ACQ podem ser atribuídos ao manejo baseado na queima do material vegetal, bem como à utilização de arados para o revolvimento do solo. Embora a queima da vegetação proporcione mineralização acelerada da matéria orgânica, esse material é mais facilmente perdido por lixiviação, ocorrendo posteriormente déficit nos estoques de nutrientes.



Tabela 3 – Limites inferiores (LI) e superiores (LS) dos intervalos de confiança de 95% para as médias dos atributos químicos do solo sob sistema com base ecológica com três anos de adoção (SE3), sistemas agroflorestais com seis (SAF6) e dez anos de adoção (SAF10), agricultura de corte e queima (ACQ) e floresta nativa (FN), nos períodos seco e chuvoso.

Table 3 – Lower (LI) and superior (LS) of the confidence intervals of 95% for the average of the chemical properties of soil under agriculture with an ecological basis (SE3), agroforestry system with six (SAF6) and ten years (SAF10), slash and burning practices (ACQ) and native forest (N), in dry and rainy seasons.

Sistemas	pH em H ₂ O	Período seco												CTCe	V			
		cmol _e dm ⁻³						mg dm ⁻³								%		
		LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS					
SE3	5,72	6,66	-0,03	0,11	1,45	2,60	2,75	4,02	0,48	1,00	0,20	0,37	3,52	5,29	3,54	5,36	97,74	100,59
SAF6	5,23	5,67	0,12	0,24	3,40	7,22	2,18	4,09	1,67	2,76	0,35	0,65	4,41	7,29	4,60	7,45	95,63	98,18
SAF10	6,18	6,70	-0,04	0,08	9,72	14,83	8,44	9,12	1,02	2,68	0,30	0,77	9,95	12,38	10,00	12,37	99,27	100,34
ACQ	5,59	6,37	0,03	0,25	1,42	2,73	2,21	4,77	0,28	0,83	0,10	0,21	2,61	5,79	2,66	6,02	95,54	98,22
FN	4,63	5,62	1,32	1,72	0,61	2,49	0,63	1,24	0,77	1,51	0,26	0,34	1,73	3,03	3,36	4,44	51,18	69,75
Período chuvoso																		
SE3	5,58	5,96	0,05	0,27	2,63	7,56	2,65	4,20	0,46	0,72	0,11	0,14	3,29	4,99	3,46	5,14	93,60	98,84
SAF6	5,28	5,87	0,09	0,23	8,37	19,59	5,17	9,53	1,19	2,45	0,29	0,48	6,94	12,16	7,04	12,38	97,95	98,80
SAF10	5,56	6,50	0,09	0,23	7,46	26,24	10,73	17,90	0,96	2,40	0,20	0,38	15,93	18,96	16,10	19,11	98,67	99,50
ACQ	5,15	6,21	0,09	0,23	1,09	16,50	1,35	4,95	0,23	0,50	0,08	0,18	1,82	5,47	2,02	5,59	90,96	98,90
FN	4,35	4,83	1,14	2,14	1,39	3,54	0,22	2,18	0,79	1,11	0,17	0,25	1,27	3,45	3,35	4,65	39,51	75,67

Tabela 4 – Limites inferiores (LI) e superiores (LS) dos intervalos de confiança de 95% das médias dos teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo, sob sistema com base ecológica com três anos de adoção (SE3), sistemas agroflorestais com seis (SAF6) e 10 anos de adoção (SAF10), agricultura de corte e queima (ACQ) e floresta nativa (FN), nos períodos seco e chuvoso.

Table 4 – Lower (LI) and superior (LS) of the confidence intervals of 95% for the mean levels and stocks of carbon and nitrogen in the soil under agriculture with an ecological basis (SE3), agroforestry system with six (SAF6) and ten years (SAF10), slash and burning practices (ACQ) and native forest (FN), in dry and rainy seasons.

Sistemas	Período seco									
	Teores				Estoques				RelaçãoC/N	
	COT		NT		COT		NT		LI	LS
	—dag kg ⁻¹ —		—Mg ha ⁻¹ —							
LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS	
SE3	1,71	2,82	0,18	0,34	17,13	28,23	1,83	3,41	5,76	12,50
SAF6	3,12	4,41	0,24	0,36	35,90	50,70	2,82	4,08	11,68	13,47
SAF10	3,85	4,17	0,28	0,45	46,59	50,49	3,40	5,46	8,91	13,56
ACQ	1,29	2,20	0,14	0,25	16,62	28,37	2,00	2,49	8,02	11,94
FN	2,48	3,56	0,19	0,25	28,05	40,26	2,16	2,82	12,56	14,86
	Período chuvoso									
SE3	5,58	5,96	0,05	0,27	2,63	7,56	2,65	4,20	0,46	0,72
SAF6	5,28	5,87	0,09	0,23	8,37	19,59	5,17	9,53	1,19	2,45
SAF10	5,56	6,50	0,09	0,23	7,46	26,24	10,73	17,90	0,96	2,40
ACQ	5,15	6,21	0,09	0,23	1,09	16,50	1,35	4,95	0,23	0,50
FN	4,35	4,83	1,14	2,14	1,39	3,54	0,22	2,18	0,79	1,11

4. CONCLUSÕES

Os sistemas agroflorestais melhoraram as características químicas do solo em relação à agricultura de corte e queima e o sistema com base ecológica.

