



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – SOLOS E NUTRIÇÃO DE
PLANTAS

JOSÉ AUGUSTO AMORIM SILVA DO SACRAMENTO

ESTOQUES E FLUXOS DE C E N EM SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONAL E
AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

FORTALEZA
2012

JOSÉ AUGUSTO AMORIM SILVA DO SACRAMENTO

ESTOQUES E FLUXOS DE C E N EM SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONAL E
AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira

FORTALEZA
2012

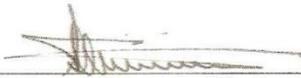
JOSÉ AUGUSTO AMORIM SILVA DO SACRAMENTO

ESTOQUES E FLUXOS DE C E N EM SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONAL E
AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

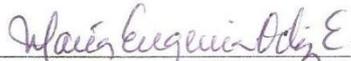
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Aprovada em: 02 / 03 / 2012

BANCA EXAMINADORA



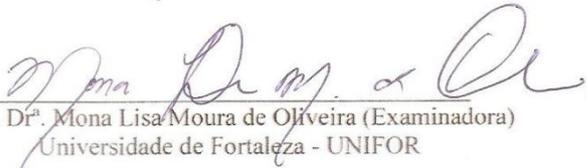
Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Viçosa – UFV



Prof. Dr. Maria Eugenia Ortiz Escobar (Co-Orientadora)
Universidade Federal do Ceará – UFC



Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier (Examinador)
EMBRAPA Mandioca e Fruticultura



Prof. Dr. Mona Lisa Moura de Oliveira (Examinadora)
Universidade de Fortaleza - UNIFOR

A minha esposa **Alide** e a minha filha **Beatriz**
pela compreensão e amor;

Aos meus pais **Neuza** e **José Rocha**, a base de
tudo;

As minhas irmãs e amigas **Chirlane**,
Crsitiane, **Djane** e **Tatiane** e ao meu irmão e
amigo **Marcelo**;

Com todo amor e carinho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

A minha esposa, amiga e companheira Alide Mitsue Watanabe Cova por muitas vezes abrir mão dos seus sonhos em prol dos meus. Esta vitória é nossa! Muito obrigado!

Ao professor e orientador Teógenes Senna de Oliveira, pela confiança e autonomia dada para o desenvolvimento da pesquisa. Não tenha dúvida que aprendi muito nestes dois anos, muito obrigado!

A Ana Caroline de Moraes Araújo (Carol), pelo apoio, companheirismo, amizade, sinceridade e pelo grande auxílio prestado nas fases de coleta dos gases e análise de solo da minha dissertação. Sem você, não sei o que seria. Muito obrigado!

Aos meus colegas de turma, Ailton, Daniel Pontes, Isabel Cristina (Bel), Léo, Zé Filho (Buxexa), Priscila (Prí) e Stella pela boa convivência, amizade e principalmente, pela liberdade para intervir um na vida dos outros quando necessário. Turma igual a nossa eu nunca vi!

A todos que fazem parte do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará por me receber de braços abertos nesta, que durante dois anos foi a minha casa.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos através da pesquisadora Ana Clara e do Zootecnista Éden pelo fundamental apoio nas coletas de solo e gases em Sobral.

Aos pesquisadores e professores Francisco Alisson, Ébenezzer (Bené), Rivelino Cavalcante, Stoécio Maia e Carlos Cerri pelo apoio no início e fim do projeto. Ao último, por ceder à câmara de coleta dos gases que nos serviu como modelo.

As professoras Maria Eugenia e Mona Lisa, pelo apoio, sugestões e pela paciência e disposição na definição do método de quantificação e no cálculo do fluxo dos gases.

Aos professores Claudivan Feitosa, Tiago Osório, Marcos Esmeraldo, Assis Júnior e Miriam Cristina por ter dado a oportunidade de cursar suas disciplinas e aprender algo mais com vocês.

Ao Paulo e ao senhor Geraldo pela grande colaboração e responsabilidade nas viagens entre Fortaleza e Sobral.

A todos que frequentam a sala de estudos pelos bons momentos de descontração, pela boa convivência e grandes conselhos, obrigado!

A todos que fizeram parte do grupo de estudos SOMAR pelas reuniões semanais que muitas vezes somaram.

A todos os docentes da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, sem a ajuda deles, concerteza este sonho ficaria mais distante.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

RESUMO

Objetivou-se avaliar as alterações promovidas nos estoques e fluxos de C e N do solo por sistemas agrícolas agroflorestais (Agrossilvipastoril – AGP e Silvipastoril – SILV) e tradicional (TR), comparativamente à vegetação natural de Caatinga (VN), após 13 anos, em experimento instalado sobre um Luvissole Crômico Órtico típico, no município de Sobral, Ceará. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-6, 6-12, 12-20, 20-40 e 40-60 cm, em quatro repetições, considerando os relevos plano, convexo e côncavo em cada situação de estudo. Nestas amostras foram determinados o carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total (NT), densidades do solo (Ds) e de partícula (Dp) e a umidade gravimétrica (Ug), o que possibilitou o cálculo da porosidade total (Pt) e o espaço poroso preenchido por água (EPPA). O fluxo dos gases foi quantificado no campo utilizando um analisador de O₂, CO₂, NO/NO_x e SO₂ (Unigás Eurotron 3000). Para tanto, foram utilizadas câmaras estáticas com base de aço galvanizado e tampa de PVC instaladas no campo em triplicatas, totalizando nove câmaras por relevo. Entre os sistemas agroflorestais estudados, o silvipastoril, em longo prazo, promoveu maiores reduções nos estoques de C e N, enquanto que agrossilvipastoril promoveu menores perdas, representando uma alternativa sustentável para o sequestro de C e N do solo nas condições semiáridas brasileira. O sistema de cultivo tradicional (TR) apresentou redução no período 13 anos de 58,87 e 9,57 Mg ha⁻¹ (6,5 e 1,06 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) dos estoques de COT e NT, respectivamente, o que comprova a não adequação deste sistema para as condições semiáridas brasileiras. Os relevos côncavo (AGP) e plano (SILV) apresentaram os maiores valores de estoques de COT, enquanto que para o NT, a forma côncava apresentou os maiores valores, no caso VN, AGP e SILV. Os fluxos de C-CO₂ variaram com a época, sendo AGP e SILV semelhantes à VN no período úmido, enquanto no período seco estes mesmos sistemas foram maiores. O TR apresenta comportamento diferenciado, sendo maior no período úmido e semelhante ao AGP e SILV no seco. Os fluxos de NO apresentaram comportamento com tendência diferente do C-CO₂: AGP e SILV apresentaram-se semelhantes entre si no período úmido, porém menores que VN. No período seco, SILV e VN foram maiores que AGP. No TR, o NO não foi detectado nos dois períodos. O relevo convexo no TR apresentou os maiores valores de fluxos de C-CO₂ no período úmido. No período seco foram encontrados maiores valores de fluxos de C-CO₂ em AGP, SILV e TR em relação à VN no relevo plano. A umidade do solo foi a variável que mais se correlacionou com os fluxos de NO, o que pôde ser observado nos sistemas SILV e AGP e na VN relevos convexas.

Palavras-chave: Sequestro de carbono, Luvissoles, manejo conservacionista, agricultura itinerante.

ABSTRACT

The objective was to assess the changes promoted in the stocks and flows of C and N from the soil by farming systems agroforestry (agrosilvipasture - AGP and silvipasture - SILV) and traditional (TR), compared to natural vegetation of Caatinga (VN), after 13 years, the experiment was installed on a typical Oric Chromic Luvisol, the city of Sobral, Ceará. Soil samples were collected at depths 0-6, 6-12, 12-20, 20-40 and 40-60 cm, relief in four replicates per. Was determined by the total carbon carbon (TOC); total nitrogen (NT) and bulk density. The gas flow was measured using an analyzer in the field of O₂, CO₂, NO / NO_x and SO₂ (UNIGAS Eurotron 3000). To this end, were used for still cameras based on galvanized steel and PVC cover installed in the field. The sampling was done in three replicates, considering the relief plan, convex and concave in each study situation. For each determination were performed triplicate, totaling nine chambers for relief. Soil samples were collected for determination of soil bulk density (Ds) and particle (Dp) and gravimetric moisture (Ug), which allowed the calculation of total porosity (Pt) and the pore space filled with water (EPPA). Among the agroforestry systems studied, the silvipasture, long-term, promoted greater reductions in C stocks and N, the system promoted agrossilvipastroil lower losses and represents a sustainable alternative to sequestration of soil C and N in the Brazilian semi-arid conditions. The traditional cropping system provided a reduction of 58.87 and 9.57 (Mg ha⁻¹), which meant, a reduction of 6.5 and 1.06 (Mg ha⁻¹), for those of TOC and TN, respectively. These results demonstrate the inadequacy of this system for the Brazilian semi-arid conditions. The concave topography (AGP) and flat (SILV) showed the highest values of TOC. For NT the concave shape (VN, AGP, and SILV) showed the highest values. Flows of C-CO₂ varied with the time, AGP and SILV being similar to NV in the wet season, while in the dry season are higher. The TR has a different behavior, being higher during the wet season and similar to AGP and SILV in the dry. The flow behavior of NO present without a tendency similar to C-CO₂: AGP and SILV presents similar to each other in the wet season, but smaller than VN. During the dry SILV and VN are larger than AGP. In TR NO was not detected in the two periods. The convex shape of relief TR system showed the highest values of C-CO₂ fluxes in the wet season. In the dry season were found higher values of C-CO₂ flows in AGP, SILV and RT, compared to NV flat terrain. Soil moisture was the variable most correlated with the fluxes of NO, what might be observed in systems SILV and AGP and VN convex reliefs.

Keywords: Greenhouse gas, Luvisols, conservation management, slash and burn agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área experimental na Fazenda Crioula, Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, Ceará, Brasil	21
Figura 2	Temperatura média mensal (máxima e mínima) (°C) e precipitação pluvial média (mm) no ano de 2011, na Fazenda Crioula, Sobral Ceará	22
Figura 3	Teores médios de carbono orgânico total do solo (COT), em g kg ⁻¹ , em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) após treze anos de uso, Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas em cada camada, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.....	26
Figura 4	Estoques médios de carbono orgânico total do solo (COT), em Mg ha ⁻¹ , em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) após treze anos de uso do solo em Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada profundidade, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.....	28
Figura 5	Estoques de carbono orgânico do solo (COT), em Mg ha ⁻¹ , na camada de 0-60 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso de um Luvissole em Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.....	29
Figura 6	Teores de nitrogênio total (NT), em g kg ⁻¹ , em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) após treze anos de uso em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas em cada camada, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.....	31
Figura 7	Estoques de nitrogênio total (NT), em Mg ha ⁻¹ , em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada profundidade, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.....	34
Figura 8	Estoque de nitrogênio total (NT), em Mg ha ⁻¹ , na camada de 0-60 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso em Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade....	35
Figura 9	Localização de área experimental na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro	50

	Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos - CNPC - EMBRAPA, Sobral, Ceará...	
Figura 10	Temperaturas médias máximas e mínimas mensais, em °C, e precipitação pluviométrica média, em mm, no ano de 2011, na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	50
Figura 11	Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em °C, e fluxos de C-CO ₂ , em mg mg ⁻² h ⁻¹ , de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN) no momento da coleta dos gases, no período úmido e após 13 anos de uso em Sobral (CE).....	58
Figura 12	Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em (°C), e fluxos de C-CO ₂ , em mg m ⁻² h ⁻¹ , de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período seco e após 13 anos de uso em Sobral (CE).....	59
Figura 13	Espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, umidade gravimétrica do solo, em %, na camada de 0-10 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período úmido e após 13 anos de uso em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..	61
Figura 14	Espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, e umidade gravimétrica do solo, em %, na camada de 0-10 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período seco e após 13 anos de uso em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	62
Figura 15	Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em °C, e fluxos de NO, em µg m ⁻² h ⁻¹ , em um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período úmido e após 13 anos de uso em Sobral (CE).....	67
Figura 16	Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em °C, e fluxos de NO, em µg m ⁻² h ⁻¹ , em um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período seco e após 13 anos de uso em Sobral (CE).....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização química e física na camada de 0-40 cm de Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), em Sobral-CE	22
Tabela 2	Descrição do uso e manejo das áreas experimentais instaladas em Luvissole Crômico Órtico típico em Sobral - CE, Brasil.....	23
Tabela 3	Teores médios de carbono orgânico total do solo (COT), em g kg ⁻¹ , em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral-CE.....	27
Tabela 4	Densidade do solo, em g cm ⁻³ das diferentes camadas em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), após treze anos de uso do solo em Sobral-CE	29
Tabela 5	Estoques de carbono orgânico total (COT), em Mg ha ⁻¹ , em 2002 e 2011 em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) e na camada de 0-40 cm, em Sobral-CE.....	30
Tabela 6	Teores de nitrogênio total (NT), em g kg ⁻¹ , em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CN) e plano (PL), após treze anos de uso do solo em Sobral-CE.....	33
Tabela 7	Estoques de nitrogênio total (NT), em Mg ha ⁻¹ , em 2002 e 2011 em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) na camada de 0-40 cm, em Sobral-CE.....	35
Tabela 8	Relação C/N em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral (CE)	37
Tabela 9	Caracterização química e física na camada de 0-40 cm de Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), em Sobral-CE	51
Tabela 10	Descrição do uso e manejo das áreas experimentais instaladas em Luvissole Crômico Órtico típico em Sobral-CE, Brasil.....	51
Tabela 11	Estatística descritiva dos fluxos de C-CO ₂ , em mg m ⁻² h ⁻¹ , de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), relevos plano (PL), convexo (CV) e concavo (CN), nos períodos úmido e seco, após 13 anos de uso em Sobral-CE.....	55
Tabela 12	Teores médios de carbono orgânico total do solo (COT), em g kg ⁻¹ , de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), nos períodos úmido e seco, após 13 anos de uso em Sobral (CE) após treze anos de uso do solo em Sobral (CE).....	58

Tabela 13	Coeficientes de correlação de Pearson entre o fluxo de C-CO ₂ , em mg m ⁻² h ⁻¹ , umidade gravimétrica (UG), em %, e o espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), períodos úmido e seco, no momento da coleta dos gases, após 13 anos de uso em Sobral (CE).....	63
Tabela 14	Estatística descritiva dos fluxos de NO, em µg m ⁻² h ⁻¹ de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos períodos úmido e seco, após 13 anos de uso em Sobral (CE).....	66
Tabela 15	Teores de nitrogênio total (NT), em g kg ⁻¹ , de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos períodos úmido e seco, nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral (CE).....	68
Tabela 16	Coeficientes de correlação de Pearson entre o fluxo de NO, em µg m ⁻² h ⁻¹ , umidade gravimétrica (UG), em %, e o espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, após 13 anos de uso em Sobral (CE).....	69

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 - REFERÊNCIAS	15
2 - ESTOQUES DE C E N DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONAL E AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	17
2.1 - INTRODUÇÃO	19
2.2 - MATERIAL E MÉTODOS	21
<i>2.2.1 - Caracterização da área de estudo</i>	21
<i>2.2.2 - Coleta e análise de solo</i>	24
2.3 - Análises estatísticas	24
2.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
<i>2.4.1 - Teores e estoques de carbono orgânico total do solo (COT)</i>	25
<i>2.4.2 - Teores e estoques de nitrogênio total do solo (NT)</i>	30
2.5 – CONCLUSÕES	37
2.6 – REFERÊNCIAS	39
3 - FLUXOS DE C E N EM SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONAL E AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	44
3.1 – INTRODUÇÃO	46
3.2 - MATERIAL E MÉTODOS	49
<i>3.2.1 - Caracterização da área de estudo</i>	49
<i>3.2.2 - Amostragem e análise de gases</i>	52
<i>3.2.3 - Análises complementares</i>	53
3.3 - Análises estatísticas	54
3.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
<i>3.4.1 - Fluxos de C-CO₂</i>	54
<i>3.4.2 - Fluxos de NO</i>	64
3.5 – CONCLUSÕES	70
3.6 – REFERÊNCIAS	71
4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

1 - INTRODUÇÃO GERAL

A produção intensiva de alimentos, fibras e silvicultura para atender a grande demanda mundial vêm causando sérios problemas ambientais, principalmente no que diz respeito às mudanças climáticas globais. Por muitos séculos, as taxas de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera foram equilibradas pelas taxas de gases perdidos, mantendo-se a composição gasosa da atmosfera praticamente constante. No entanto, esse equilíbrio foi rompido pelo aumento das emissões pela atividade humana, de modo que alguns gases se acumulam na atmosfera a uma taxa crescente, alterando a composição da atmosfera (HUTCHINSON *et al.*, 2007).

Neste contexto, o recurso natural não renovável solo e suas formas de uso estão em foco (COSTA, *et al.*, 2008). No Brasil, a mudança de uso da terra é uma das grandes causadora destas emissões. As principais causas são: o manejo do solo e sistemas de cultivos inadequados (cultivo tradicional); drenagem dos solos orgânicos ou ricos em matéria orgânica; práticas agrícolas que facilitam a erosão e degradação do solo; cultivos inundados que favorecem a produção de alguns gases nitrogenados, entre eles, o óxido nitroso; desmatamentos e queimadas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

O desmatamento para o cultivo destrói o equilíbrio de entrada e saída de nutrientes do sistema solo-planta-atmosfera, influenciando os estoques de matéria orgânica do solo (MOS) (CERRI *et al.*, 2008). As queimadas além de afetar a microbiota do solo reduzem as funções associadas a MOS como: fonte de nutrientes, alta capacidade de troca de cátions (CTC), muito importante para solos tropicais por favorecer o equilíbrio de cargas em solos pobres em CTC, a redução da toxicidade dos metais pesados, a estruturação do solo, a retenção de água, o aquecimento do solo consequente da sua coloração escura, a proteção do solo a erosão, a redução das amplitudes das variações de umidade e temperatura e a atividade microbiana por ser fonte de energia (BAYER e MIELNICZUK, 2008).

A aração e gradagem são práticas que também afetam a dinâmica da MOS pela exposição do material orgânico lábil com o rompimento dos agregados do solo, favorecendo a ação dos microrganismos que oxidam e liberam carbono que antes se encontrava na forma sólida para a atmosfera (COSTA *et al.*, 2008).

No Nordeste, as características do principal bioma que compõe a região, a Caatinga, favorecem a maior intensidade destes processos, não só pelas condições climáticas e de solo, mas também por predominar uma agricultura extrativista, desenvolvida à custa de desmatamento indiscriminado, queimadas e períodos de pousio inadequados. A região

apresenta altas temperaturas, reduzidas pluviosidades, solos pouco intemperizados e baixa produção de fitomassa (ARAÚJO FILHO, 2002).

Diante da problemática exposta, faz-se necessário o uso de sistema sustentáveis que agridam menos o sistema solo-planta-atmosfera, que favoreçam a cobertura vegetal do solo, o uso correto dos insumos (produção sustentável), o reflorestamento e revegetação de áreas marginais, a conservação do solo e da água, a eliminação da prática das queimadas; a devolução dos resíduos orgânicos ao solo e o manejo conservacionista do solo e da cultura por práticas como plantio direto, adubação verde, cultivo mínimo, rotação de culturas e sistemas agroflorestais (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Sistemas agroflorestais (SAFs) são caracterizados por apresentar uma combinação de espécies arbóreas com culturas agrícolas, apresentando potencial de uso para a região semiárida brasileira. Trabalhos realizados na Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, Ceará desde a implantação de experimento de longa duração com SAFs em 1998 comprovaram a eficiência deste sistema em aportar e estocar carbono e nutrientes, reduzir a erosão hídrica, diminuir as perdas de sedimentos e melhorar a qualidade física do solo (MAIA *et al.*, 2006, 2007, 2008; NOGUEIRA *et al.*, 2008; AGUIAR *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011).

O presente estudo tem seu foco principal voltado para as mudanças climáticas globais e parte da hipótese que os sistemas agroflorestais diminuem, em longo prazo, os fluxos de C e N e aumentam os estoques de matéria orgânica do solo. Objetivou-se avaliar as alterações promovidas nos estoques de C e N (capítulo 1) e nas emissões de N e C (capítulo 2) do solo por sistemas agrícolas agroflorestais (Agrossilvipastoril – AGP e Silvipastoril – SILV) e tradicional (TR), comparativamente à condição natural (Caatinga), após 13 anos, em experimento instalado sobre um Luvissole Crômico Órtico típico, no município de Sobral, semiárido cearense.

1.1 - REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, T. S. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforest Systems**, New York, v. 79, 277-289, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: Agroecologia versus desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, p. 44 – 45, 2002.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da Matéria orgânica. 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 e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre, Metrópole, 2008, cap. 2, p. 7-18.
- CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. 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 e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre, Metrópole, 2008, cap. 20, p. 325-358.
- COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre Metrópole, 2008, cap. 28, p. 545-559.
- HUTCHINSON, C. A.; CAMPBELL, C. A.; DESJARDINS, R. L. Some perspective on carbon sequestration in agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 142, p. 288-302, 2007.
- MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade de solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore, Viçosa**, v. 30, p. 837-848, 2006.
- MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Organic carbon pools in a luvisol under agroforestry an conventional farming systems in the semiarid region of Ceará, Brazil. **Agroforest Systems**, New York, v. 71, 127-138, 2007.
- MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvissolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, 381-392, 2008.
- MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006, p. 729.
- NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais no semi-árido cearense. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, p. 327-337, 2008.

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, p. 61-70, 2011.

2 - ESTOQUES DE C E N DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONAL E AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Resumo

O C e o N são os principais componentes da matéria orgânica do solo e os seus teores e estoques são alterados com o manejo do solo. A adoção de sistemas de manejo que agridam menos o sistema solo-planta-atmosfera e preservem os estoques de C e N do solo são necessários. Objetivou-se avaliar as alterações promovidas nos estoques de C e N do solo por sistemas agrícolas agroflorestais (Agrossilvipastoril – AGP e Silvipastoril – SILV) e tradicional (TR), comparativamente à vegetação natural de Caatinga (VN), após 13 anos, em experimento instalado sobre um Luvisolo Crômico Órtico típico, no município de Sobral, Ceará. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-6, 6-12, 12-20, 20-40 e 40-60 cm, em quatro repetições, considerando os relevos plano, convexo e côncavo em cada situação de estudo. Nestas amostras foram determinados o carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total (NT) e densidades do solo (Ds) e de partícula (Dp). Entre os sistemas agroflorestais estudados, o silvipastoril, em longo prazo, promoveu as maiores reduções nos estoques de C e N, enquanto que agrossilvipastoril as menores perdas, representando uma alternativa sustentável para o sequestro de C e N do solo nas condições semiáridas brasileira. O sistema de cultivo tradicional (TR) apresentou redução no período 13 anos de 58,87 e 9,57 Mg ha⁻¹ (6,5 e 1,06 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) dos estoques de COT e NT, respectivamente, o que comprova a não adequação deste sistema para as condições semiáridas brasileiras. Os relevos côncavo (AGP) e plano (SILV) apresentaram os maiores valores de estoques de COT, enquanto que para o NT, a forma côncava apresentou os maiores valores, no caso em VN, AGP e SILV.

Palavras-chave: Sequestro de carbono, Luvisolos e manejo conservacionista, agricultura itinerante.

STOCKS C AND N LAND IN AGRICULTURAL SYSTEMS IN TRADITIONAL AND BRAZILIAN SEMIARID AGROFORESTRY

Abstract

C and N are the main components of soil organic matter and its contents and stocks are changed with the soil management. The adoption of management systems that attack the less the soil-plant-atmosphere and preserve the stocks of soil C and N are needed. The objective, therefore, assess the changes promoted in the stocks of C and N from the soil by farming systems agroforestry (agrosilvipasture - AGP and silvipasture - SILV) and traditional (TR), compared to natural vegetation of Caatinga (VN), after 13 years, the experiment was installed on a typical Orthic Chromic Luvisol, the city of Sobral, Ceará. Soil samples were collected at depths 0-6, 6-12, 12-20, 20-40 and 40-60 cm, relief in four replicates per. Was determined by the total carbon carbon (TOC); total nitrogen (NT) and bulk density. Among the agroforestry systems studied, the silvipasture, long-term, promoted greater reductions in C stocks and N, the system promoted agrossilvipastroil lower losses and represents a sustainable alternative to sequestration of soil C and N in the Brazilian semi-arid conditions. The traditional cropping system provided a reduction of 58.87 and 9.57 (Mg ha⁻¹), which meant, a reduction of 6.5 and 1.06 (Mg ha⁻¹), for those of TOC and TN, respectively. These results demonstrate the inadequacy of this system for the Brazilian semi-arid conditions. The concave topography (AGP) and flat (SILV) showed the highest values of TOC. For NT the concave shape (VN, AGP, and SILV) showed the highest values.

Keywords: Carbon sequestration, conservation management and Alfisols, shifting cultivation.

2.1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é hoje o terceiro maior exportador de produtos agrícolas no mundo, atrás apenas dos EUA e da União Européia (WTO, 2012). A área plantada com as principais culturas agrícolas (milho, feijão, soja, citros, cana-de-açúcar, café, arroz, trigo e algodão) é de aproximadamente 65 milhões de hectares, distribuídos em 2,8; 13,3; 19,6; 16,3; e 13,3 milhões de hectares nas regiões Norte, Sudeste, Sul, Centro-oeste e Nordeste, respectivamente (INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

No Nordeste brasileiro, o estado do Ceará ocupa a segunda colocação com uma área plantada de 2 milhões de hectares, atrás apenas do estado da Bahia (INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010). A agricultura no Ceará foi e é basicamente extrativista e desenvolvida à custa de desmatamento indiscriminado, queimadas e períodos de pousio inadequados, contribuindo efetivamente para reduzir a vegetação natural predominante (Caatinga). Somado a isso, a região ainda é caracterizada por apresentar altas temperaturas, reduzidas pluviosidades, solos pouco intemperizados e baixa produção de fitomassa (ARAÚJO FILHO, 2002).

É de se esperar, portanto, que o manejo inadequado do sistema solo-planta-atmosfera, aliado à baixa produção de fitomassa, contribuam efetivamente para a redução dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS). A MOS é regulada principalmente pelo aporte dos resíduos orgânicos e a sua decomposição (MAIA *et al.*, 2008). Os principais constituintes da MOS são o C (52 a 58%) e o N (3,7 a 7%), sendo os seus teores e estoques no solo variáveis e função das taxas de adição por resíduos vegetais e, ou, animais, e perdas, dentre elas, as decorrentes da erosão e da oxidação pelos microrganismos do solo (SOUZA *et al.*, 2009).

Carbono e nitrogênio desempenham papel importante na nutrição das plantas e nas questões ambientais por fazerem parte da estrutura dos três principais gases causadores do efeito estufa, o CH₄, CO₂ e o N₂O. A MOS participa do equilíbrio dos ciclos do C e N e seu conteúdo encontra-se estável em solos sob vegetação nativa (BORTOLON *et al.*, 2009). Quando este equilíbrio é quebrado, as entradas, principalmente de C são menores que as saídas (CERRI *et al.*, 2008).

A substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas tradicionais promove alterações tanto na dinâmica de aporte de resíduos orgânicos quanto na sua taxa de decomposição e perdas efetivas (NUNES *et al.*, 2011). Geralmente, os sistemas agrícolas tradicionais promovem maior revolvimento do solo, provocando perdas por erosão, além do

aumento da atividade microbiana pela maior exposição dos resíduos aos microrganismos e suas enzimas (MAIA *et al.*, 2006; GREEN *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2009). Tal condição resulta na diminuição nos seus teores e conseqüentemente no aumento das emissões de C-CO₂ para a atmosfera e diminuição da ciclagem de nitrogênio (SHARMA *et al.*, 2005). Por outro lado, sistemas conservacionistas, que priorizam o aporte de resíduos orgânicos e a menor mobilização do solo, como o plantio direto (SOUZA *et al.*, 2009; MAIA *et al.*, 2010), os sistemas agrossilvipastoris (MAIA *et al.*, 2007; AGUIAR *et al.*, 2010) e silvipastoris (MAIA *et al.*, 2006; TONUCCI *et al.*, 2011) e os cultivos orgânicos (XAVIER *et al.*, 2006), se mostraram eficientes em manter e, às vezes, elevar os teores de N e C do solo (MAIA *et al.*, 2008).

Neste contexto, os sistemas agroflorestais (SAF) representam uma importante alternativa, pois a manutenção e o manejo adequado das árvores proporcionam uma eficiente cobertura ao solo, contribuindo para manutenção e dinâmica da água (AGUIAR *et al.*, 2010). Estudos no semiárido brasileiro, abordando os impactos dos SAFs na qualidade do solo (MAIA *et al.*, 2006); na redistribuição de nutrientes (NOGUEIRA *et al.*, 2006); nas perdas de solo água e nutrientes por erosão hídrica (AGUIAR *et al.*, 2010); nas frações de nitrogênio (MAIA *et al.*, 2008); nos reservatórios de carbono orgânico (MAIA *et al.*, 2007) e na qualidade física do solo (SILVA *et al.*, 2011), apontam que os SAF podem ser uma alternativa viável e sustentável para uso dos solos e da água naquela região.

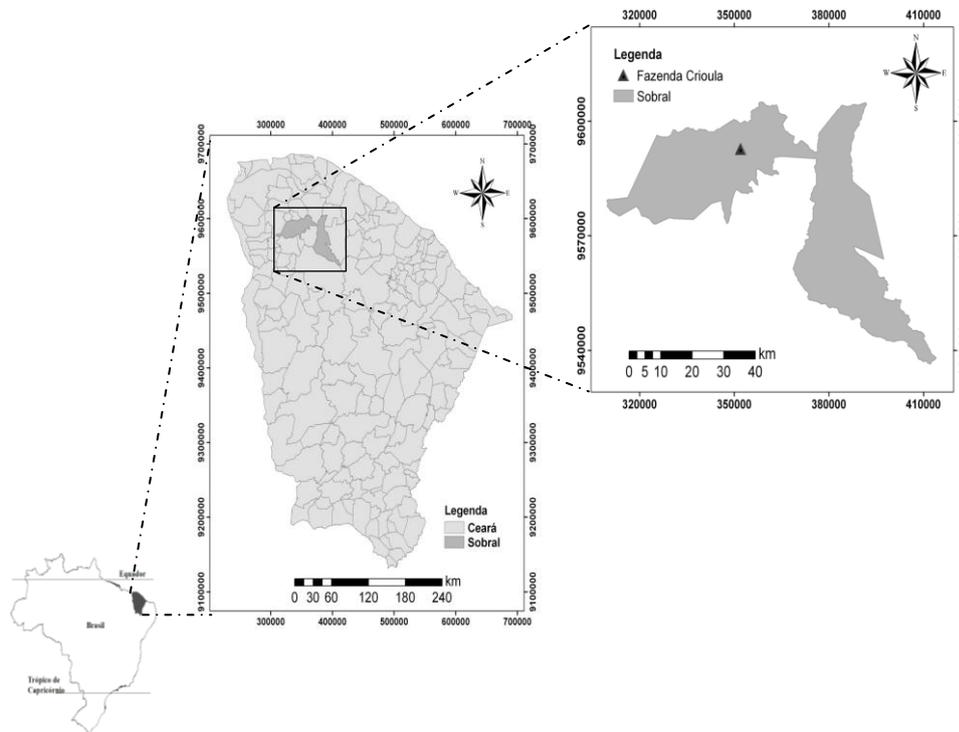
O entendimento da dinâmica da matéria orgânica e seus elementos no solo somente ocorrerão em estudos que levem em consideração o tempo, pois a evolução dos seus teores no solo e as respectivas interações decorrentes das práticas de manejo adotadas tendem a ser lentas (SOUZA *et al.*, 2009). Neste contexto, o presente estudo parte da hipótese que os sistemas agroflorestais aumentam, em longo prazo, os estoques de carbono orgânico do solo. Assim, objetivou-se avaliar as alterações promovidas nos estoques de C e N do solo por sistemas agrícolas agroflorestais (Agrossilvipastoril – AGP e Silvipastoril – SILV) e tradicional (TR), comparativamente à condição de vegetação natural de Caatinga (VN), após 13 anos, em experimento instalado sobre um Luvisolo Crômico Órtico típico, no município de Sobral-CE.

2.2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 - Caracterização da área de estudo

A área experimental localiza-se na Fazenda Crioula, pertencente a Embrapa Caprinos e Ovinos (CNPQ), situada no município de Sobral, Ceará, Brasil. O município encontra-se na região semiárida cearense ($3^{\circ} 41' S$ e $40^{\circ} 20' W$), com altitude de 70 m (Figura 1). A temperatura e precipitação médias anuais são $27^{\circ} C$ e $821,6 \text{ mm ano}^{-1}$, respectivamente. O período chuvoso historicamente concentra-se nos meses de fevereiro a maio (IPECE, 2005), sendo confirmados por duas estações meteorológicas instaladas na área experimental em 2011 (Figura 2). Os solos apresentam manchas de Luvisolo Crômico Órtico típico e Luvisolo Hipocrômico Órtico típico (AGUIAR *et al.*, 2006), segundo classificação da EMBRAPA (2006).

Figura 1 – Localização da área experimental na Fazenda Crioula, Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, Ceará, Brasil.



Os sistemas agroflorestais (SAFs) estudados pela Embrapa Caprinos e Ovinos desde 1997 são compostos de três subáreas cada um, integradas e destinadas prioritariamente, cada uma delas, a produção agrícola, pecuária e preservação da vegetação natural (Caatinga). Estas subáreas correspondem, conforme a sua prioridade, respectivamente, às seguintes

situações: Agrossilvipastoril (AGP), silvipastoril (SILV) e vegetação natural (VN). Além destas situações, o sistema tradicional (TR) adotado na região, caracterizado pela derrubada da vegetação, queima e cultivo por 2-3 anos, também foi selecionado para este estudo. A caracterização química e física do solo e a descrição de cada um dos sistemas estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Figura 2 – Temperaturas médias máximas e mínimas mensais, em °C, e precipitação pluviométrica média, em mm, no ano de 2011, na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

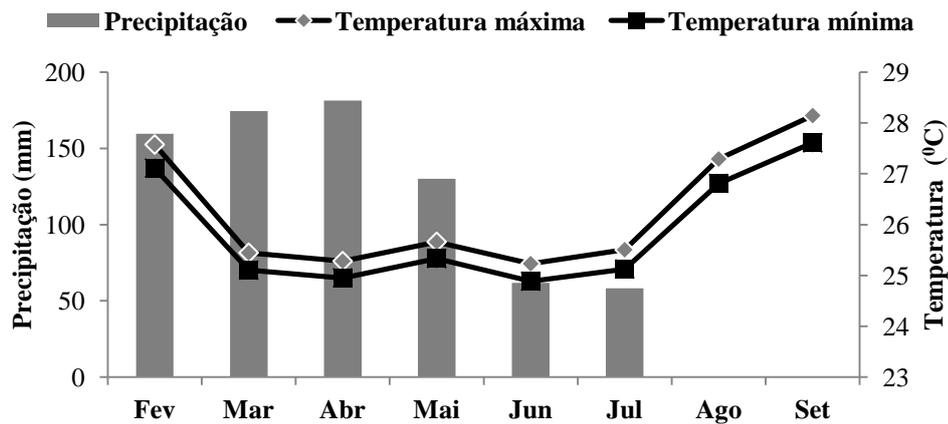


Tabela 1 – Caracterização química e física na camada de 0-40 cm de Luvissoilo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), em Sobral-CE

Características do solo	Sistemas de manejo			
	VN	SILV	AGP	TR
Areia grossa (g kg ⁻¹)*	321,6	461,6	265,7	308,6
Areia fina (g kg ⁻¹)*	233,3	216,2	364,7	293,1
Silte (g kg ⁻¹)*	276,7	208,8	255,7	236,9
Argila (g kg ⁻¹)*	168,4	113,4	113,9	164,4
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,7	1,8	1,6	1,7
pH em água (1:2,5)*	6,8	6,4	7,0	6,8
Ca ²⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	22,1	6,3	21,8	16,9
Mg ²⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	9,7	3,0	4,3	5,5
K ⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	1,3	0,9	0,9	1,2
Na ⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	0,2	0,1	0,2	0,2
CTC (cmol _c dm ⁻³)*	35,6	12,7	28,0	26,1
Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	23,5	16,4	13,6	10,8
NT (g kg ⁻¹)	1,1	0,9	0,9	0,6

*Valores extraídos de Maia *et al.* (2007)

Tabela 2 – Descrição do uso e manejo das áreas experimentais instaladas em Luvissole Crômico Órtico típico em Sobral-CE, Brasil

Áreas experimentais	Sistema de manejo	Famílias de árvores dominantes	Histórico e uso do solo
Vegetação nativa (VN) (3,1 ha)	Vegetação nativa (Caatinga) consistindo de pequenas árvores que perdem suas folhas sazonalmente.	Borragonaceae, Euforbiaceae, Caesalpinaceae, Papilionaceae, Combretaceae, Mimosoideae e outras com abundância limitada	Área de Caatinga cujas árvores foram eliminadas em 1981, posteriormente em pousio e esporadicamente utilizada para pastoreio em épocas de severa escassez hídrica.
Silvipastoril (SILV) (4,8 ha)	Pastagem para 20 ovelhas no período seco e úmido.	Borragonaceae, Mimosoideae e outras com abundância limitada	Desmatamento para redução da cobertura arbórea a 260 árvores ha ⁻¹ (38% de cobertura do solo). O material lenhoso, após aproveitamento da madeira útil na propriedade foi enleirado perpendicularmente em cordões de 0,4 m de largura. Nesta área não houve nenhum preparo do solo e uso de adubação orgânica ou química.
Agrossilvipastoril (AGP) (1,6 ha)	Aléias de <i>Leucoena sp</i> cultivadas a cada 3,0 m, juntamente com milho (<i>Zea mays</i> L.) entrefileiras no período chuvoso. No período seco ocorre a e pastoreio dos restos culturais por 20 ovelhas (<i>Ovis aries</i>) por 1 h dia ⁻¹ .	Borragonaceae, Caesalpinaceae e outras de abundância limitada	Nesta área foi feito o desmatamento para se obter um total de 200 árvores ha ⁻¹ (22% de cobertura do solo), tendo sido o material lenhoso restante enleirado perpendicularmente ao declive predominante na área. Nos primeiros 3 anos, o preparo do solo foi feito com enxada e, posteriormente, o uso de cultivador com tração animal, tanto para plantio quanto controle de plantas espontâneas. O esterco produzido no aprisco é utilizado para adubação da área.
Tradicional (TR) (1,6 ha)	Área em pousio, tendo sido cultivado com milho (<i>Zea mays</i> L.) com 0,3-0,5 m de espaçamento, nos anos de 2002 e 2003, no período chuvoso, seguido de pousio, tendo sido utilizada para pastoreio dos resíduos culturais no período seco.	<i>Hyptissuaveolens</i> Poit, <i>Senna</i> sp e <i>Stylosanthes humilis</i> H. B. K. ocorrem nos primeiros anos de pousio e, posteriormente, <i>Croton sonderianus</i> Muell, <i>Caesalpinia brocoteosa</i> Tul, <i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir, <i>Auxemma oncocalyx</i> Taub. e <i>Combretum leprosum</i> Mart.	Vegetação de caatinga totalmente eliminada, restos culturais queimados, preparada manualmente com com enxada, não tendo sido utilizada adubação orgânica ou mineral.

Adaptada de Silva *et al.* (2011)

2.2.2 - Coleta e análise de solo

Amostras de solo deformadas e torrões foram coletados em Junho de 2011 em minitrincheiras (50 x 50 x 50 cm) nas profundidades de 0-6, 6-12, 12-20, 20-40 e 40-60 cm, considerando-se as formas de relevo plano, convexo e côncavo, conforme Nogueira (2009). As amostras foram secas ao ar, sendo que as deformadas foram passadas em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro.

A determinação do carbono orgânico total do solo (COT) foi feita por oxidação com $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ em meio ácido (H_2SO_4), com fonte externa de calor, utilizando bloco digestor a 170 °C por 30 minutos. O excesso de dicromato, após a oxidação, foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) de 0,2 mol L⁻¹, de acordo com Yeomans e Bremner (1988). O nitrogênio total (NT) foi quantificado por meio de digestão sulfúrica, seguida de destilação de Kjeldahl e titulação com HCl 0,02 mol L⁻¹, conforme Bremner (1996).

A densidade do solo foi determinada pelo método do torrão impermeabilizado (EMBRAPA, 1997), opção adotada em função da excessiva pedregosidade e pouca espessura (60 a 80 cm de profundidade) do solo da área (AGUIAR et al., 2010). Para tanto, torrões com aproximadamente 4 cm de diâmetro foram pesados e mergulhados em parafina. Após secagem, foi novamente pesado e, em seguida, colocado em béquer de volume conhecido. Para a determinação do volume total do béquer, assim como do volume do torrão parafinado, utilizou-se bureta de 100 mL e água destilada. A referência utilizada para a obtenção do volume foi à eliminação da primeira gota pelo bico do béquer.

Os estoques de C e N do solo foram calculados multiplicando-se a densidade do solo, a espessura da camada amostrada e o teor de COT e NT do solo, de acordo com a equação: $E = 10 \cdot d \cdot h \cdot C$, em que: E é o estoque de COT ou NT (Mg ha⁻¹); d é a densidade aparente do solo (g cm⁻³); h é espessura da camada amostrada (cm); e COT ou NT = teores de C e N totais do solo (g kg⁻¹) e 10 é o conversor de unidades.

2.3 - Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro áreas (parcelas), três diferentes formas de relevo (subparcelas) e cinco profundidades (subsubparcelas). Os dados de estoques de COT e NT foram submetidos à análise de variância

(ANOVA), para verificação, em cada profundidade, dos efeitos dos sistemas de manejo do solo e dos relevos. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) (SILVA e AZEVEDO, 2009).