O sistema com base ecológica indicou mudanças benéficas nas características químicas do solo, em relação à agricultura de corte e queima.

O aumento nos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total nos SAFs realça a eficiência do manejo agroflorestal para a melhoria da qualidade do solo.

Sob o aspecto da sustentabilidade, os sistemas agroflorestais podem ser considerados como promissores para unidades de produção familiar do Município de Esperantina, em comparação como o manejo tradicional baseado no corte e queima da vegetação.

5 REFERÊNCIAS

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.99, n.1, p.15-27, 2003.

AMADOR, D. B. **Restauração de Ecossistemas com Sistemas Agroflorestais** Texto da palestra apresentada no Seminário “Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável” - Campo Grande MS, 2003 (PDF - 135 KB). Disponível em: <http://www.cnpqg.embrapa.br/saf/publicacoes>. Acesso em: 26 mar. 2007.

BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

BREMMER, J. M. Nitrogen Total. In SPARKS, D. L. (Ed), **Methods of soil analysis: Part 3**. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p.1085-1121. (SSA Book Series: 5).

CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. F. Aspectos ecológicos da seleção de espécies para sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.467-482.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ELLIS, E. A.; NAIR, P. K. R.; JESWANI, S. D. Development of a web-based application for agroforestry planning and tree selection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.49 p.129-141, 2005.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.

FARIAS, R. R. S.; CASTRO, A. A. J. F.; Fitossociologia de trechos da vegetação do Complexo de Campo Maior, Campo Maior, PI, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v.18, n.4, p.949-963, 2004.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, U São Carlos. **Anais...** São Carlos: FSCar, 2000. p.255-258.

FREITAS, R. C. A. et al. Alterações na matéria orgânica do solo após conversão da floresta nativa para agroecossistemas cultivado com milho no Cerrado Piauiense. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos Desafios Do Carbono No Manejo Conservacionista**. Aracaju: 2006. CD ROM.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Atributos biológicos em solos sob sistemas agroflorestais de cacau: um estudo de caso. In: LUIZÃO, F. J. et al. (Eds). **Sistemas Agroflorestais: bases para o desenvolvimento**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p.87-100.

GRUENEWALDA, H. et al. Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes. **Ecological Engineering**, v.29, p.319-328, 2007.

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais - efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.177-181, 2003.

KIRBY, K. R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**, v.246, p.208-221, 2007.

LEITE, L. F. C. et al. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Austr. J. Soil Res.**, v.41, p.717-730, 2003.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

LUIZÃO, F. J. et al. (Eds). **Sistemas Agroflorestais: bases para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p.87-100.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, v.21, n.202, p.93-98, 2000.

MAIA, S. M. F. et al. Impacto de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v.33, n.5, p.837-848, 2006.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, v.25, n.3, p.375-383, 2001.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v.57, p.117-125, 2003.

MENDONZA, H. N. S. et al. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiros costeiros cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.201-207, 2000.



- MORENO, G.; OBRADOR, J. J.; GARCÍA, A. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.119, p.270-280, 2007.
- NAIR, P. K. R. The role of soil science in the sustainability of agroforestry systems: eliminating hunger and poverty. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. (Eds.). **Sistemas Agroflorestais: bases para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p.203-216.
- OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P.; GORDON, A. M. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.104, p.359-377, 2004.
- PENEIREIRO, F. M. **Sistema Agroflorestal dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. 1999. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- PEREZ, A. M. M. et al. Impactos da implementação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. **Agropecuária Técnica**, v.25, n.1, p.25-36, 2004.
- RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. **Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômico**. 2002. Disponível em: <http://www.planetaorganico.com.br/TrabRibaski.htm>. Acesso em 20 mar. 2007.
- RIBEIRO, A. M. B. **Indicadores químicos e microbiológicos de qualidade do solo em ambientes naturais e antropizados do Complexo Vegetacional de Campo Maior-PI**. 2007. 51f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - PRODEMA/UFPI, Teresina, 2007.
- RICCI, M. S. F. Inserção da adubação verde e da arborização no agroecossistema cafeeiro. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.453-464.
- SANTOS, H. G. et al. (Eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SCHROTH, G. et al. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management**, v.163, p.131-150, 2002.
- SHONE, B. M.; CAVIGLIA-HARRIS, J. L. Quantifying and comparing the value of non-timber forest products in the Amazon. **Ecological Economics**. v.58, p.249-267, 2006.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290p.
- SILVA, M. S. C. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ**. 2006. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
- SOMMER, R. **Water and nutrient balance in deep soil under shifting cultivation with and without burning in the Eastern Amazon**. Cuvillier: Gottingen, Germany, 2000. 240p.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E. The role of soil organic matter in sustaining fertility. **Nature**, v.371, p.783-785, 1994.
- TEODORO V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.27, p.1039-1047, 2003.
- YEOMANS, J. C.; BREMMER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.