2.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

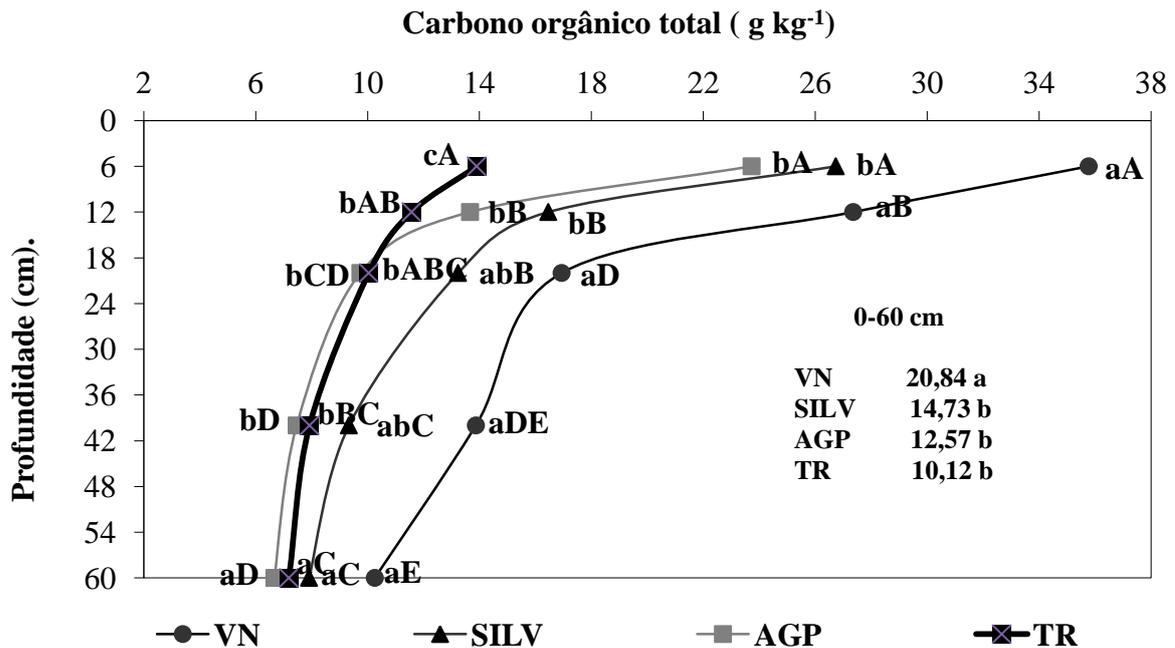
2.4.1 - Teores e estoques de carbono orgânico total do solo (COT)

Entre as camadas estudadas, os teores de COT foram maiores nas duas primeiras (0-6 e 6-12 cm) em todos os sistemas de manejo estudados, havendo diferenças significativas ($P < 0,05$) com as demais camadas (Figura 3). Estes resultados estão em acordo com os obtidos por Maia *et al.* (2007) e Heinze *et al.* (2010), inclusive quando o sistema tradicional (TR) é avaliado. Este sistema de uso tende a promover certa uniformidade dos teores de COT e outros elementos em profundidade, promovida pela redução dos teores de COT com o uso nas primeiras camadas, o que também pode ser associado ao revolvimento superficial do solo, mesmo sendo pouco intenso, como em outros sistemas de uso do solo (RANGEL *et al.*, 2007). A comparação com os dados obtidos por Maia *et al.* (2007), determinados em 2002, nas mesmas camadas e área experimental, no caso 34,8; 22,3 e 34,4 g kg⁻¹ de COT para 0-6 cm e 17,2; 14,4 e 23,1 para 6-12 cm, respectivamente em SILV, AGP e TR, indica que os sistemas SILV e TR apresentaram perdas equivalentes a 23,2 e 59,6%, enquanto que no AGP houve acréscimos de 6,4%, considerando a camada 0-6 cm, entre 6 a 12 cm de espessura as perdas foram de 4,3; 5,1 e 49,9% em SILV, AGP e TR, respectivamente .

Entre os sistemas de manejo observou-se, os maiores teores de COT em VN, seguido de SILV e AGP, sendo os menores em TR, os quais não diferem estatisticamente ($P < 0,05$) na camada de 40 a 60 cm. Considerando as variações em relação à VN (Figura 3) e a profundidade avaliada (0-60 cm), verificaram-se reduções nos teores de COT em torno de 51,4; 41,2 e 29,31%, em TR, AGP e SILV, respectivamente. No TR esta grande redução nos teores de COT pode ser explicado pelo baixo aporte de material orgânico e pelo revolvimento do solo com o uso de cultivador e enxadas para abertura de covas para plantio, além da retirada pelas colheitas a queima rotineira dos restos culturais, o que favorece a perda de matéria orgânica pela desagregação do solo ocasionada pelo preparo do solo. No caso do AGP, a redução pode ser explicada pela oxidação da matéria orgânica gerada pelo revolvimento do solo e pela exportação de resíduos orgânicos do sistema quando é feita a

colheita de toda a parte aérea das culturas anuais para a produção de feno utilizado no período seco, mesmo que compensada pelo retorno do esterco produzido no aprisco. As razões comentadas são confirmadas pelo histórico das áreas de estudo (Tabela 1) e pelos resultados de Maia *et al.* (2006). De modo geral, sistemas que priorizam o revolvimento do solo estimulam a ação dos microrganismos sobre os compostos orgânicos pelo aumento da aeração, maior contato do solo com os resíduos vegetais e ruptura dos agregados do solo, expondo o material orgânico lábil a oxidação (COSTA *et al.*, 2008), liberando o C-CO₂ para a atmosfera. Com relação ao SILV não houve tanto aporte de material orgânico, pois a vegetação é utilizada para pastejo animal, além de não haver qualquer tipo de retorno de resíduos produzidos pelos animais para esta área.

Figura 3 – Teores de carbono orgânico total do solo (COT), em g kg⁻¹, em Luvissoilo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) após treze anos de uso, Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas em cada camada, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.



Portanto, os resultados indicam claramente que qualquer perturbação, seja de maior ou menor intensidade, promove a redução dos teores de COT do solo (Figura 3) (MAIA *et al.*, 2007; MAIA *et al.*, 2008; VEUM *et al.*, 2011; NOVARA *et al.*, 2012), provavelmente associado ao aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica, proporcionando, assim, aumento das emissões de C-CO₂ para a atmosfera e diminuição da ciclagem de N (NOVARA *et al.*, 2012).

Espera-se que estas perturbações, em menor ou maior grau e promovidas pelos sistemas de manejo estudados, possam ser acentuados quando associados ao relevo, maximizando ou não as consequências dos diferentes sistemas de manejo estudados. O escoamento superficial pode favorecer zonas de acúmulo (côncavo) e não acúmulo (convexo) pela redistribuição da água na superfície do solo, o que pode refletir nas diversas propriedades do solo, como por exemplo, a MOS. Estas condições associadas à microclimas podem alterar a capacidade de resposta do solo a vários fatores, como por exemplo, o potencial do solo em seqüestrar carbono (SENTHILKUMAR *et al.*, 2009).

Na avaliação dos teores de COT, nos relevos concavo, convexo e plano dos diferentes sistemas de manejo estudados, observou-se que, justamente naqueles sistemas em que a intensidade de uso é máxima (TR) e mínima (VN), os teores de COT não diferenciaram-se estatisticamente ($P < 0,05$), o que não aconteceu com os demais: AGP e SILV (Tabela 3). A movimentação da superfície com o cultivo e/ou a redução da cobertura vegetal proporcionou alterações no padrão natural de distribuição de COT, porém sem uma tendência esperada de maior acúmulo nos relevos côncavos Bergstrom et al. (2001), como são os casos dos maiores teores em relevo plano no SILV e concavo no AGP. AGP e SILV apresentam diferenças que evidenciam os efeitos associados do relevo e suas regiões de acúmulo e a movimentação da superfície, pois os resultados observados para estas duas situações são confirmados pelo TR tornando evidente o fenômeno do transporte e acúmulo promovido pelo escoamento superficial, associado à redução dos teores de COT com a intensidade de uso ($TR > AGP > SILV > VN$), como comentado anteriormente.

Tabela 3 – Teores de carbono orgânico total do solo (COT), em $g\ kg^{-1}$, em Luvisolo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral-CE

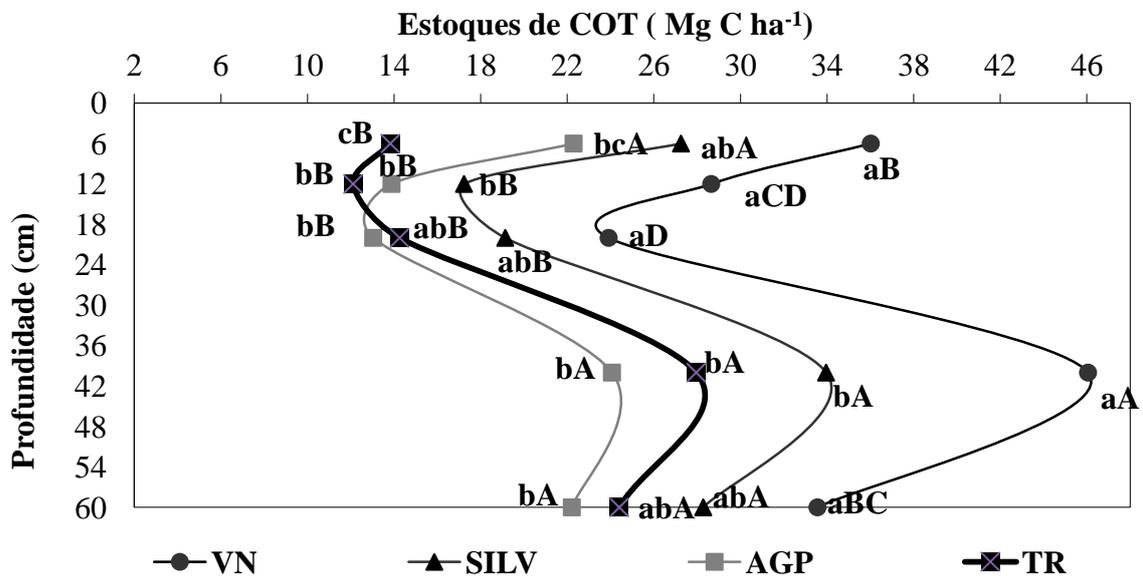
Sistema de manejo	Relevo		
	Plano (PL)	Convexo (CV)	Côncavo (CN)
	$(g\ kg^{-1})$		
VN	19,46 aA	22,87 aA	20,18 aA
SILV	17,24 abA	14,05 bAB	12,90 bB
AGP	10,81 cB	10,24 bB	15,71 abA
TR	11,19 bcA	8,11 bA	11,06 bA

Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

O comportamento dos estoques de COT (Figura 4) nas diferentes camadas é semelhante ao observado nos teores (Figura 3), porém com um aumento acentuado entre 20 e 60 cm de profundidade. A princípio poderia-se atribuir a diferenças de densidade do solo com

o uso, o que não foi constatado, uma vez que não foram identificadas diferenças estatísticas significativas (Tabela 4) entre os diferentes tipos de uso, o que leva a associá-los a espessura da camada, no caso 10 e 20 cm, referentes a 3^a e 4^a camadas coletadas. Deve ser destacado também que nestas mesmas camadas podem ser observados maiores teores e estoques de COT de TR em relação à AGP, apesar da não existência de diferenças estatísticas. Tal fato pode ser atribuído ao revolvimento do solo no TR, movendo material orgânico da superfície para a subsuperfície.

Figura 4 – Estoques de carbono orgânico total do solo (COT), em Mg ha^{-1} , em Luvissoilo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) após treze anos de uso do solo em Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada profundidade, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.



Considerando o somatório dos estoques de COT nas camadas avaliadas, verificou-se que os menores valores foram encontrados em TR relevo convexo (TR+CV) (71 Mg ha^{-1}), enquanto que os maiores ocorreram em VN relevo convexo (179 Mg ha^{-1}). Estoques intermediários: 171, 153, 142 e 129 Mg ha^{-1} de COT foram encontrados em VN relevos côncavo e plano (VN+CN e VN+PL) e em SILV relevo plano (SILV+PL) e AGP relevo côncavo (AGP+CN), respectivamente (Figura 5).

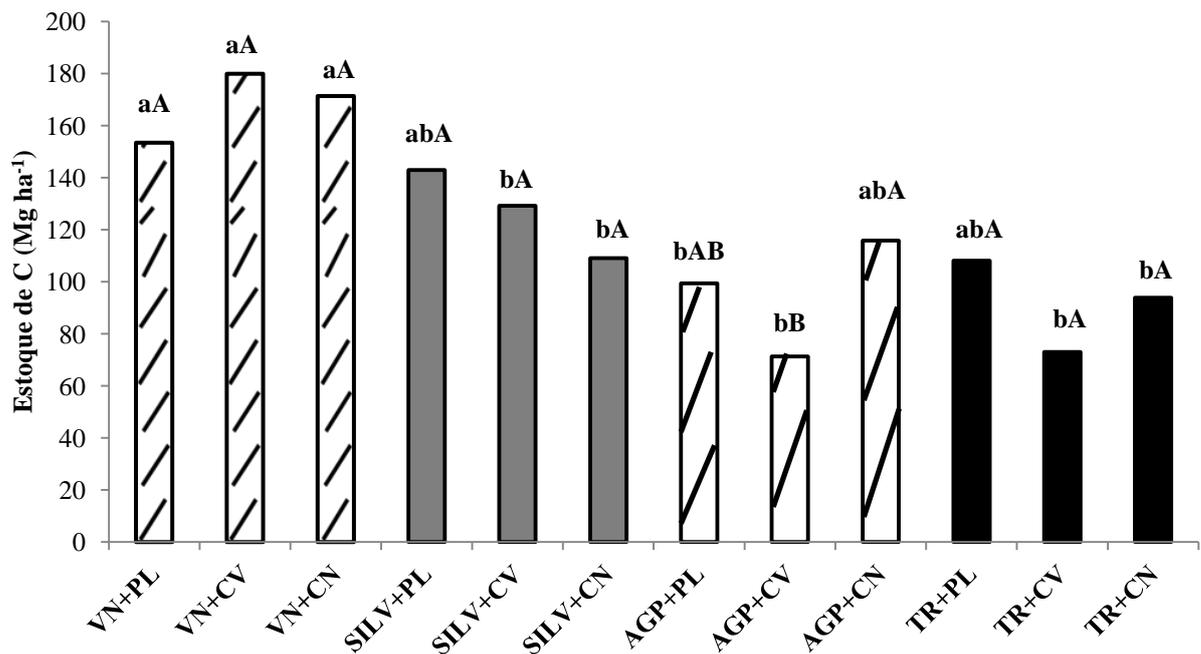
Tabela 4 – Densidade do solo, em g cm^{-3} das diferentes camadas em Luvissoilo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), após treze anos de uso do solo em Sobral-CE

Sistema de manejo	Profundidade (cm)				
	0-6	6-12	12-20	20-40	40-60
	Mg m^{-3}				

VN	1,67 aA	1,74 aA	1,77 aA	1,66 bcA	1,65 Ba
SILV	1,69 aB	1,75 aAB	1,81 aAB	1,82 aA	1,79 aAB
AGP	1,57 aA	1,69 aA	1,68 aA	1,62 cA	1,62 bA
TR	1,66 aA	1,75 aA	1,78 aA	1,76 abA	1,70 abA

Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as profundidades, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

Figura 5 – Estoques de carbono orgânico do solo (COT), em Mg ha^{-1} , na camada de 0-60 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso de um Luvissole em Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.



De acordo com Soto-Pinto *et al.* (2010), o potencial dos SAFs em estocar C varia de 12 a 228 Mg ha^{-1} , com média de 95 Mg ha^{-1} considerando 100 cm profundidade. Neste estudo, os maiores valores estão sempre acima da média, comprovando o potencial destes sistemas em estocar C, lembrando que 60 cm foi a profundidade máxima na área, conforme Aguiar *et al.* (2006), tipicamente associada aos Luvissoles. Portanto, caso fosse considerado a profundidade de 100 cm, como recomendado (IPCC, 2007), certamente os sistemas apresentariam valores mais elevados de estoques de COT. Mesmo nos sistemas de uso e relevo que os estoques de COT foram os menores, no caso TR e AGP, relevos convexo, os quais apresentaram reduções de 60,4 e 59,0% em relação à VN+CV, os estoques encontrados de 71,3 e 73,0 Mg ha^{-1} ainda se encontram dentro da faixa de potencial dos SAFs para estocar COT observada por Soto-Pinto *et al.* (2010).

A comparação entre os estoques de COT em 2002, avaliados por Maia *et al.* (2007), e os obtidos em 2011 neste estudo, considerando a camada 0-40 e independente do tipo de relevo (Tabela 5), indicou que TR, SILV e AGP, nesta ordem, apresentaram perdas de

58,87, 23,87 e 8,13 Mg ha⁻¹ nos estoques de COT, enquanto VN aumentou em 9,6 Mg ha⁻¹. Estes resultados podem ser associados à época de coleta de amostras por Maia et al. (2007), quatro anos após a implantação do experimento (1998), quando resíduos gerados pelo raleamento das árvores no sistema foram dispostos no solo Maia et al. (2007), influenciando os estoques iniciais determinados. A redução da biomassa natural com retirada de parte para fora da área com a prática do raleamento, associado à decomposição dos resíduos orgânicos na implantação de AGP e SILV, dispostos sobre a superfície, com o tempo podem ser as principais razões para os valores observados. Deve-se considerar que em TR esta redução é imediata pela ação do fogo. Parte dos resíduos orgânicos podem ter se estabilizado pela interação com a fração mineral do solo e proteção pela estrutura (HUANG, 2004), o que não acontece com TR. No AGP as perdas são minimizadas pelo retorno de resíduos orgânicos produzidos pelos animais no aprisco. Mesmo o revolvimento superficial previsto em AGP não foi capaz de acelerar tanto assim a redução dos estoques de COT. Em estudo na região semiárida mediterrânea, Novara *et al.* (2012) observaram redução de 58 Mg ha⁻¹ na camada de 0-40 cm, em locais onde foi feita a conversão da vegetação nativa para áreas agrícolas. O revolvimento do solo era feito com uso do arado de aiveca e o período de implantação do sistema correspondeu aos anos de 1972 a 2008 (36 anos), ou seja, 27 anos a mais que o presente estudo.

Tabela 5 – Estoques de carbono orgânico total (COT), em Mg ha⁻¹, em 2002 e 2011 em Luvisolo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) e na camada de 0-40 cm, em Sobral-CE

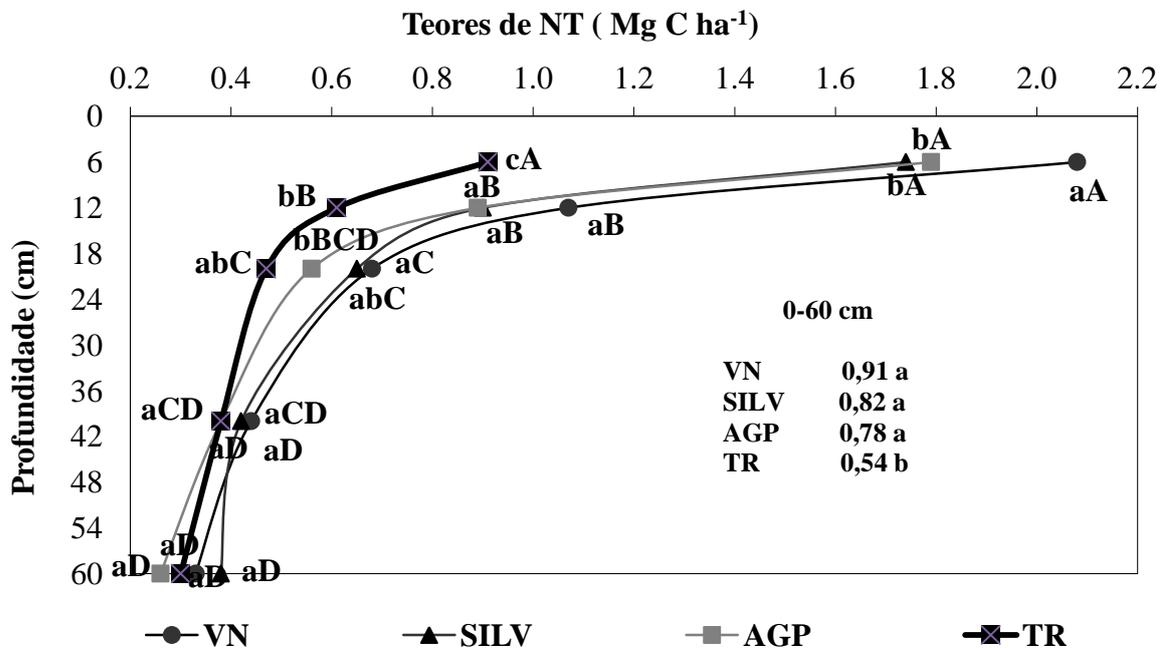
Sistema de manejo	Estoques de carbono orgânico total (COT) (Mg ha ⁻¹)		
	2002	2011	Diferença
VN	125,05	134,65	9,6
SILV	121,46	97,59	-23,87
AGP	76,77	71,64	-8,13
TR	127,03	68,16	-58,87

2.4.2 - Teores e estoques de nitrogênio total do solo (NT)

Os resultados observados para NT indicam comportamento semelhante aos observados para COT, como já conhecidos na literatura (LONGO e ESPÍNDOLA, 2000). Os teores de NT em todos os tratamentos foram maiores nas camadas superficiais (0-6, 6-12 e 12-20 cm), com diferenças significativas (P<0,05) (Figura 6), diminuindo com o aumento da

profundidade. Nas camadas mais profundas (20-40 e 40-60 cm) não foram observadas diferenças estatísticas ($P < 0,05$) e os teores mantiveram-se constantes. É também nas primeiras camadas que se encontram as diferenças entre os sistemas de manejo, sendo os maiores teores de NT observados em VN, seguido de AGP e SILV, enquanto TR apresentou os menores. As diferenças estatísticas ($P < 0,05$), identificadas nas camadas de 0-6, 6-12 e 12-20 cm, apontam reduções de 56, 13,9 e 15,8% para 0-6 cm, 42,2, 16,8 e 14,9% para 6-12 cm e 30,8, 16,2 e 4,4% para 12-20 cm, respectivamente para TR, AGP e SILV, em relação à VN (Figura 6).

Figura 6 – Teores de nitrogênio total (NT), em g kg^{-1} , em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) após treze anos de uso em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas em cada camada, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.



Maia *et al.* (2008) encontraram na mesma área experimental para as camadas 0-6 e 6-12 cm, valores de NT de 5,46, 3,02 g kg^{-1} , atribuindo estes altos valores ao maior teor de argila 250 g kg^{-1} , além da influência da matéria orgânica na superfície, evidenciando a relação entre as frações orgânicas e minerais do solo. Ao comparar os resultados obtidos no estudo citado com os encontrados neste, verifica-se que no sistema de cultivo TR houve grandes perdas de NT ao longo do tempo, com reduções de 83,3, 79,8% no período de nove anos (2002 a 2011). Reduções no TR podem estar relacionadas ao revolvimento superficial do solo com uso de cultivador e enxadas para capinas e aberturas de covas, queimadas, pouco aporte de material orgânico, além da maior exposição da superfície do solo, favorecendo condições edafoclimáticas para a mineralização da MOS.

A redução de NT também foi observada por Heinze *et al.* (2010) ao avaliar o uso da grade aradora em experimento de longa duração, em Luvissolo na Alemanha, tendo sido constatado a redução de 22% de NT nas camadas superficiais do solo, comparativamente a um sistema com revolvimento mínimo. Esse decréscimo foi relacionado à ruptura dos agregados alterando principalmente a temperatura e o conteúdo de água do solo, favorecendo o processo de desnitrificação (COSTA *et al.*, 2008). Para Perroni-Ventura *et al.* (2010) limitações de N em ecossistemas áridos e semiáridos são acentuados por perdas de solo decorrentes de processos erosivos, lixiviação, volatilização de amônia e desnitrificação.

Observou-se que a variação dos teores de NT dos sistemas estudados em relação à VN permite avaliar se está havendo perdas ou aumentos de NT. Observou-se que SILV e AGP apresentaram perdas de 10,8 e 15,2%, enquanto TR apresentou redução de 41,3%. Porém, quando se compara ao TR, verifica-se que o SILV e o AGP proporcionaram aumentos de 34,1 e 30,7%, respectivamente, evidenciando a eficiência dos SAFs na conservação do NT.

Outro fator determinante para regular os conteúdos de NT no solo é o relevo. Os maiores valores de NT foram encontrados no relevo côncavo em todos os tratamentos avaliados, seguido pelos relevos plano e convexo, sendo o maior teor ($1,06 \text{ g kg}^{-1}$) encontrado em VN, seguido do AGP ($0,96 \text{ g kg}^{-1}$) e do SILV ($0,87 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 6). Estes resultados confirmam a hipótese que, o formato côncavo proporciona o acúmulo de material orgânico ao solo Bergstrom *et al.* (2001) levando a um aumento nos teores de nitrogênio, já que este é um elemento importante e que controla o ciclo da matéria orgânica na biosfera (KNICKER, 2011).

Tabela 6 – Teores de nitrogênio total (NT), em g kg^{-1} , em Luvissolo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CN) e plano (PL), após treze anos de uso do solo em Sobral-CE

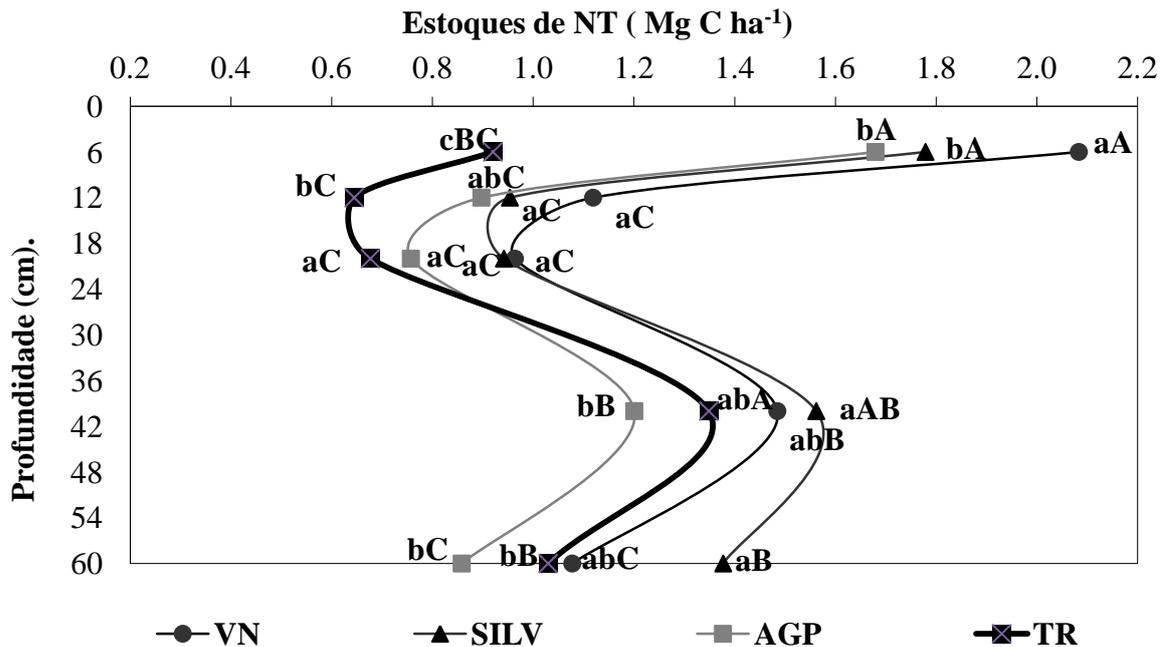
Sistema de manejo	Relevo		
	Plano (PL)	Convexo (CV)	Côncavo (CN)
	(g kg^{-1})		
VN	0,88 aAB	0,82 aB	1,06 aA
SILV	0,87 aA	0,73 abA	0,87 aA
AGP	0,57 bB	0,80 aAB	0,96 aA
TR	0,53 bA	0,53 bA	0,55 bA

Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

Os relevos convexo e plano apresentaram os menores valores de NT. Este fato, provavelmente, pode estar ocorrendo porque em locais onde a intensidade de chuva em um curto período de tempo é muito grande, característica típica de regiões semiáridas, o relevo exerce grande influência na dinâmica da água, sobretudo, por influenciar de forma ativa o processo de erosão hídrica (ZYGMUNT, 2009). Neste sentido, o formato de relevo convexo, principalmente, é responsável por acelerar o escoamento superficial, levando consigo grande parte do horizonte A, mais arenoso, rico em material orgânico e nutriente, típico dos Luvisolos, deixando exposto o horizonte Bt, mais argiloso e endurecido. Esta condição agrava cada vez mais os processos erosivos, principalmente, em locais onde há revolvimento do solo, como ocorre no TR, o qual apresentou uma redução de 35,3% nos teores de NT, em comparação a VN, ambos sobre relevo convexo.

Quando avaliam-se os estoques de NT nas diferentes camadas apresentam (Figura 7) comportamento semelhante aos observados com o COT, inclusive o aumento entre 20 e 60 cm de profundidade, o que foi associado a espessura adotada no cálculo e não necessariamente às diferenças de densidade do solo. Quando estes resultados são totalizados por sistema e relevo (Figura 8), constata-se que os estoques de NT, em geral, foram maiores no relevo côncavo (CN) para todas as áreas, sendo os maiores valores encontrados em VN, AGP e SILV, todos diferindo significativamente ($P < 0,05$) do TR+CN, o qual apresentou os menores estoques de NT. Essa diferença significou uma redução nos estoques de N de 42; 34; e 30%, em relação aos sistemas VN+CN, AGP+CN e SILV+CN, respectivamente.

Figura 7 – Estoques de nitrogênio total (NT), em Mg ha^{-1} , em Luvisolo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre as camadas em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada profundidade, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.



Em geral, sistemas tradicionais de manejo apresentam maiores valores de estoques de N (D'ANDRÉA et al., 2004; LOVATO et al., 2004; LEITE et al., 2009), comparados aos encontrados neste estudo, o que é justificável pelo uso da adubação mineral que proporciona maior desenvolvimento vegetativo, e conseqüentemente maior aporte de resíduos ao solo. Porém, o sistema avaliado apesar de ser cultivado tradicionalmente não recebe nenhum tipo de adubação mineral.

É provável que no sistema TR, o não uso da adubação mineral somado ao baixo aporte de resíduos orgânicos, a exportação de nutrientes com a colheita e a queima dos restos culturais e ao revolvimento do solo com cultivador e enxada sejam determinantes para explicar os menores valores de estoques de NT encontrados neste sistema. Por outro lado, AGP e SILV os valores de estoques não diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) da VN. São muito poucas e incertas as informações sobre o efeito dos sistemas agroflorestais nos estoques de NT (MAO *et al.*, 2010). Alguns autores observam aumentos nos estoques de NT depois da conversão de terras para sistemas agroflorestais (SARTORI *et al.*, 2007; MORRIS *et al.*, 2007), outros encontraram diminuição nos estoques de NT depois da conversão (SMAL e OLSZEWSKA, 2008). Os menores estoques de NT podem estar relacionados ao baixo aporte de resíduos vegetais, acúmulo na parte aérea da planta e o não uso da adubação nitrogenada, enquanto, os maiores estoques estão relacionados a deposições de resíduos vegetais e do N atmosférico (MAO *et al.*, 2010).

Figura 8 – Estoques de nitrogênio total (NT), em Mg ha^{-1} , na camada de 0-60 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso em Sobral-CE. Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

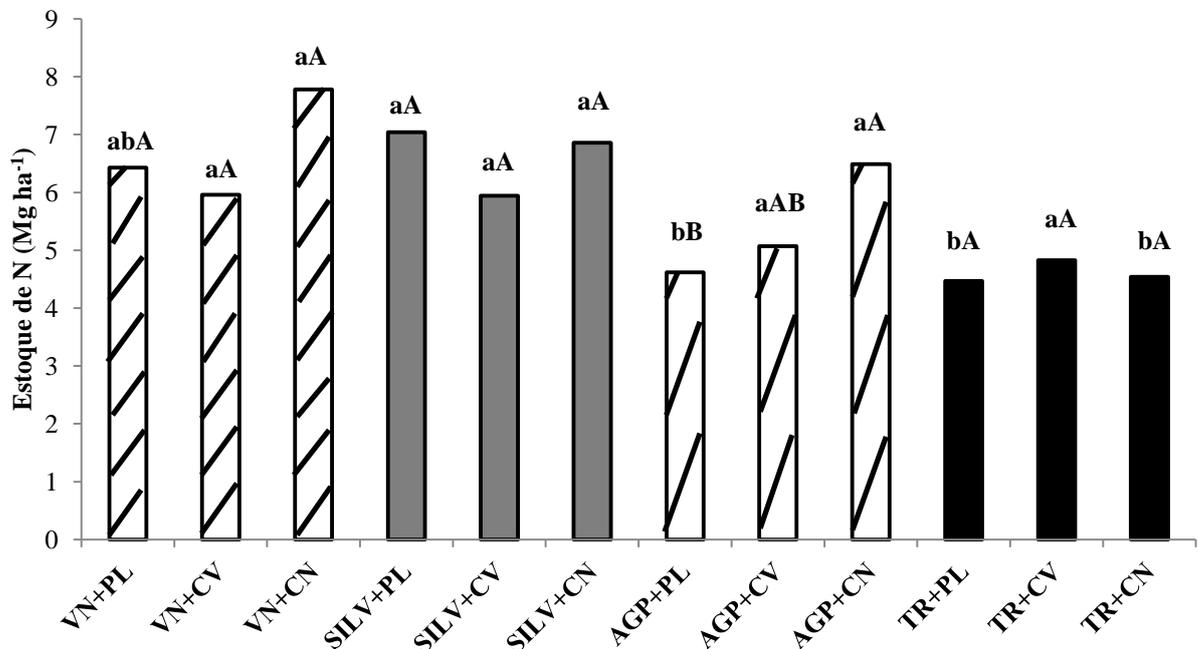


Tabela 7 – Estoques de nitrogênio total (NT), em Mg ha^{-1} , em 2002 e 2011 em Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) na camada de 0-40 cm, em Sobral-CE

Sistema de manejo	Estoque de nitrogênio total (NT)		
	2002	2011	Diferença
VN	10,15	5,65	- 4,5
SILV	10,56	5,23	- 5,33
AGP	8,53	4,09	- 4,44
TR	13,16	3,59	- 9,57

Quando compara-se os resultados obtidos em 2002 e 2011 para os estoques de NT, considerando a camada de 0-40 cm, independente do tipo de relevo (Tabela 7), verifica-se que TR está promovendo a redução de $9,57 \text{ Mg ha}^{-1}$ nos estoques de NT em um período de nove anos, o que significa, um decréscimo anual de $1,06 \text{ Mg ha}^{-1}$. O SILV e o AGP promoveram menores perdas de NT ao longo do tempo, com reduções de $5,33$ e $4,44 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em TR, o NT pode estar sendo perdido por lixiviação de nitrato (NO^{-3}) ou em formas gasosas (via NH_3 , volatilização ou desnitrificação) devido à mineralização da MOS, estimulada pelo revolvimento do solo que já se encontra sem nenhuma proteção, promovendo a desagregação do mesmo, expondo a matéria orgânica, favorecendo a oxidação biológica, o aumento da

aeração e, sobretudo, da temperatura, um dos principais responsáveis por aumentar os processos de desnitrificação e amonificação (SISTI *et al.*, 2004).

Os teores e estoques de N e C influenciam diretamente o sequestro de C no solo, pois valores de relação C/N próximos de 10, favorecem a redução da atividade dos organismos responsáveis pela decomposição da MOS, diminuindo a produção de CO₂ (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Por outro lado, quando se adiciona grandes quantidades de resíduos orgânicos com elevada relação C/N ao solo, os microrganismos que atuam na decomposição da MOS se tornam ativos, multiplicando-se rapidamente e produzindo CO₂ em grande quantidade (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Na Tabela 8 são apresentados os valores de relação C/N, por não haver diferença estatística entre os sistemas nas diferentes camadas, os dados foram apresentados com o desvio padrão (Média ± desvio padrão). Os resultados podem, em parte, explicar a contribuição para o sequestro de C ao longo do tempo, especialmente no caso do AGP, o qual apresenta perdas de COT, porém as menores entre os sistemas estudados quando comparado a VN.

A relação C/N do solo, em geral, aumentou com as maiores profundidades em quase todos os tratamentos (Tabela 8), o que pode ser atribuído à maior redução de NT em relação à COT. Na camada de 0-60 cm os maiores valores observados foram em VN, considerando todos os relevos. As variações da relação C/N do solo podem estar ligadas à composição da matéria orgânica do solo. Locais que predominam o cultivo de gramíneas tendem a apresentar maiores relações, enquanto que o cultivo de leguminosas reduz as relações, o que pode ser observado no AGP, onde o cultivo de feijão (principalmente logo após a implantação dos sistemas) e leucena podem estar contribuindo para os menores valores de relação C/N, especialmente quando em relevo convexo (AGP+CV). Estes resultados estão em acordo com estudos realizados na região semiárida do México por Perroni-Ventura *et al.* (2011). Estes autores encontraram maiores valores médios de relação C/N (15,2) onde não houve o cultivo de leguminosas e os menores (10,3) onde havia.

Tabela 8 – Relações C/N de Luvisolo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR) em relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral-CE

Sistema de manejo + Relevo	Profundidade (cm)					
	0-6	6-12	12-20	20-40	40-60	0-60

VN+PL	16,83 ± 1,15	28,55 ± 7,84	22,72 ± 2,85	28,98 ± 5,38	28,42 ± 11,25	25,10 ± 3,52
VN+CV	22,61 ± 9,74	35,47 ± 18,86	30,65 ± 15,98	39,15 ± 24,27	37,48 ± 19,13	33,07 ± 13,94
VN+CN	14,57 ± 3,5	18,36 ± 5,27	23,89 ± 8,95	31,51 ± 15,67	34,29 ± 21,91	24,52 ± 10,37
SILV+PL	16,70 ± 1,85	21,77 ± 4,03	22,38 ± 5,83	23,94 ± 10,71	23,55 ± 14,28	21,67 ± 5,44
SILV+CV	16,12 ± 2,77	19,02 ± 3,79	24,17 ± 6,65	26,09 ± 8,83	25,63 ± 8,83	22,21 ± 4,09
SILV+CN	13,73 ± 1,49	13,89 ± 0,73	16,28 ± 1,59	18,97 ± 3,52	17,74 ± 6,91	16,12 ± 2,33
AGP+PL	14,35 ± 3,58	20,85 ± 3,66	22,34 ± 8,14	29,26 ± 10,35	26,83 ± 6,73	22,73 ± 3,55
AGP+CV	11,70 ± 1,54	12,28 ± 2,52	14,39 ± 3,67	17,98 ± 7,32	22,15 ± 14,17	15,70 ± 4,71
AGP+CN	14,39 ± 2,17	14,67 ± 1,85	17,51 ± 6,66	18,36 ± 5,58	28,55 ± 10,52	18,69 ± 4,26
TR+PL	14,93 ± 1,30	17,68 ± 2,08	24,91 ± 6,98	29,57 ± 6,81	36,75 ± 15,10	24,77 ± 4,29
TR+CV	13,00 ± 1,63	16,59 ± 2,34	17,37 ± 3,05	15,06 ± 5,12	19,22 ± 7,55	16,25 ± 2,58
TR+CN	17,53 ± 2,20	21,89 ± 5,12	21,80 ± 7,36	20,95 ± 5,17	23,22 ± 3,39	21,08 ± 3,46

* Os valores das camadas 0-6, 6-12, 12-20, 20-40 e 40-60 cm representam a média (n=4) ± desvio padrão; # os valores da camada 0-60 cm representa a média (n=20) ± desvio padrão.

Urquiaga *et al.* (2010) comentam que, para atingir uma forma estável, o C existente nos resíduos precisa ser processado pelos organismos do solo e ganhar propriedades que o torna estável, seja pela interação com colóides minerais ou pela formação de moléculas orgânicas recalcitrantes. Estes mesmos autores enfatizam que nos sistemas agrícolas não existe falta de C, pois mais de 42% da massa seca dos resíduos é C, mas o elemento limitante é quase sempre o N. O N regula os processos de mineralização e imobilização do solo. A imobilização é um processo que ocorre concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso. A imobilização é definida como a transformação do N inorgânico em N orgânico. Os microrganismos são os responsáveis por estes processos que resultam na formação da MOS.

Para Cantarella *et al.* (2007), a relação C/N ideal para formar a matéria orgânica estável do solo se encontra na faixa de 10 a 15. Neste estudo o único sistema que apresentou valores semelhantes foi o AGP e talvez por isso, acumule mais carbono ao longo do tempo, concordando com Urquiaga *et al.* (2010), os quais enfatizam que o uso de leguminosas como adubos verde, no qual todo N do ar ingressa no sistema, parece ser a melhor estratégia para a questão do sequestro de C nos sistemas agrícolas.

2.5 – CONCLUSÕES

Entre os sistemas agroflorestais estudados, o silvipastoril (SILV), em longo prazo, promoveu maiores reduções nos estoques de C e N.

O sistema agrossilvipastoreio (AGP) promoveu menores perdas e representa uma alternativa sustentável para o sequestro de C e N do solo nas condições semiáridas brasileira.

O sistema de cultivo tradicional proporcionou redução de 58,87 e 9,57 (Mg ha⁻¹), o que significou, uma redução de 6,5 e 1,06 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para os estoques de COT e NT, respectivamente.

Esses resultados comprovam a não adequação deste sistema para as condições semiáridas brasileiras.

O relevo côncavo (AGP) e plano (SILV) apresentaram os maiores valores de estoques de COT, enquanto a forma côncava (VN, AGP e SILV) apresentou os maiores valores para NT.

2.6 – REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, p. 270-278, 2006.
- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, T. S. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforest Systems**, New York, v. 79, 277-289, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: Agroecologia versus desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, p. 44 – 45, 2002.
- BERGSTROM, D. W.; MONREAL, C. M.; JACQUES, E. ST. Spatial dependence of soil organic carbon mass and its relationship to soil series and topography. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 53-62, 2001.
- BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1635-1646, 2009.
- BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L., ed. **Methods of soil analysis. Part 3**. Madison, America Society of Agronomy, 1996. p.1085-1121 (SSSA Book Series, 5).
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 7, p. 375-470.
- CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. 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 e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre, Metrópole, cap. 20, 2008. p. 325-358.
- COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, cap. 28, p. 545-559, 2008.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 179-186, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPq, 2006. 309p.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; CRUZ, D. E.; CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, p. 114-121, 2007.

HEINZE, A.; RAUBER, R.; JOERGENSEN, R. G. Influence of mouldboard plough and Rotary harrow tillage on microbial biomass and nutrient stocks in two long-term experiments on loess derived Luvisols. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 46, p. 405-412, 2010.

HUANG, P. M. Soil mineral – organic matter – microorganism interactions: Fundamentals and impacts. **Advances in Agronomy**, New York, v. 82, p. 391-472, 2004.

INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: Brasil 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 443p. (Estudos e pesquisas. Informação geográfica, n. 7).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change 2007. **Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Cambridge University, 2007. 939p.

IPECE–Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2005) Perfil Básico Municipal, Sobral. SEPLAN–Secretaria do Planejamento e Coordenação, Governo do Estado do Ceará Fortaleza, CE, Brasil, 10p.

KNICKER, H. Soil organic N – An under-rated player for C sequestration in soil? **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 43, p. 1118-1129, 2011.

LEITE, L. F. C.; CARDOSO, M. J.; COSTA, D. B.; FREITAS, R. C. A.; RIBEIRO, V. Q.; GALVÃO, S. R. S. Estoques de C e de N e produtividade do milho sob sistemas de preparo e adubação nitrogenada em um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado piauiense, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 2460-2466, 2009.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 723-729, 2000.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; VEZZANI, F. Adição de carbono e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 175-187, 2004.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade de solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 837-848, 2006.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Organic carbon pools in a luvisol under agroforestry an conventional farming

systems in the semiarid region of Ceará, Brazil. **Agroforest Systems**, New York, v. 71, 127-138, 2007.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvissole sob sistemas agrofloretais e convencional no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, 381-392, 2008.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, 177-184, 2010.

MAO, R.; ZENG, D.; HU, Y.; LI, L.; YANG, D. Soil organic carbon and nitrogen stocks in na age-sequence of poplar stands planted on marginal agricultural land in Northeast China. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 332, p. 277-287, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006, p. 729.

MORRIS S. J.; BOHM, S.; HAILE-MARIAM, S.; PAUL, E. A.; Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, p. 1145-1156, 2007.

NOGUEIRA, R. S. **Distribuição especial de carbon, nutrients e solo em Luvissole sob sistemas agrícolas tradicionais e agrofloretais no município de Sobral – CE**. 2009. 138 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agrofloretais no semi-árido cearense. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, p. 327-337, 2008.

NOVARA, A.; LA MANTIA, T.; BARBERA, V.; GRISTINA, L. Paired-site approach for studying soil organic carbon dynamics in a Mediterranean semiarid environment. **Catena**, Amsterdam, v. 89, p. 1-7, 2012.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1407-1419, 2011.

PERRONI-VENTURA, Y.; MONTAÑA, C.; GARCÍA-OLIVA, F. Carbon-nitrogen interactions in fertility island soil from a tropical semi-arid ecosystem. **Functional Ecology**, Londres, v. 24, p. 233-242, 2010.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

SARTORI, F.; LAL, R.; EBINGER M. H.; EATON, J. A. Changes in soil carbon and nutrient pools along a chronosequence of poplar plantations in the Columbia Plateau, Oregon, USA, **Agricultural Ecosystem Environmental**, Amsterdam, v. 122, p. 325-339, 2007.

SENTHILKUMAR, S.; KRAVCHENKO, A. N.; ROBERSTON, G. P. Topography influences management system effects on total soil carbon and nitrogen. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 73, p. 2059-2067, 2009.

SHARMA, K. L.; MANDAL, U. K.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K. P. R.; MANDAL, B.; GRACE, J. K.; RAMESH, V. Longterm soil management effects on crop yields and soil quality in dryland Alfisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 83, p. 246-259, 2005.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: World congress on computers in agriculture, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, p. 61-70, 2011.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

SMAL, H.; OLSZEWSKA, M. The effect of afforestation with scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 305, p. 171-187, 2008.

SOTO-PINTO, L.; ANZUETO, M.; MENDOZA, J.; FERRER, G. J.; JONG, B. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, New York, v. 78, p. 39-51, 2010.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistemas de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido à intensidade de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1829-1836, 2009.

TONUCCI, R. G.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F.S. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, p. 833-841, 2011.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: Uma análise crítica. **Informações Agronômicas**, v. 130: p. 12 – 21, 2010.

VEUM, K. S.; GOYNE, K. W.; HOLAN, S. H.; MOTAVALLI, P. P. Assessment of soil organic carbon and total nitrogen under conservation management practices in the Central Claypan Region, Missouri, USA. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, p. 188-196, 2011.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 30, p. 247-258, 2006.

ZIGMUNT, E. Alluvial as an effect of long-term man-landscape interactions and climatic conditions: A case study from the Glubczyce Plateau, SW Poland. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 108, p. 58-70, 2009.

3 - FLUXOS DE C E N EM SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONAL E AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Resumo

A mudança no uso e manejo do solo têm provocado aumentos nas concentrações dos principais gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera, entre os quais os que contêm carbono (CO₂) e nitrogênio (NO). Práticas de uso e manejo do solo que visem mitigar as emissões destes gases para a atmosfera são essenciais e os sistemas agroflorestais (SAFs) se apresentam com grande potencial. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o impacto nos fluxos de CO₂ e NO por sistemas agrícolas agroflorestais (Agrossilvipastoril – AGP e Silvipastoril – SILV) e tradicional (TR), comparativamente à vegetação natural de caatinga (VN), após 13 anos de uso, em experimento instalado sobre um Luvissole Crômico Órtico típico, no município de Sobral-CE. O fluxo dos gases foi quantificado no campo utilizando um analisador de O₂, CO₂, NO/NO_x e SO₂ (Unigás Eurotron 3000), utilizando câmaras estáticas com base de aço galvanizado e tampas de PVC montadas no campo para a coleta dos gases. A amostragem foi feita em três repetições, considerando os relevos plano, convexo e côncavo em cada situação de estudo, sendo que para cada determinação foram realizadas triplicatas. Amostras de solo foram coletadas para determinação das densidades do solo (Ds) e de partícula (Dp) e a umidade gravimétrica (Ug), o que possibilitou o cálculo da porosidade total (Pt) e o espaço poroso preenchido por água (EPPA). Os resultados indicaram que os fluxos de C-CO₂ variaram com a época, sendo AGP e SILV semelhantes à VN no período úmido, enquanto no período seco AGP e SILV foram maiores. O TR apresentou comportamento diferenciado, sendo maior no período úmido e semelhante ao AGP e SILV no período seco. Os fluxos de NO apresentaram comportamento sem uma tendência semelhante ao C-CO₂: AGP e SILV foram semelhantes no período úmido, porém menores que VN. No período seco, SILV e VN foram maiores que AGP, enquanto que no TR, o NO não foi detectado nos dois períodos. O formato de relevo convexo no sistema TR apresentou os maiores valores de fluxos de C-CO₂, no período úmido. No período seco foram encontrados maiores valores de fluxos de C-CO₂ em AGP, SILV e TR, em relação à VN, no relevo plano. A umidade do solo foi a variável que mais se correlacionou com os fluxos de NO, o que pôde ser observado nos sistemas SILV e AGP e na VN relevos convexos.

Palavras-chave: Gases do efeito estufa, uso e manejo do solo, Luvissoles, agricultura familiar, agroecologia.

CO₂ AND NO FLOW IN AGRICULTURAL SYSTEMS IN TRADITIONAL AND BRAZILIAN SEMIARID AGROFORESTRY

Abstract

Use change and soil management has led to increases in the concentrations of major greenhouse gases (GHG) emissions to the atmosphere. Among these, has the carbon containing in its composition, carbon dioxide (CO₂), for example, and nitrogen gases, among them, nitric oxide (NO). Use practices and soil management aimed at mitigating the emissions of these gases into the atmosphere are essential. In this context, agroforestry systems are presented with great potential. Thus, the objective of this study to evaluate the impact on CO₂ fluxes and NO systems agroforestry (agrosilvipasture –AGP and silvipasture – SILV) and traditional (TR), compared to natural vegetation of Caatinga (VN), after 13 years, the experiment was installed on a typical Orthic Chromic Luvisol, the city of Sobral, semiarid Brazilian. The gas flow was measured using an analyzer in the field of O₂, CO₂, NO/NO_x and SO₂ (Unigas Eurotron 3000). For this, still cameras based on galvanized steel and PVC cover were assembled in the field at the time of collection of gases. The sampling was done in three replicates, considering the relief plan, convex and concave in each study situation, and for each triplicate determinations were made, total of nine cameras for relief. Soil samples were collected for determination of soil bulk density (D_s) and particle (D_p) and gravimetric moisture (U_g), which allowed the calculation of total porosity (P_t) and the pore space filled with water (EPPA). Flows of C-CO₂ varied with the time, AGP and SILV being similar to NV in the wet season, while in the dry season are higher. The TR has a different behavior, being higher during the wet season and similar to AGP and SILV in the dry. The flow behavior of NO present without a tendency similar to C-CO₂: AGP and SILV presents similar to each other in the wet season, but smaller than VN. During the dry SILV and VN are larger than AGP. In TR NO was not detected in the two periods. The convex shape of relief TR system showed the highest values of C-CO₂ fluxes in the wet season. In the dry season were found higher values of C-CO₂ flows in AGP, SILV and TR, compared to NV flat terrain. Soil moisture was the variable most correlated with the fluxes of NO, what might be observed in systems SILV and AGP and VN convex reliefs.

Keywords: Greenhouse gas, use and soil management, Luvisols, family farmers, agroecology.

3.1 – INTRODUÇÃO

Por muitos séculos, as taxas de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera foram equilibradas pelas taxas de gases perdidos, mantendo-se a composição gasosa da atmosfera praticamente constante. No entanto, esse equilíbrio foi rompido pelo aumento das emissões pela atividade humana, de modo que alguns gases se acumulam a uma taxa crescente, alterando a composição da atmosfera (HUTCHINSON *et al.*, 2007).

Entre esses gases, tem-se os que contêm carbono e nitrogênio em sua composição como o dióxido de carbono (CO₂) e o óxido nítrico (NO). Dados do IPCC (2007) apontam que a concentração de CO₂ aumentou de 280 para 379 mg L⁻¹ no final da década passada. O CO₂ é o que mais contribui para o efeito de estufa antropogênico, devido à grande quantidade que é emitida para a atmosfera, cerca de 55 % do total. Embora as concentrações dos gases nitrogenados na atmosfera sejam menores, o poder de aquecimento global promovido por estes gases é muito superior, sendo em torno de 298 vezes maior que o de CO₂ (CERRI *et al.*, 2007).

No Brasil, diferentemente do que ocorre no mundo, a principal fonte de emissão dos GEE é a mudança no uso do solo. Para Cerri *et al.* (2007), o desmatamento e as práticas agrícolas são os principais responsáveis por essas emissões, onde cerca de 75 % do CO₂ emitido para a atmosfera são derivados dessas duas práticas. Somente 25% são derivados da queima de combustíveis fósseis. Desconsiderando as práticas agrícolas e o desmatamento, o Brasil se encontra na 17ª colocação na classificação mundial dos países emissores de GEE. No entanto, quando estas duas práticas são consideradas, o país passa a ocupar a quinta colocação, atrás apenas da China, Estados Unidos da América, União Européia e Indonésia.

O manejo inadequado do solo com sistemas de preparo do tipo convencional (aração e gradagem) é uma das causas dessas emissões em nível nacional, por regular principalmente, os estoques de carbono orgânico do solo (COS) (LA SCALA *et al.*, 2006). Segundo Costa *et al.* (2008), estas práticas estimulam a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica do solo (MOS) e resíduos vegetais pelo aumento da aeração, maior contato solo/resíduo vegetal e ruptura dos agregados do solo, expondo o material orgânico lábil. Em estudos realizados em Luvisolo Crômico Órtico típico, Maia *et al.* (2007) observaram a redução de 39,8% em sistema que fazia uso intensivo do solo para cultivo em comparação a vegetação natural (Caatinga). Portanto, a dimensão desses processos, em diferentes condições de clima e solo, depende direta ou indiretamente do manejo do solo adotado (MIELNICZUCK, 2008).

As queimadas contribuem muito para o efeito estufa por serem responsáveis pela liberação dos três principais gases (N_2O , CO_2 e CH_4), além de emissões de gases do efeito estufa indiretos (NO_x , NH_3 , CO e compostos orgânicos voláteis não metálicos de carbono-NMVOC). Na Amazônia, a queima de biomassa nas áreas de conversão de florestas para outros usos do solo foi responsável por emissões de 1,8 Tg (1 Tg = 10^{12} g) de CH_4 (COMUNICAÇÃO NACIONAL, 2004).

Outra prática considerada como causadora das emissões dos GEE para a atmosfera é a adubação com fertilizantes nitrogenados minerais, resultando em aumento das emissões de N_2O e NO para a atmosfera (BOUWMAN *et al.*, 2010). O NO é um gás precursor do N_2O , e por isso, tem efeito indireto no aumento da concentração dos GEE na atmosfera (IPCC, 2006). As maiores emissões de NO ocorrem nos Estados Unidos (17% das emissões globais de culturas energéticas), Brasil (11%), Europa Oriental (8%), Sudeste da Ásia (10%), Rússia (6%) e no resto da Ásia (13%) (BOUWMAN *et al.*, 2010). A nitrificação é o principal processo responsável pela produção do NO em solos agrícolas (BOUWMAN, 1998). Esses processos são afetados por condições físicas (conteúdo de água, temperatura do solo e difusão de O_2), químicas (concentração de nitrato e amônio e disponibilidade de C facilmente metabolizável) e biológicas do solo (atividade microbiana) (COSTA *et al.*, 2008).

No Nordeste, o bioma Caatinga cobre grande parte da região semiárida (SALCEDO e SAMPAIO, 2008). Esse cenário é caracterizado pela intensidade nos processos de degradação. As áreas em processo de degradação, de intensidade baixa a severa, já somam mais de 20 milhões de hectares, correspondendo a aproximadamente 22% da região (SILVA e GUIMARÃES FILHO, 2006). As causas dessa degradação que modificou o ambiente natural e aumentou a variabilidade deste local são: os desmatamentos, a agricultura itinerante e permanente, a pecuária intensiva e extensiva e o extrativismo (SALCEDO e SAMPAIO, 2008). Nesses ambientes são escassos os estudos que investiguem as emissões de gases do efeito estufa. Vários autores estudaram sobre a emissão e remoção desses gases da atmosfera nas regiões Norte e Centro-Oeste (CARMO *et al.*, 2005; MAIA *et al.*, 2009; MAIA *et al.*, 2010) e Sul e Sudeste do Brasil (CARMO *et al.*, 2007; METAY *et al.*, 2007; CHIARARDIA *et al.*, 2009; ESCOBAR *et al.*, 2010). A Caatinga é denominada como um dos biomas brasileiros mais ameaçados e, ainda, insuficientemente conhecido (KILL *et al.*, 2008).

Ecossistemas naturais ou manejados que preservem o estrato arbóreo são normalmente os que apresentam maiores teores de carbono orgânico total e isto certamente não é uma condição específica da região semiárida (SALCEDO e SAMPAIO, 2008). Nesta região vários trabalhos (MAIA *et al.*, 2007; NOGUEIRA *et al.*, 2008; AGUIAR *et al.*, 2010)

demonstram a importância que as árvores apresentam na estocagem de carbono orgânico do solo. Estas aportam elevada quantidade de resíduos orgânicos ao solo, em superfície e em subsuperfície, além de retirar nutrientes de camadas mais profundas e retorná-los à superfície do solo pela queda das folhas (SALCEDO e SAMPAIO, 2008). Hoje em dia no âmbito das mudanças climáticas globais, o solo e suas formas de uso estão em foco, sobretudo no que se refere à agricultura (COSTA *et al.*, 2008).

Portanto, se faz necessário a utilização de agroecossistemas que agridam menos a natureza. Os sistemas agroflorestais (SAFs) são uma alternativa viável para a região nordeste (SILVA e GUIMARÃES FILHO, 2006), generalizadamente degradada pela destruição da flora e erosão de solos, em consequência de práticas agrícolas pastoris e madeireiras em uso pelos produtores. Os SAFs se caracterizam por apresentar uma combinação de espécies arbóreas com culturas agrícolas (BREMAN e KESSLER, 1997). Um exemplo que se pode ter da importância dos SAFs nestes ambientes é que após ser emitido do solo para a atmosfera, o NO muitas vezes é rapidamente oxidado a dióxido de nitrogênio (NO₂), podendo ser facilmente absorvido nas superfícies das folhas das árvores, reduzindo a quantidade de NO e NO₂ do sistema solo-planta-atmosfera. Portanto, este processo de reabsorção é muito importante na copa das árvores de ambientes que as preservem, como nos SAFs, por exemplo, (BOUWMAN, 1998).

Comprovadamente esses sistemas proporcionam menor redistribuição, maior aporte e estoque de carbono e nutrientes no solo (NOGUEIRA *et al.*, 2008), sendo eficientes na redução da erosão hídrica e na diminuição das perdas de sedimentos (AGUIAR *et al.*, 2010). Porém, pesquisas de GEE com estes sistemas na região semiárida brasileira ainda não existem. No mundo, estudos realizados em regiões semiáridas (DICK *et al.*, 2008; LAM *et al.*, 2011) comprovam a importância de pesquisas voltadas para esse tema. Para Lam *et al.* (2011), no semiárido chinês há uma relação positiva entre a elevação na concentração do CO₂ na atmosfera e a evolução de GEE de origem antropogênica, o que pode induzir o aquecimento global em maior média do que as previsões atuais. Por outro lado, Dick *et al.* (2008) sugerem que a rotação de culturas em regiões semiáridas da África Ocidental não aumenta a emissão de gases nitrogenados para a atmosfera, recomendando esta prática como uma nova tecnologia para a região. Já no Brasil, as ações devem ser intensificadas visando melhor quantificar a contribuição dos diferentes agroecossistemas para as emissões, bem como identificar atividades ou práticas com potencial de mitigação (COSTA *et al.*, 2008).

É imprescindível conhecer as contribuições das regiões semiáridas para as questões globais de GEE para atmosfera, para que ocorra o desenvolvimento de modelos e estratégias de manejo (GALBALLY *et al.*, 2010).

Neste contexto, considerando a hipótese de que os sistemas agroflorestais reduzem as emissões de gases do efeito estufa para atmosfera, o presente estudo objetivou avaliar o impacto nos fluxos de C e N por sistemas agrícolas agroflorestais (Agrossilvipastoril – AGP e Silvipastoril – SILV) e tradicional (TR), comparativamente à vegetação natural de Caatinga, após 13 anos, em experimento instalado sobre um Luvisolo Crômico Órtico típico, no município de Sobral, semiárido cearense.

3.2 - MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 - Caracterização da área de estudo

A área experimental localiza-se na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPIC) da EMBRAPA, situada no município de Sobral, Ceará, Brasil. O município encontra-se na região semiárida cearense (3° 41' S e 40° 20' W), com altitude de 70 m (Figura 9). A temperatura e precipitação médias anuais são 27 °C e 821,6 mm ano⁻¹, respectivamente. O período chuvoso historicamente concentra-se, principalmente, nos meses de fevereiro a maio (IPECE, 2005), sendo confirmados por duas estações meteorológicas instaladas na área experimental em 2011 (Figura 10). Os solos apresentam manchas de Luvisolo Crômico Órtico típico e Luvisolo Hipocrômico Órtico típico (AGUIAR *et al.*, 2006), segundo classificação da EMBRAPA (2006).

Os sistemas agroflorestais que estão sendo estudados no CNPIC desde 1997 são compostos de três subáreas cada um, integradas e destinadas prioritariamente, cada uma delas, à produção agrícola, à pecuária e à preservação da vegetação natural de Caatinga. Estas subáreas correspondem, conforme a sua prioridade, respectivamente, às seguintes situações: Agrossilvipastoril (AGP), silvipastoril (SILV) e vegetação natural (VN). Além destas situações, o sistema tradicional (TR) adotado na região, também foi selecionado para este estudo. A caracterização química e física do solo e a descrição de cada um dos sistemas são apresentadas nas Tabelas 9 e 10.

Figura 9 – Localização de área experimental na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos - CNPC - EMBRAPA, Sobral, Ceará.

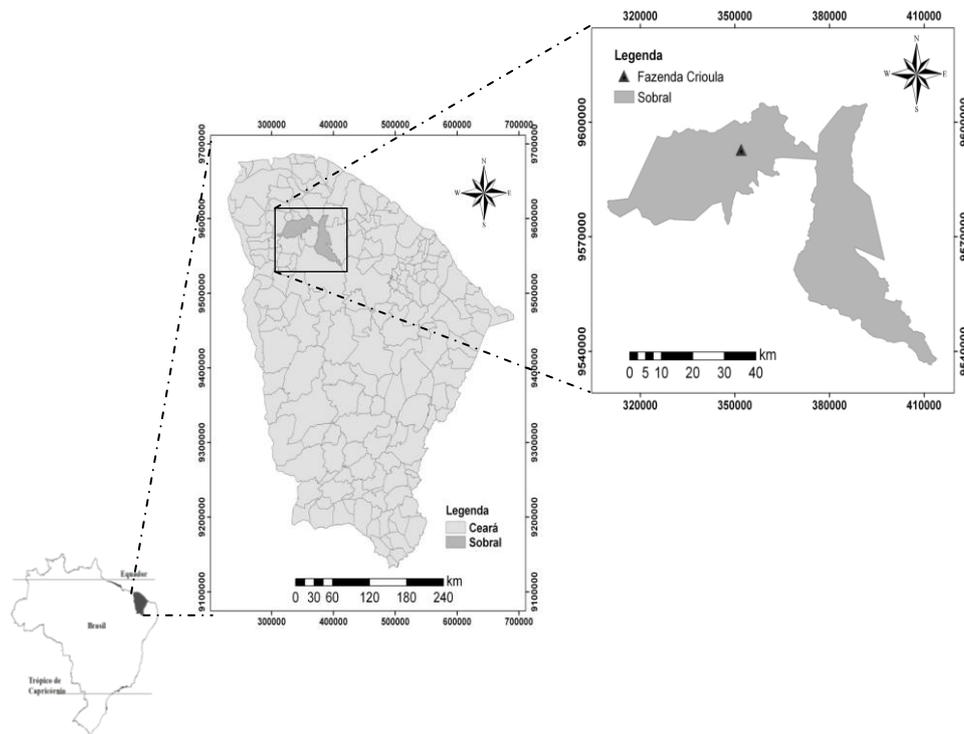


Figura 10 – Temperaturas médias máximas e mínimas mensais, em °C, e precipitação pluviométrica média, em mm, no ano de 2011, na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

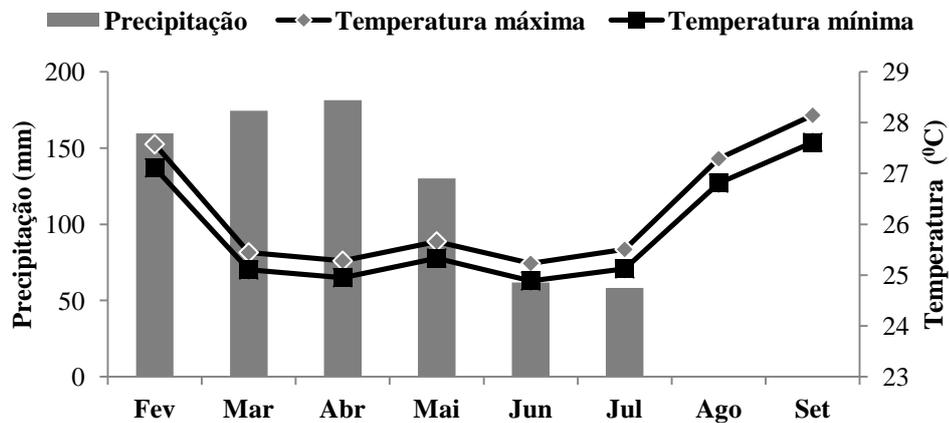


Tabela 9 – Caracterização química e física na camada de 0-40 cm de Luvissoilo Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), em Sobral-CE

Características do solo	Sistemas de manejo			
	VN	SILV	AGP	TR
Areia grossa (g kg ⁻¹)*	321,6	461,6	265,7	308,6
Areia fina (g kg ⁻¹)*	233,3	216,2	364,7	293,1
Silte (g kg ⁻¹)*	276,7	208,8	255,7	236,9
Argila (g kg ⁻¹)*	168,4	113,4	113,9	164,4
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,7	1,8	1,6	1,7
pH em água (1:2,5)*	6,8	6,4	7,0	6,8
Ca ²⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	22,1	6,3	21,8	16,9
Mg ²⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	9,7	3,0	4,3	5,5
K ⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	1,3	0,9	0,9	1,2
Na ⁺ trocável (cmol _c dm ⁻³)*	0,2	0,1	0,2	0,2
CTC (cmol _c dm ⁻³)*	35,6	12,7	28,0	26,1
Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	23,5	16,4	13,6	10,8
NT (g kg ⁻¹)	1,1	0,9	0,9	0,6

*Valores extraída de Maia *et al.* (2007)

Tabela 10 – Descrição do uso e manejo das áreas experimentais instaladas em Luvissoilo Crômico Órtico típico em Sobral-CE, Brasil

Áreas experimentais	Sistema de manejo	Famílias de árvores dominantes	Histórico e uso do solo
Vegetação nativa (VN) (3,1 ha)	Vegetação nativa (Caatinga) consistindo de pequenas árvores que perdem suas folhas sazonalmente.	Borragonaceae, Euforbiaceae, Caesalpinaceae, Papilionaceae, Combretaceae, Mimosoideae e outras com abundância limitada	Área de Caatinga cujas árvores foram eliminadas em 1981, posteriormente em pousio e esporadicamente utilizada para pastoreio em épocas de severa escassez hídrica.
Silvipastoril (SILV) (4,8 ha)	Pastagem para 20 ovelhas no período seco e úmido.	Borragonaceae, Mimosoideae e outras com abundância limitada	Desmatamento para redução da cobertura arbórea a 260 árvores ha ⁻¹ (38% de cobertura do solo). O material lenhoso, após aproveitamento da madeira útil na propriedade foi enleirado perpendicularmente em cordões de 0,4 m de largura. Nesta área não houve nenhum preparo do solo e uso de adubação orgânica ou química.
Agrossilvipastoril (AGP) (1,6 ha)	Aléias de <i>Leucoena sp</i> cultivadas a cada 3,0 m, juntamente com milho (<i>Zea mays</i> L.) entrefileiras no período chuvoso. No período seco ocorre a e pastoreio dos restos culturais por 20 ovelhas (<i>Ovis aries</i>) por 1 h dia ⁻¹ .	Borragonaceae, Caesalpinaceae e outras de abundância limitada	Nesta área foi feito o desmatamento para se obter um total de 200 árvores ha ⁻¹ (22% de cobertura do solo), tendo sido o material lenhoso restante enleirado perpendicularmente ao declive predominante na área. Nos primeiros 3 anos, o preparo do solo foi feito com enxada e, posteriormente, o uso de cultivador com tração animal, tanto para plantio quanto controle de plantas espontâneas. O esterco produzido no aprisco é utilizado para adubação da área.

Continua

Continuação. Tabela 10 – Descrição do uso e manejo das áreas experimentais instaladas em Luvissole Crômico Órtico típico em Sobral-CE, Brasil.

Áreas experimentais	Sistema de manejo	Famílias de árvores dominantes	Histórico e uso do solo
Tradicional (TR) (1,6 ha)	Área em pousio, tendo sido cultivado com milho (<i>Zea mays</i> L.) com 0,3-0,5 m de espaçamento, nos anos de 2002 e 2003, no período chuvoso, seguido de pousio, tendo sido utilizada para pastoreio dos resíduos culturais no período seco.	<i>Hyptissuaveolens</i> <i>Poit</i> , <i>Senna</i> sp e <i>Stylosanthes humilis</i> H. B. K. ocorrem nos primeiros anos de pousio e, posteriormente, <i>Croton sonderianus</i> Muell, <i>Caesalpinia brocoteosa</i> Tul, <i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir, <i>Auxemma oncocalyx</i> Taub. and <i>Combretum leprosum</i> Mart.	Vegetação de caatinga totalmente eliminada, restos culturais queimados, preparada manualmente com com enxada, não tendo sido utilizada adubação orgânica ou mineral.

Adaptada de Silva et al. (2011)

3.2.2 - Amostragem e análise de gases

A amostragem dos fluxos de CO₂ e NO foi realizada em duas épocas: chuvosa (Maio de 2011) e seca (Outubro de 2011), considerando-se as formas de relevo plano, convexo e côncavo, conforme Nogueira (2009). Em cada sistema de manejo, coletas foram feitas três repetições por relevo, utilizando para cada repetição três câmaras estáticas instaladas, ou seja, triplicatas.

As câmaras estáticas são constituídas de uma base de aço galvanizado de dimensões de 13,5 cm de altura e 27 cm de diâmetro com 7,5 cm de altura e 30 cm de diâmetro e uma tampa de PVC. As câmaras tiveram a base fixada ao solo no momento da leitura e as amostras de CO₂ e NO coletadas logo após o fechamento das bases (tempo zero) e depois de 30 e 60 minutos. A vedação da câmara para evitar fluxo de ar externo para seu interior foi feita com anel contendo água.

As medidas de CO₂ e NO foram feitas durante o dia em intervalos regulares de duas horas (7, 9, 11 e 13 horas), utilizando analisador portátil Unigás Eurotron 3000, o qual detecta gases da combustão (O₂, CO₂, NO/NO_x e SO₂) por meio de sensores eletroquímicos, medindo também a temperatura e a pressão interna no momento da coleta. A amostra de gás foi aspirada através de sonda por uma bomba interna ao instrumento alimentada com uma tensão constante. Para a obtenção dos resultados no campo foi feita adaptação nas tampas de PVC, sendo acoplada mangueira de silicone de 16 cm de comprimento e 6 mm de diâmetro, a

qual, serviu para acoplar a sonda que viabiliza a sucção dos gases. A determinação foi feita pela sucção dos gases acumulados na câmara, considerando-se a capacidade de sucção de 7 L min⁻¹, o volume de 0,0089 m³ (8,9 litros), sendo utilizados 90 segundos de sucção para cada leitura.

O fluxo de CO₂ e NO foi calculado em duas etapas. Inicialmente, pela conversão de partes por milhão (ppm) para miligrama por metro cúbico (mg m⁻³) da concentração do gás, utilizando a equação de Holland *et al.* (1999): $C_m = (C_v * MP)/(R*T)$, em que: C_m é a concentração massa por volume em mg m⁻³, C_v é a concentração volume por volume em ppm, M é o peso molecular do carbono, P é a pressão atmosférica, 1 atm, T é a temperatura em °K e R é a constante universal dos gases, 0,082 L atm mol⁻¹ K⁻¹. Posteriormente, foi utilizada a equação de Hutchinson e Mosier (1981): $F = V * (C_{m1} - C_{m0})/A*T$, onde: F é o fluxo do gás mg m⁻² h⁻¹, V é o volume da câmara m³, (C_{m1}-C_{m0}) é a mudança na concentração do gás em mg m⁻³, ou seja, a concentração no tempo uma hora e a concentração no tempo zero hora, A é a área da câmara em m² e T é o tempo entre a primeira e última leitura do gás, o qual foi de uma hora para este estudo.

3.2.3 - Análises complementares

A densidade do solo foi determinada pelo método do torrão impermeabilizado como descrito pela EMBRAPA (1997). Para tanto, torrões com aproximadamente 4 cm de diâmetro foram pesados e mergulhados em parafina. Após secagem da parafina, foi novamente pesado e, em seguida, colocado em béquer de volume conhecido. Para a determinação do volume total do béquer, assim como do volume do torrão parafinado, utilizou-se bureta de 100 mL e água destilada. A referência utilizada para a obtenção do volume foi à eliminação da primeira gota pelo bico do béquer e calculada segundo a equação: $\rho = ms/v$, em que: ρ é a densidade do solo g cm⁻³, ms é a massa dos sólidos (g) e v é o volume do anel (cm³).

A densidade da partícula (dp) e a umidade do solo (Ug %) foram determinadas pelo método do balão volumétrico e pelo método gravimétrico, respectivamente (EMBRAPA, 1997).

A determinação do carbono orgânico total do solo (COT) foi realizada de acordo com Yeomans e Bremner (1988), por oxidação com K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ em meio ácido (H₂SO₄), com aquecimento externo. O nitrogênio total do solo (NT) foi determinado de

acordo com Bremner (1996), por digestão a 350°C em mistura catalisadora de H₂SO₄, K₂SO₄ e CuSO₄ com posterior destilação e titulação.

A porosidade total (Pt) foi determinada utilizando valores da densidade do solo (ρ) e da densidade da partícula (dp), utilizando a equação: $Pt = 1 - \rho/dp * 100$, onde: Pt é a porosidade total em %, ρ é a densidade do solo em g cm⁻³ e dp é a densidade da partícula em g cm⁻³. O espaço poroso preenchido por água (EPPA) foi calculado a partir dos dados de densidade do solo, umidade gravimétrica e porosidade total (Carmo *et al.*, 2007), de acordo com a equação: $EPPA = (Ug * \rho)/Pt * 100$, em que: EPPA é o espaço poroso preenchido por água em %, Ug é a umidade gravimétrica em (%), ρ é a densidade do solo em g cm⁻³ e Pt é a porosidade total em %.

3.3 - Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. A estatística descritiva foi aplicada para se obter a frequência (média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, valor máximo e mínimo) nos fluxos dos gases. Os tratamentos foram constituídos de quatro áreas (parcelas) e três diferentes formas de relevo (subparcelas). Os dados de umidade do solo, fluxos de CO₂, carbono orgânico total, nitrogênio total e o espaço poroso ocupado por água foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para verificação, em cada relevo, dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre os fluxos dos gases. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) (SILVA e AZEVEDO, 2009). No coeficiente de correlação de Pearson entre a variável fluxo de CO₂ e a Ug, EPPA e a temperatura dentro e fora da câmara foi aplicado o teste t ($p < 0,01$ e $0,05 > p \geq 0,01$).

3.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 - Fluxos de C-CO₂

Os fluxos de C-CO₂, nos dois períodos amostrados, variaram de 15,87 a 72,27 mg m⁻² h⁻¹ nas áreas estudadas, sendo o menor e maior valor médio observado em VN e TR, respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11 – Estatística descritiva dos fluxos de C-CO₂, em mg m⁻² h⁻¹, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), relevos plano (PL), convexo (CV) e concavo (CN), nos períodos úmido e seco, após 13 anos de uso em Sobral (CE)

Sistemas de manejo +Relevo	Fluxos de C-CO ₂ (mg m ⁻² h ⁻¹)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
Período Úmido						
VN+PL	35,74 Aa	31,99	16,35	64,39	15,53	43,46
VN+CV	35,75 bA	48,02	16,33	48,39	15,44	43,20
VN+CN	42,78 aA	48,02	16,35	64,13	21,01	49,11
Média	38,09	42,67	16,34	58,97	17,32	42,25
SILV+PL	28,21 Ab	16,26	15,97	48,70	15,20	53,89
SILV+CV	45,51 bA	47,34	31,16	48,04	5,41	11,90
SILV+CN	42,08 aAB	46,54	16,24	63,67	13,63	32,39
Média	38,60	36,71	21,12	53,47	11,41	32,72
AGP+PL	49,18 aA	46,97	16,00	112,64	29,35	59,68
AGP+CV	28,27 bB	31,66	16,04	47,57	10,49	37,11
AGP+CN	40,12 aAB	31,70	16,03	77,79	25,61	63,84
Média	39,19	36,67	16,02	79,33	21,81	53,54
TR+PL	49,54 aB	47,61	32,32	62,98	11,85	23,92
TR+CV	72,27 aA	64,75	47,44	124,34	28,13	38,92
TR+CN	32,20 aC	32,41	16,40	47,88	7,88	24,48
Média	51,33	4825	32,05	78,04	15,95	29,10
Período Seco						
VN+PL	17,54 bA	15,63	15,87	31,16	5,11	29,13
VN+CV	21,01 bA	15,88	15,98	31,19	7,58	36,10
VN+CN	15,87 bA	15,72	15,86	15,98	0,11	0,67
Média	18,14	15,74	15,90	26,11	4,26	21,96
SILV+PL	36,30 aA	31,78	16,13	60,51	12,69	34,95
SILV+CV	34,56 aA	31,97	15,94	46,55	12,54	36,28
SILV+CN	34,89 aA	31,72	31,11	46,75	6,73	19,28
Média	35,25	31,82	21,06	51,27	10,65	30,17
AGP+PL	31,62 aA	31,83	16,06	46,87	10,81	34,18
AGP+CV	28,17 abA	31,45	15,96	46,79	10,31	36,61
AGP+CN	33,45 aA	31,96	16,11	47,02	9,20	27,51
Média	31,08	31,74	16,04	46,56	10,10	32,76
TR+PL	31,37 aA	31,63	16,08	46,80	13,11	41,80
TR+CV	29,70 abA	31,67	15,99	46,87	14,11	47,52
TR+CN	29,66 aA	31,81	16,04	46,46	13,96	47,08
Média	30,24	31,70	16,03	46,71	13,72	45,46

Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os fluxos de C-CO₂ no período seco variaram de 15,8 a 36,3 mg m⁻² h⁻¹, resultados semelhantes aos encontrados por Yao *et al.* (2010) e Lam *et al.* (2011) em ambiente semiárido na China para o período seco. Yao *et al.* (2010) avaliaram a variabilidade espacial do C-CO₂ e encontraram um valor médio de 37,4 mg m⁻² h⁻¹. Nestes estudos, a metodologia utilizada para quantificar os fluxos de C-CO₂ foi a mesma descrita por Bowden *et al.* (1990), na qual, o acúmulo dos gases é feito em câmaras estáticas instaladas no campo e coletados com seringas adaptadas com válvulas de três vias e posterior leitura no cromatógrafo a gás. Tais procedimentos são semelhantes aos adotados no presente estudo, a

exceção da medida direta no campo utilizando o analisador de gases portátil. Portanto, quando se comparam os resultados dos trabalhos citados com este estudo, pode-se inferir que o uso do analisador portátil para coleta dos gases no ambiente semiárido foi eficaz, podendo se tornar uma ferramenta útil. No período chuvoso, os fluxos de C-CO₂ variaram de 28,21 a 72,27 mg m⁻² h, concordando também com os resultados de Wu *et al.* (2010), os quais encontraram valores entre 10,6 a 81,9 mg m⁻² h em diversos usos da terra no semiárido da Mongólia, China.

Na época seca (Outubro) foram encontrados os menores fluxos de C-CO₂, provavelmente em função da significativa redução na umidade do solo (WU *et al.*, 2010), enquanto que os maiores foram observados na época chuvosa (Maio), com valores quase cinco vezes mais altos que o período seco. Em vários trabalhos foram observados maiores emissões de C-CO₂ (BARTON *et al.*, 2008; SANCHEZ-MARTIN *et al.*, 2009) em ambientes caracteristicamente com maiores teores de umidade no solo.

No semiárido, o solo se encontra seco grande parte do ano e a atividade microbiana permanece reduzida, havendo acúmulo de COT no solo. As primeiras chuvas reativam a comunidade microbiana que passa a utilizar o C e o N como fonte de energia, liberando C-CO₂ para atmosfera (SANCHEZ-MARTIN *et al.*, 2009), o que pode ser comprovado no período úmido, onde foram encontrados os maiores fluxos. Considerando a VN como referência e observando os valores médios de C-CO₂, observou-se que houve um aumento de 25,8% nas emissões de C-CO₂ do solo no TR, enquanto que SILV e AGP apresentaram aumentos de 1,33 e 2,8%, respectivamente. Já no período seco, apesar das emissões serem menores, as diferenças entre as situações avaliadas e VN aumentaram, passando para 44; 42 e 40%, em SILV, AGP e TR, respectivamente. Quando se comparam as formas de relevo individualmente, observou-se um aumento ainda maior entre os tratamentos e VN para os dois períodos amostrados. No período úmido e no relevo convexo do TR (TR+CV), as emissões aumentaram em 50,5% (P<0,05) em relação aos demais sistemas, enquanto que no relevo convexo do SILV (SILV+CV) foi para 21,44%, ambos em relação à VN, também em relevo convexo (VN+CV). No período seco, as maiores emissões de C-CO₂ foram verificadas no formato de relevo plano, em torno de 51,7; 44,5 e 44% para SILV, AGP e TR, respectivamente (P<0,05) de VN (Tabela 11). No período úmido, tal fato provavelmente ocorreu por que o relevo convexo é responsável por acelerar o escoamento superficial Zygmunt (2009), ocasionando a perda de grande parte do horizonte A, mais arenoso e rico em material orgânico e nutrientes, deixando exposto o horizonte Bt, rico em argila e mais endurecido, agravando cada vez mais o problema, principalmente em locais

onde há revolvimento do solo, como ocorre em TR, influenciando nos processos de mineralização e estabilização da MOS. A menor proteção da MOS pela desagregação devido ao menor aporte de resíduos orgânicos e o revolvimento no preparo do solo no TR, favorecem a ação dos microrganismos pelo processo de oxidação e liberação do C-CO₂ para atmosfera (COSTA *et al.*, 2008).

Por outro lado, neste mesmo período (úmido), os sistemas de manejo mais conservacionista do solo (AGP e SILV) apresentaram fluxos de C-CO₂ semelhantes à VN. Provavelmente, além do menor revolvimento, a presença das árvores nos dois sistemas, tenha contribuindo para aumentar a ciclagem de nutrientes e incorporação do carbono no solo pela queda das folhas e formação da matéria orgânica estável (COSTA *et al.*, 2008), estando de acordo com a hipótese de que os sistemas agroflorestais reduzem as emissões de gases do efeito estufa para a atmosfera.

No período seco, os maiores fluxos de C-CO₂ nos sistemas manejados (AGP, SILV e TR) em comparação a VN podem estar relacionados à queda das folhas devido à baixa umidade no solo, que pode favorecer a incidência dos raios solares diretamente sobre o material vegetal depositado no solo. Apesar deste fato também ocorrer em VN, o equilíbrio na entrada e saída de C desta área pode fazer com que este processo ocorra em menor intensidade (SALCEDO e SAMPAIO, 2008). Por outro lado, De Dato *et al.* (2009) encontraram resultados semelhantes em estudo realizado na região semiárida da Itália e concluíram que a diminuição do acúmulo de biomassa em resposta à seca reduz a capacidade do ecossistema em absorver CO₂, podendo ser esta, uma outra razão para explicar os maiores valores de fluxos encontrados nos sistemas de manejo.

Os dados de temperatura do ambiente e de dentro da câmara apresentados nas figuras 11 e 12 podem ajudar a comprovar a hipótese de que no período seco, VN emite menos C-CO₂ que os sistemas de manejo (AGP, SILV e TR). Pode-se observar, por exemplo, na figura 12 que VN apresenta as maiores temperaturas ambiente (38 °C) no período seco, onde também foram observados os menores fluxos de C-CO₂. Por outro lado, SILV, AGP e TR, apesar de apresentarem as menores temperaturas, principalmente no AGP, foram observados os maiores fluxos de C-CO₂. Na temperatura ambiente de 34⁰C, foi encontrado fluxo de aproximadamente 35 mg de C-CO₂ m⁻² h⁻¹.

Somado ao efeito da temperatura, outro fator que pode explicar os maiores fluxos de C-CO₂ nestes locais são os teores de COT. Analisando a Tabela 12 e a Figura 12, verificou-se que onde ocorrem os maiores fluxos foram também encontrados os maiores teores de COT, como podem ser observados em SILV e TR, nos relevos plano (SILV+PL e

TR+PL), e no relevo côncavo do AGP (AGP+CN). Portanto, pode-se inferir que maiores quantidades de COT aliado aos fatores ambientais, como a temperatura, podem influenciar na dinâmica do carbono podendo levar a emissão do C-CO₂ para a atmosfera, a não ser que a MOS estivesse estabilizada (WU *et al.*, 2010). No período seco, a temperatura ambiente e dentro da câmara foram as variáveis que mais se correlacionaram com os fluxos de C-CO₂ com destaque para o AGP, relevo convexo ($r>0,99$ e $P<0,01$) e TR, relevos plano ($r>0,99$ e $P<0,01$) e côncavo ($r>0,99$ e $P<0,01$) (Tabela 13). Estudos mostram correlação significativamente positiva entre estas variáveis (DE DATO *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2010). Locais com maiores teores de C e temperaturas elevadas podem estimular a ação dos microrganismos decompositores elevando a respiração do solo e a liberação de C-CO₂ para a atmosfera (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Figura 11 – Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em °C, e fluxos de C-CO₂, em mg mg⁻² h⁻¹, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN) no momento da coleta dos gases, no período úmido e após 13 anos de uso em Sobral (CE).

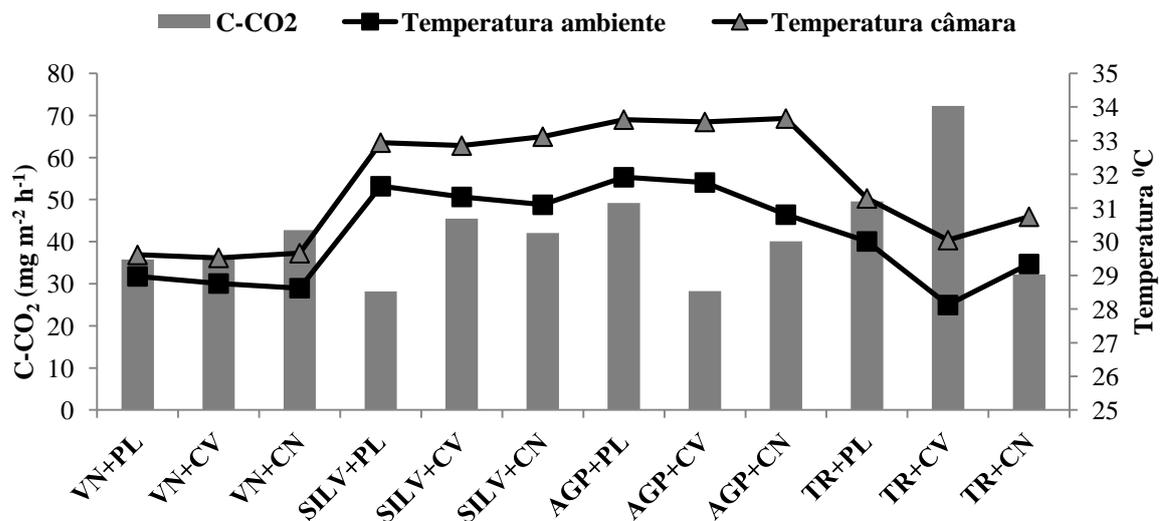


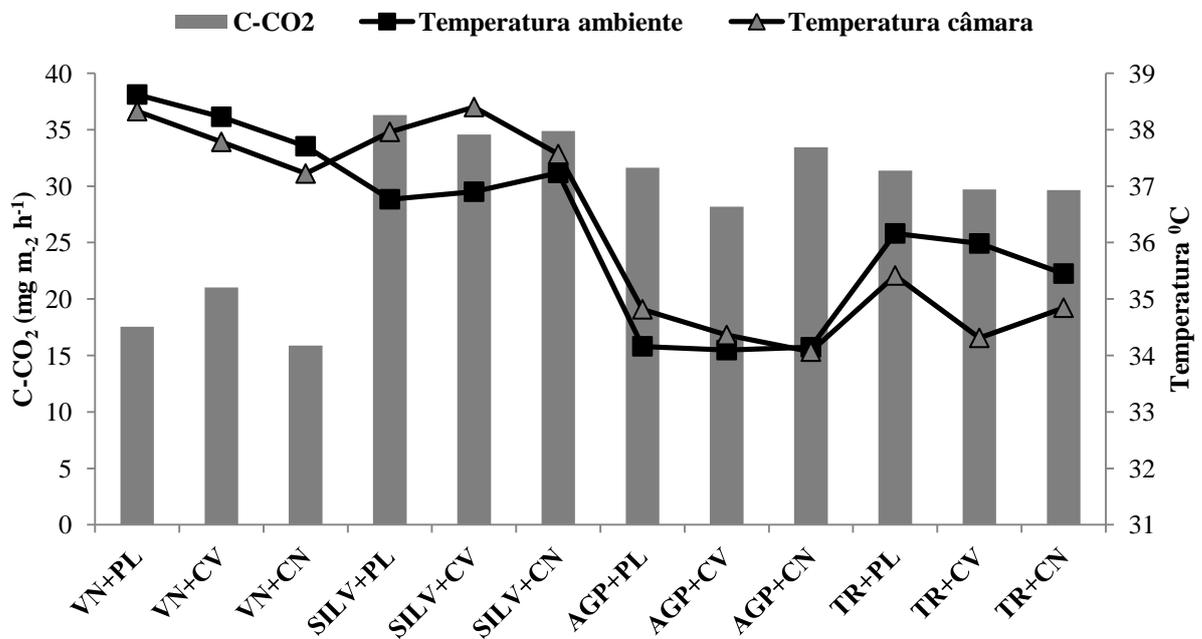
Tabela 12 – Teores de carbono orgânico total do solo (COT), em g kg⁻¹, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), nos períodos úmido e seco, após 13 anos de uso em Sobral (CE) após treze anos de uso do solo em Sobral (CE)

Sistema de manejo	Relevo		
	Plano (PL)	Convexo (CV)	Côncavo (CN)
	g kg ⁻¹		
VN	19,46 aA	22,87 aA	20,18 aA
SILV	17,24 abA	14,05 bAB	12,90 bB
AGP	10,81 cB	10,24 bB	15,71 abA
TR	11,19 bcA	8,11 bA	11,06 bA

Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre áreas, não diferindo pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

Outro condicionante dos fluxos de CO_2 para a atmosfera é a umidade do solo que variou de 1,86 a 18,8% nos dois períodos de avaliação em todas as áreas avaliadas ($P < 0,05$) (Figuras 13b e 14b). No período úmido, a VN apresentou o maior teor médio de umidade em comparação a SILV, AGP e TR, enquanto o menor foi observado no TR. No período seco o comportamento entre as áreas foi semelhante, o que, talvez tenha ocorrido devido à maior presença de resíduos vegetais na superfície do solo na VN, SILV e AGP, servindo como impedimento físico ao ressecamento do solo, principalmente no período de estiagem (Outubro).

Figura 12 – Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em ($^{\circ}\text{C}$), e fluxos de C-CO_2 , em $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período seco e após 13 anos de uso em Sobral (CE).



No geral, a umidade se correlacionou com os fluxos de C-CO_2 . Porém, nos dois períodos avaliados, a única área que apresentou correlação positiva entre as duas variáveis foi no TR relevo convexo ($r > 0,9$ e $P < 0,01$) (Tabela 13). A umidade leva ao aumento do fluxo de C-CO_2 por ativar a respiração heterotrófica devido à recuperação da atividade microbiana (COSTA *et al.*, 2008). O revolvimento do solo, apesar de não ter sido intenso nestes ambientes, pode estar influenciando para que o aumento da umidade proporcione maiores valores de C-CO_2 para atmosfera. O preparo do solo afeta a estrutura, fracionando agregados, aumentando a macroporosidade e a difusividade de oxigênio. Estes processos levam a uma menor cobertura ao solo, maior temperatura, maior contato do resíduo com o solo promovendo a liberação de C orgânico, aumentando a atividade microbiana e elevando as

emissões de C-CO₂ para atmosfera (COSTA *et al.*, 2008), principalmente em regiões semiáridas onde esses processos já ocorrem naturalmente devido as características da região com baixa precipitação, altas temperaturas e pouca produção de fitomassa (ARAÚJO FILHO, 2002).

O espaço poroso preenchido com água (EPPA) variou de 7,7 a 89,2% nos dois períodos avaliados em todas as áreas ($P < 0,05$) (Figuras 13a e 14a). No período úmido os valores estiveram sempre acima de 50%, sendo o maior valor 89% encontrado em SILV, relevo convexo (SILV+CV). Já no período seco, o EPPA esteve sempre abaixo de 30%, sendo o maior valor (29%) observado na VN. Contudo, está variável só apresentou correlação positiva e significativa com o C-CO₂ para as áreas SILV, relevo plano (SILV+PL) ($r > 0,9$ e $P < 0,01$) e TR, relevos convexo ($r > 0,9$ e $P < 0,05$) e côncavo ($r > 0,99$ e $P < 0,01$) (Tabela 13). Avaliando o efeito da umidade e da temperatura nos fluxos de C-CO₂ e CH₄, Wu *et al.* (2010) verificaram que aproximadamente 60% dos valores de fluxos de C-CO₂ eram explicados pela temperatura e o EPPA do solo. Quando comparado ao estudo citado, este efeito não foi tão pronunciado e só em algumas áreas avaliadas apresentaram correlação significativa entre as variáveis.

Figura 13. Espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, umidade gravimétrica do solo, em %, na camada de 0-10 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período úmido e após 13 anos de uso em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

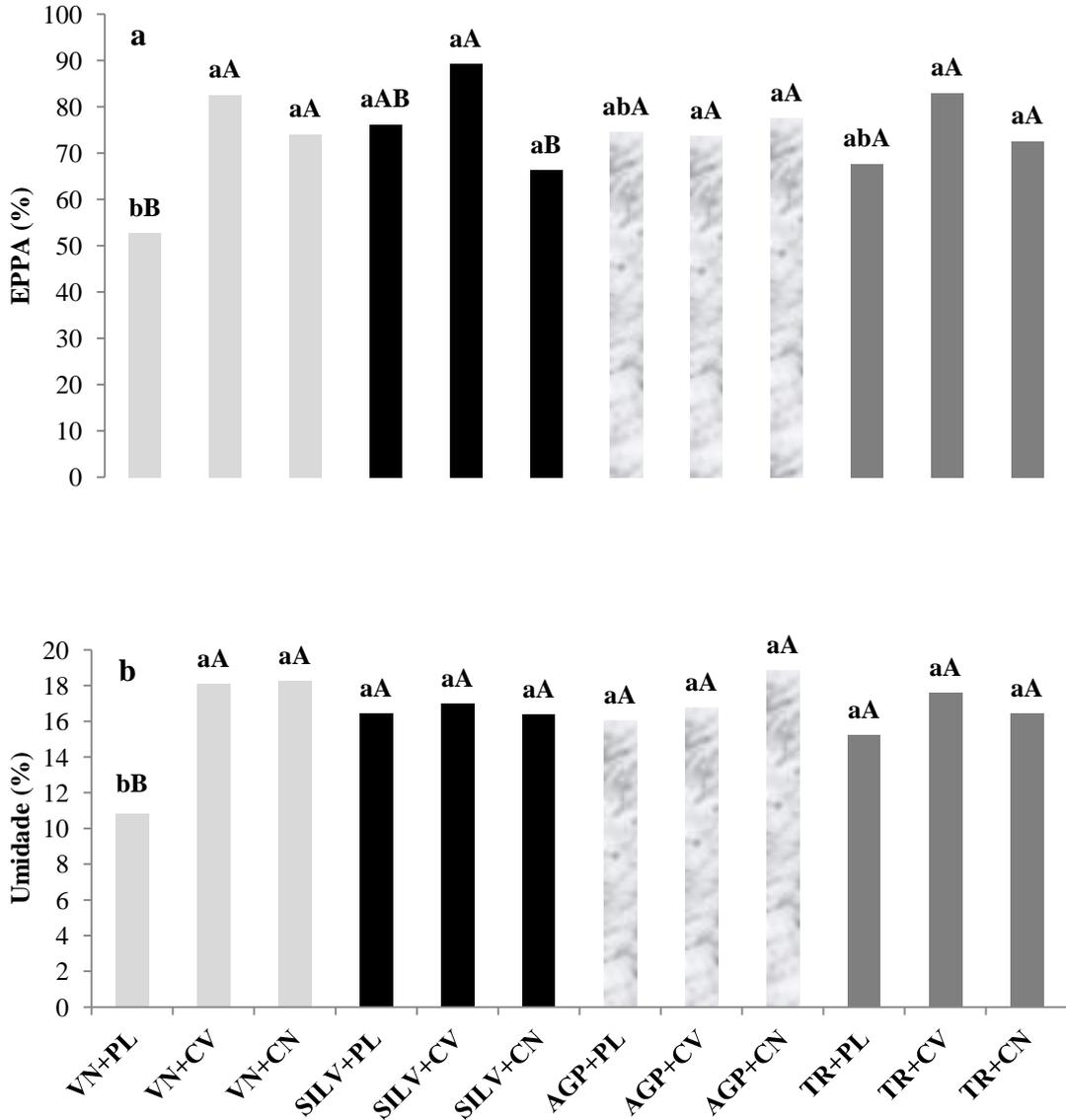


Figura 14 – Espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, e umidade gravimétrica do solo, em %, na camada de 0-10 cm de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período seco e após 13 anos de uso em Sobral (CE). Médias seguidas por letras maiúsculas semelhantes comparam diferenças entre os relevos em cada área, enquanto que as minúsculas comparam diferenças entre as áreas em cada relevo, não diferindo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

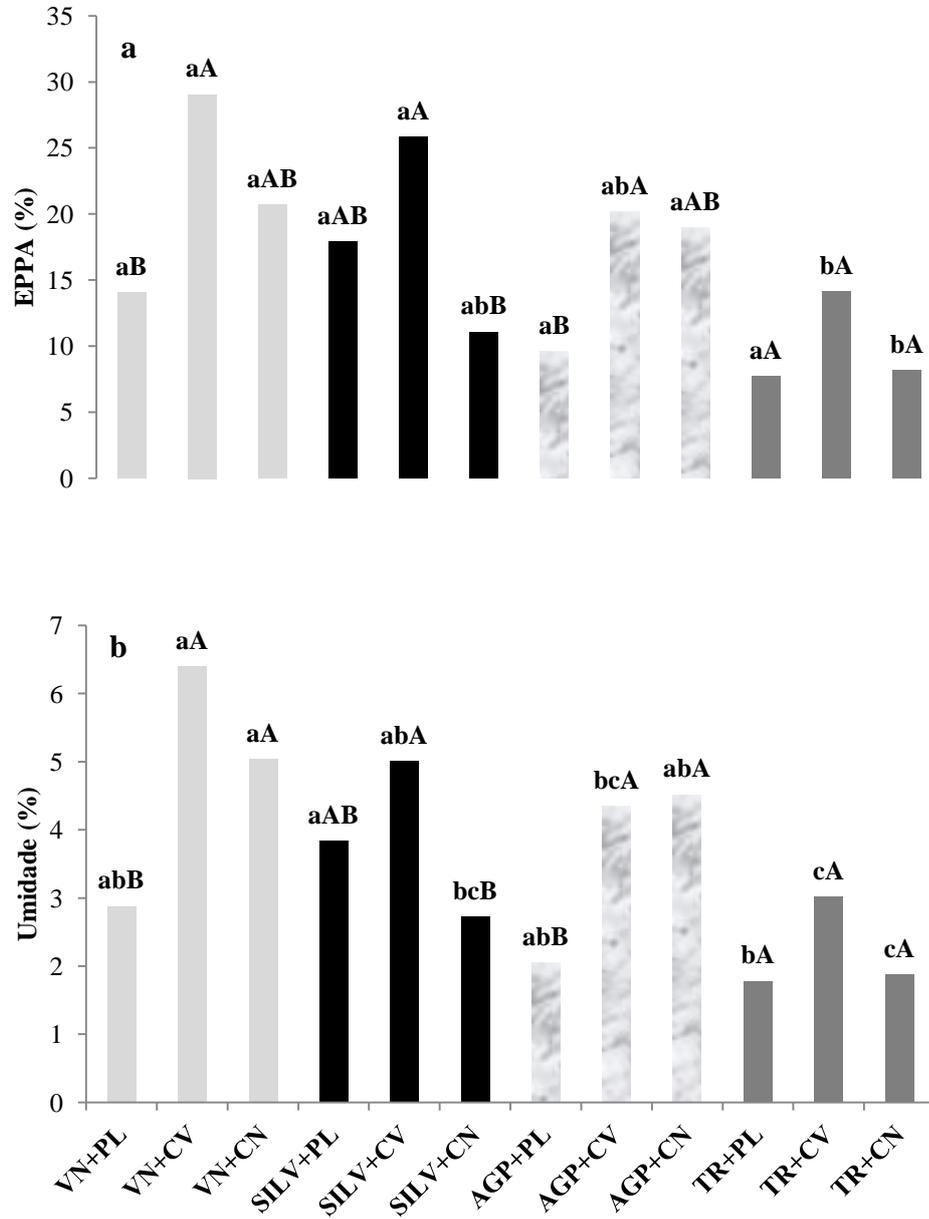


Tabela 13 - Coeficientes de correlação de Pearson entre o fluxo de C-CO₂, em mg m⁻² h⁻¹, umidade gravimétrica (UG), em % e o espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), períodos úmido e seco, no momento da coleta dos gases, após 13 anos de uso em Sobral (CE)

Sistemas de manejo+Relevo	Fluxos de C-CO ₂ (mg m ⁻² h ⁻¹)			
	UG (%)	EPPA (%)	Temperatura ambiente	Temperatura câmara
Período úmido				
VN+PL	0,15 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,39 ^{ns}
VN+CV	-0,95 ^{ns}	-0,92 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,89 ^{ns}
VN+CN	0,57 ^{ns}	-0,98 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,96 ^{ns}
SILV+PL	0,40 ^{ns}	0,99**	0,21 ^{ns}	0,35 ^{ns}
SILV+CV	0,42 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	-0,77 ^{ns}
SILV+CN	-0,21 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,18 ^{ns}
AGP+PL	0,27 ^{ns}	0,68 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,11 ^{ns}
AGP+CV	-0,58 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	0,76 ^{ns}	-0,007 ^{ns}
AGP+CN	0,77 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,52 ^{ns}	0,57 ^{ns}
TR+PL	-0,96*	0,96*	0,96*	0,96*
TR+CV	0,99**	0,99*	-0,80 ^{ns}	-0,80 ^{ns}
TR+CN	-0,99**	0,99**	0,84 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Período seco				
VN+PL	-0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,86 ^{ns}
VN+CV	-0,95 ^{ns}	-0,99**	0,96 ^{ns}	0,97 ^{ns}
VN+CN	0,61 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-0,83 ^{ns}	-0,99**
SILV+PL	-0,82 ^{ns}	-0,96 ^{ns}	0,64	0,80
SILV+CV	-0,62 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,99**
SILV+CN	0,39 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,71 ^{ns}
AGP+PL	-0,98 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,95 ^{ns}
AGP+CV	0,12 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,99**
AGP+CN	0,95 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,99**	0,84 ^{ns}
TR+PL	-0,96 ^{ns}	-0,92 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,99**
TR+CV	-0,34 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,95 ^{ns}
TR+CN	0,87 ^{ns}	-0,41 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,99**

ns: não significativa, **: significativa a 1% e * significativa a 5%

3.4.2 - Fluxos de NO

O NO é um gás que participa de forma indireta do efeito estufa por estar envolvido na formação do ozônio, que é um gás de efeito estufa muito poderoso (BOUWMAN et al., 2010). Os fluxos de NO nos dois períodos amostrados variaram de 6,64 a 100,24 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ nas áreas estudadas, sendo o menor valor observado no SILV, enquanto o maior foi encontrado na VN (Tabela 14). No momento da leitura, em algumas áreas não foi detectada a presença de NO, e por isso, foi utilizada a análise estatística descritiva dos dados.

No período úmido, os fluxos variaram de 21,97 a 100,24 $\mu\text{g de NO m}^{-2} \text{h}^{-1}$, enquanto que no seco variaram de 6,64 a 26,13 $\mu\text{g de NO m}^{-2} \text{h}^{-1}$, sendo que em ambos os períodos no TR não foram detectados fluxos. As principais fontes de entrada de N no solo são: fixação biológica, acúmulo e mineralização de compostos orgânicos a formas inorgânicas, deposição atmosférica e o uso de adubos minerais nitrogenados (CANTARELLA, 2007). O sistema de cultivo tradicional estudado é desprovido de todas estas formas de entrada de N no solo e, talvez por isso, não foram detectados fluxos de NO nesta área. Em termos gerais, a nitrificação não ocorre em solos pobres em N, como em TR, e a desnitrificação ocorre em condições de elevada disponibilidade de substrato orgânico (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006), o que também não acontece no TR (Tabela 12).

Na época seca (Outubro) foram encontrados os menores valores, provavelmente em função da redução na umidade do solo (BOUWMAN, 1998), enquanto que na época úmida (Maio), os valores foram 15 vezes mais altos que o período seco. Vários trabalhos encontraram maiores fluxos de NO (BOUWMAN, 1998; SANCHEZ-MARTIN *et al.*, 2009) em ambientes com maiores valores de umidades no solo.

Os maiores fluxos foram encontrados em VN comparativamente aos sistemas de manejo estudados, em torno de 65, 62%, respectivamente para SILV e AGP. Para Bouwman (1998), o NO, após ser emitido do solo para a atmosfera, muitas vezes é rapidamente oxidado a dióxido de nitrogênio (NO_2), que é facilmente absorvido nas superfícies das folhas das árvores, reduzindo a quantidade de NO e NO_2 do sistema solo-planta-atmosfera. No entanto, este processo de reabsorção é mais importante na copa das árvores de florestas densas do que em culturas agrícolas e pastagens. Portanto, é provável que as maiores emissões deste gás, observada em VN, não estejam contribuindo de forma significativa para as mudanças climáticas globais.

Quando se comparam individualmente os relevos, observa-se um aumento de 69,4% dos fluxos de NO da VN para SILV, todos em relevo côncavo (SILV+CN e VN+CN). Este fato pode ser explicado pelo maior aporte de material orgânico favorecido pelo escoamento superficial contribuindo para o processo de nitrificação pela melhor drenagem do solo (BOUWMAN *et al.*, 2010). Apesar das maiores precipitações nos meses de fevereiro, março e abril, em torno de 159, 174 e 181 mm, respectivamente, que antecederam a coleta e também no mês da coleta (130 mm em Maio) (Figura 10), não foi constatada a presença de locais com acúmulo de água (saturação), evidenciando a boa drenagem. Bouwman *et al.* (2010) afirmam serem as maiores emissões de NO encontradas particularmente em áreas bem drenadas e de solos com elevado teor de C orgânico. Zhou *et al.* (2010), estudando o efeito do conteúdo de água nos fluxos de NO, observaram que com o aumento da drenagem do solo houve um aumento significativo nas emissões de NO e este período de drenagem representou um aumento de 85,3% nas emissões deste gás para atmosfera.

Tabela 14 – Estatística descritiva dos fluxos de NO, em $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos períodos úmido e seco, após 13 anos de uso em Sobral (CE)

Sistema de manejo+relevo	Fluxos de NO ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
Período Úmido						
VN+PL	80,16	79,95	79,66	8,77	0,45	0,56
VN+CV	95,78	99,84	80,64	100,83	8,59	8,97
VN+CN	100,24	99,97	99,74	100,93	0,52	0,51
Média	92,06	93,25	86,68	94,18	3,19	3,35
SILV+PL	32,96	39,07	19,71	40,13	9,92	30,10
SILV+CV	32,80	38,69	19,68	40,15	9,86	30,06
SILV+CN	30,66	38,79	19,68	40,12	10,34	33,73
Média	32,14	38,85	19,69	40,13	10,04	31,29
AGP+PL	21,97	19,85	19,63	39,53	6,59	29,97
AGP+CV	39,54	19,81	19,72	98,86	34,24	86,59
AGP+CN	41,55	19,84	19,70	117,75	43,16	103,89
Média	34,35	19,83	19,68	85,38	27,99	73,48
TR+PL	-	-	-	-	-	-
TR+CV	-	-	-	-	-	-
TR+CN	-	-	-	-	-	-
Média	-	-	-	-	-	-
Período Seco						
VN+PL	8,73	0,00	0,00	78,58	26,19	300,00
VN+CV	15,11	0,00	0,00	77,13	30,33	207,16
VN+CN	-	-	-	-	-	-
Média	11,92	0,00	0,00	77,85	28,26	253,58
SILV+PL	6,64	0,00	0,00	59,73	19,91	300,00
SILV+CV	-	-	-	-	-	-
SILV+CN	-	-	-	-	-	-
Média	6,64	0,00	0,00	59,73	19,91	300,00
AGP+PL	26,13	0,00	0,00	77,67	32,42	124,06
AGP+CV	15,20	0,00	0,00	78,43	30,57	201,16
AGP+CN	17,43	0,00	0,00	78,17	28,44	163,22
Média	19,58	0,00	0,00	78,09	30,47	162,81
TR+PL	-	-	-	-	-	-
TR+CV	-	-	-	-	-	-
TR+CN	-	-	-	-	-	-
Média	-	-	-	-	-	-

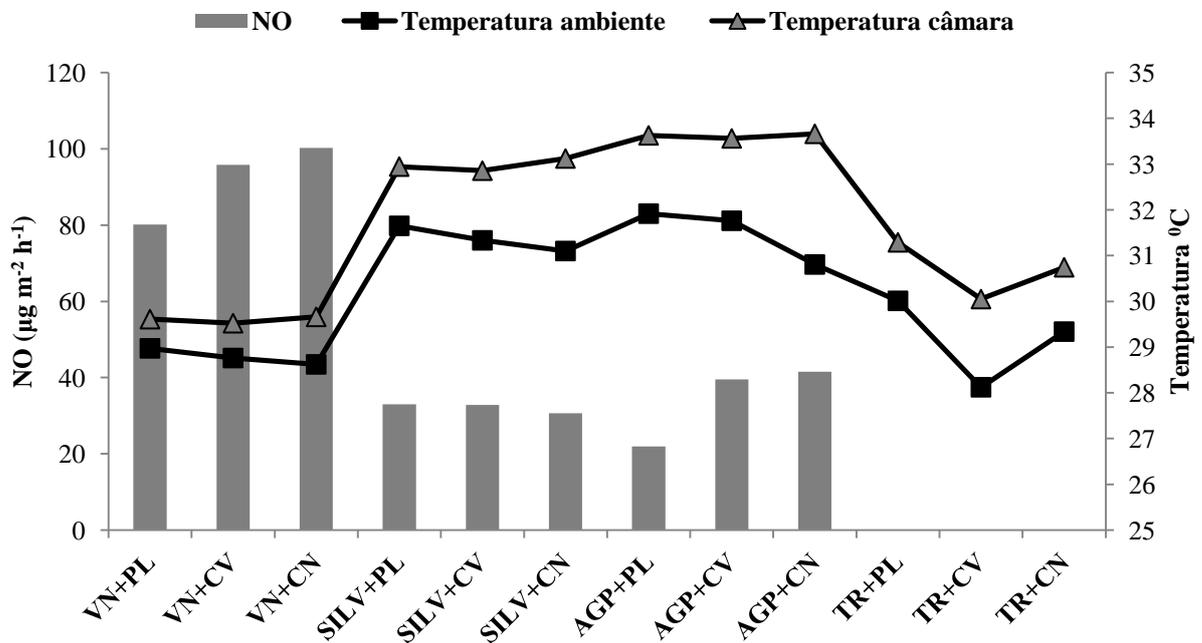
- não detectado pelo aparelho

No período seco, o AGP, relevo plano (AGP+PL), apresentou os maiores fluxos de NO, em torno de 66,6% a mais em relação à VN. Um dos fatores que podem explicar estes elevados fluxos é a temperatura ambiente, a qual apresentou correlação negativa com o NO ($P < 0,01$). Para VN relevos plano, convexo e côncavo (VN+PL, VN+CV e VN+CN), os coeficientes de correlação foram altos e significativos ($P < 0,01$) (Tabela 16). Na Figura 15, os maiores fluxos de NO no período úmido foram na VN e nos relevos plano, convexo e côncavo, 80,16; 95,78 e 100,24 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, respectivamente, podendo ser associados aos menores valores de temperatura do ambiente, aproximadamente 28 °C para todas as formas de relevo. No período seco, da mesma forma que o úmido, os maiores fluxos (15,20; 17,43 e 26,13 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) estiveram associados às menores temperaturas ambiente, aproximadamente

34⁰C (Figura 16). Porém, o sistema que apresentou os maiores valores foi o AGP, relevos plano, convexo e côncavo (AGP+PL, AGP+CV e AGP+CN).

Os fluxos de NO nos dois períodos também podem estar relacionados com os teores de NT apresentados na tabela 6. Observam-se que no período úmido foram encontrados os maiores valores de NT (1,06 e 0,96 g kg⁻¹) no caso, VN e AGP, ambos em relevo côncavo, e que também foram encontrados os maiores fluxos de NO (100,24 e 41,55 µg m⁻² h⁻¹).

Figura 15 – Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em °C, e fluxos de NO, em µg m⁻² h⁻¹, em um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período úmido e após 13 anos de uso em Sobral (CE).



A temperatura, a umidade do solo e o EPPA são três importantes parâmetros para prever as emissões de NO (ROELLE *et al.*, 2002). No entanto, neste estudo, o EPPA só apresentou correlação negativa com os fluxos de NO em VN, relevo convexo ($r > 0,98$ e $P < 0,01$) (Tabela 16). Estudos apontam correlação negativa entre estas duas variáveis (ZHOU *et al.*, 2010; MC TAGGART *et al.*, 2002), estando associado ao aumento do EPPA, o que não favorece a nitrificação, o principal processo responsável pela liberação de NO do solo. A desnitrificação também pode liberar NO, porém, em menores quantidades (BOUWMAN, 1998). A liberação de formas gasosas nitrogenadas poluentes no processo de desnitrificação ocorre na seguinte ordem: $N_2 > N_2O > NO$ (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Estudos (DAVIDSON e SWANK, 1986; BOUWMAN, 1998) comprovam que as maiores emissões de NO se concentram com EPPA do solo na faixa de 30 a 65%. No presente estudo, os maiores

valores de fluxos de NO foram observados com EPPA médio de aproximadamente 69% para VN relevos plano, convexo e côncavo (VN+PL, VN+CV e VN+CN) (Figuras 13a e 15), concordando com os estudos citados.

Figura 16 – Temperatura média ambiente e dentro da câmara, em °C, e fluxos de NO, em $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, em um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, período seco e após 13 anos de uso em Sobral (CE).

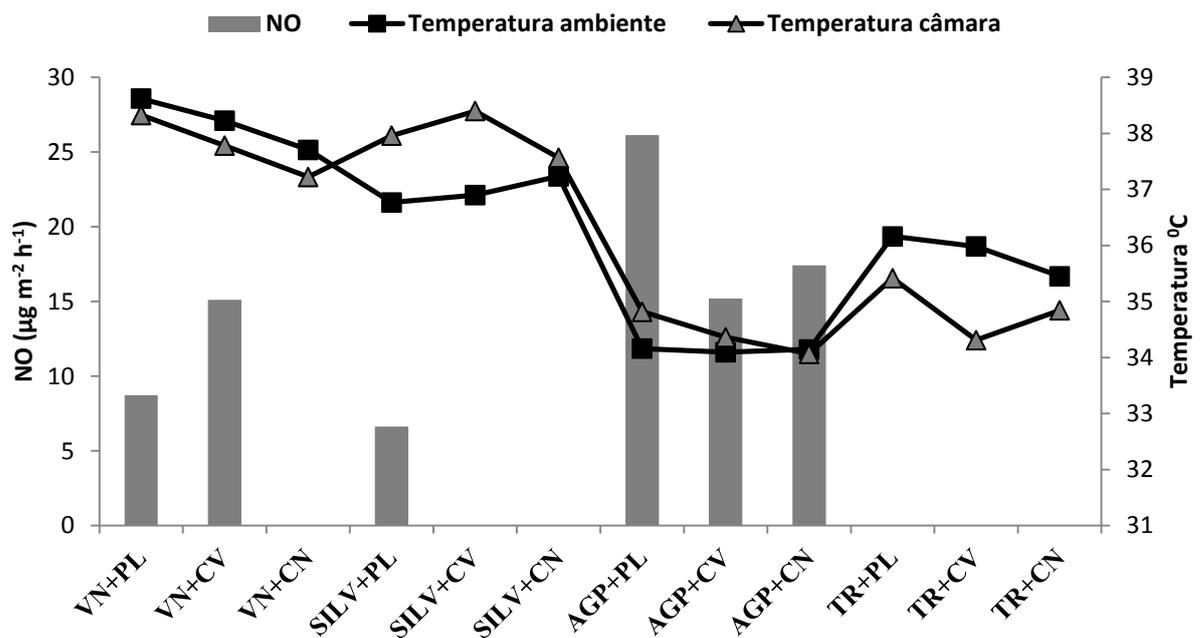


Tabela 15 – Teores de nitrogênio total (NT), em g kg^{-1} , de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos períodos úmido e seco, nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), após treze anos de uso do solo em Sobral (CE)

Sistema de manejo	Relevo		
	Plano (PL)	Convexo (CV)	Côncavo (CN)
VN	0,88 aAB	0,82 aB	1,06 aA
SILV	0,87 aA	0,73 abA	0,87 aA
AGP	0,57 bB	0,80 aAB	0,96 aA
TR	0,53 bA	0,53 bA	0,55 bA

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas (relevos) e minúsculas nas colunas (áreas) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 16 - Coeficientes de correlação de Pearson entre o fluxo de NO, em $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, umidade gravimétrica (UG), em %, e o espaço poroso preenchido com água (EPPA), em %, de um Luvissole Crômico Órtico típico sob vegetação natural (VN), sistema silvipastoril (SILV), sistema agrossilvipastoril (AGP) e cultivo tradicional (TR), nos relevos plano (PL), convexo (CV) e côncavo (CN), no momento da coleta dos gases, após 13 anos de uso em Sobral (CE).

Sistema de manejo+Relevo	Fluxos de N-NO ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)			
	UG (%)	EPPA (%)	Temperatura ambiente	Temperatura câmara
Período úmido				
VN+PL	0,73 ^{ns}	0,79 ^{ns}	-0,99**	-0,99**
VN+CV	-0,96**	-0,98**	-0,98**	-0,94
VN+CN	0,92**	-0,74 ^{ns}	-0,99**	-0,99**
SILV+PL	0,80 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	-0,29 ^{ns}
SILV+CV	-0,99**	0,68 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,29 ^{ns}
SILV+CN	0,44 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
AGP+PL	0,10 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,68 ^{ns}	-0,51 ^{ns}
AGP+CV	-0,99**	0,17 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,72 ^{ns}
AGP+CN	-0,28 ^{ns}	0,71 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	0,49 ^{ns}
TR+PL	-	-	-	-
TR+CV	-	-	-	-
TR+CN	-	-	-	-
Período seco				
VN+PL	-0,90 ^{ns}	-0,87 ^{ns}	-0,85 ^{ns}	-0,86 ^{ns}
VN+CV	-0,68 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,49 ^{ns}
VN+CN	-	-	-	-
SILV+PL	-	-	-	-
SILV+CV	-	-	-	-
SILV+CN	-	-	-	-
AGP+PL	-0,25 ^{ns}	-0,74 ^{ns}	0,99**	0,97 ^{ns}
AGP+CV	-0,88 ^{ns}	-0,73 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,53 ^{ns}
AGP+CN	0,91 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,87 ^{ns}
TR+PL	-	-	-	-
TR+CV	-	-	-	-
TR+CN	-	-	-	-

ns: não significativa, **: significativa a 1% e * significativa a 5%

3.5 – CONCLUSÕES

Os fluxos de C-CO₂ variaram com a época, sendo AGP e SILV semelhantes à VN no período úmido, enquanto no período seco são maiores. O TR apresenta comportamento diferenciado, sendo maior no período úmido e semelhante ao AGP e SILV no seco.

Os fluxos de NO apresentam comportamento diferente do C-CO₂: AGP e SILV apresentam-se semelhante entre si no período úmido, porém menores que VN. No período seco SILV e VN são maiores que AGP. No TR o NO não foi detectado nos dois períodos.

O formato de relevo convexo sistema TR apresentou os maiores valores de fluxos de C-CO₂, no período úmido. No período seco foram encontrados maiores valores de fluxos de C-CO₂ em AGP, SILV e TR, em relação à VN relevo plano.

A umidade do solo foi a variável que mais se correlacionou com os fluxos de NO, o que pôde ser observado nos sistemas SILV e AGP e na VN relevos convexos.

3.6 – REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 37, p. 270-278, 2006.
- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, T. S. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforest Systems**, New York, v. 79, p. 277-289, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: Agroecologia versus desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, p. 44 – 45, 2002.
- BOUWMAN, A. F. Nitrogen oxides and tropical agriculture. **Nature**, London, v. 392, p. 866-867, 1998.
- BOUWMAN, A. F.; VAN GRINSVEN, J. J. M.; EICKHOUT, B. Consequences of the cultivation of energy crops for the global nitrogen cycle. **Ecological Applications**, Washington, v. 20, n. esp. 1, p. 101-109. 2010.
- BOWDEN, R. D.; STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soils in the Northeastern United States. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 95, p. 13.997- 14.005, 1990.
- BREMAN, H.; KESSLER, J. J. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi – arid regions. **European Journal Agronomy**, Amsterdam, v. 7, p. 25-33, 1997.
- BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L., ed. Methods of soil analysis. Part 3. Madison, America Society of Agronomy, 1996. p.1085-1121 (SSSA Book Series, 5).
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 7, p. 375 – 470.
- CARMO, J. B.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N₂O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, 735-746, 2005.
- CARMO, J. B.; PICCOLO, M. C.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; SOUZA NETO, E.; CERRI, C. C. Short-term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, N₂O) and microbial biomass after tillage during pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, 250-259, 2007.
- CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, 83-99, 2007.
- CHIARADIA, J. J.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; CARMO, J. B.; OLIVEIRA, C. LAVORENTI, A. CO₂, CH₄ And N₂O fluxes an Ultisol treated with sewage sludge and

cultivated with castor bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, 1863-1870, 2009.

COMUNICAÇÃO NACIONAL. 2004. Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 2004. 276p.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, cap. 28, p. 545-559, 2008.

DAVIDSON, E. A.; SWANK, W. T. Environmental parameters regulating gaseous-N losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. **Applied Environmental Microbiology**, Madison, v. 52, p. 1287-1292, 1986.

DE DATO, G. D.; DE ANGELIS, P.; SIRCA, C.; BEIER, C. Impacto f drought and increasing temperatures on soil CO₂ emissions in a Mediterranean shrubland. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 327, p. 153-166, 2009.

DICK, J.; SOUTOURA, K. M.; SKIBA, U.; SMITH, R. NIANG, A.; TABO, R. The contribution of agricultural practices to nitrous oxide emission in semi-arid Mali. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 24, 292-301, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPS, 2006. 309p.

ESCOBAR, L. F.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CHAVEZ, L. F.; ZANATTA, J. A.; FIORINI, J. E. Postharvest nitrous oxide emissions from a subtropical oxisol as influenced by summer crop residue and their management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, 507-516, 2010.

GALBALLY, I.; (MICK) MEYER, C. P.; YING-PING, W.; KIRSTINE, W. Soil-atmosphere exchange of CH₄, CO, N₂O and NO_x and the effects of land-use change in the semiarid Malle system in Southeastern Australia. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, p. 1365-2486, 2010.

HOLLAND, E. A.; ROBERSTON, G. P.; GREENBERG, J.; GROFFMAN, P. M.; BOONE, R. D.; GOSZ, J. R. Soil CO₂, N₂O and CH₄ exchange. In: ROBERSTON, G. P.; COLEMAN, D. C.; SOLLINS, P. (Eds.) *Standard soil methods for long-term ecological research*, Oxford, University Press, New York, 1999. p. 185-201.

HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved cover soil method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 45, p. 311-316, 1981.

HUTCHINSON, C. A.; CAMPBELL, C. A.; DESJARDINS, R. L. Some perspective on carbon sequestration in agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 142, p. 288-302, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2006. **Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories** – Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, IGES, 2006. v.4.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change 2007. **Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Cambridge University, 2007. 939p.

IPECE–Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2005) Perfil Básico Municipal, Sobral. SEPLAN–Secretaria do Planejamento e Coordenação, Governo do Estado do Ceará Fortaleza, CE, Brasil, 10p.

KILL, L. H. P.; ALVAREZ, I. A.; RESENDE, G. M.; YANO-MELO, A. M.; ARAÚJO, F. P.; OLIVEIRA, A. R. Flora, fauna e microrganismos. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Eds) **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Embrapa Inovação Tecnológica, Brasília – DF, p. 431-453, 2008.

LA SCALA Jr., N.; BOLONHEZI, J.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n.1/2, p. 244-248, 2006.

LAM, S. K.; LIN, E.; NORTON, R.; CHEN, D. The effect of increased atmospheric carbon dioxide concentration on emissions of nitrous oxide, carbon dioxide and methane from a wheat field in a semi-arid environment in northern China. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 43, 458-461, 2011.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade de solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore, Viçosa**, v. 30, p. 837-848, 2006.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Organic carbon pools in a luvisol under agroforestry an conventional farming systems in the semiarid region of Ceará, Brazil. **Agroforest Systems**, New York, v. 71: 127-138, 2007.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, 381-392, 2008.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, 84-91, 2009.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, 177-184, 2010.

MC TAGGART, I. P.; AKIYAMA, H.; TSURUTA, H.; BALL, B. C. Influence of soil physical properties, fertilizer type and moisture tension on N₂O and NO emission from nearly saturated Japanese upland soils. **Nutrient Cycling Agroecosystem**, Dordrecht, v. 63, p. 207-217, 2002.

METAY, A.; OLIVER, R.; SCOPEL, E.; DOUZET, J. M.; MOREIRA, J. A. A.; MARAUX, F.; FEIGL, B. J.; FELLER, C. N₂O and CH₄ emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 141, 78-88, 2007.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, cap. 1, p. 1-5, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006, p. 729.

NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agrofloretais no semi-árido cearense. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, p. 327-337, 2008.

NOGUEIRA, R. S. **Distribuição especial de carbon, nutrients e solo em Luvisolo sob sistemas agrícolas tradicionais e agrofloretais no município de Sobral – CE**. 2009. 138 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ROELLE, A. P.; ANEJA, V. P. Nitric oxide emission from soils amended with municipal waste biosolids. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 36, p. 137-147, 2002.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, V. S. B. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, cap. 22, p. 419-441, 2008.

SANCHEZ-MARTIN, L.; DICK, J.; BOCARY, K.; VALLEJO, A.; SKIBA, U. M. Residual effect of organic carbon as a tool for mitigating nitrogen oxides emissions in semi-arid climate. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 326, p. 137-145, 2010.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: World congress on computers in agriculture, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop

management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, p. 61-70, 2011.

SILVA, P. C. G.; GUIMARÃES FILHO, C. Eixo tecnológico da ecorregião Nordeste. In: SOUSA, I.S.F. (Editor) **Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília – DF p. 109-162, 2006.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistemas de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido à intensidade de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1829-1836, 2009.

WU, X.; YAO, Z.; BRUGGEMANN, N.; SHEN, Z. Y.; WOLF, B.; DANNENMANN, M.; ZHENG, X.; BUTTERBACH-BAHL, K. Effects of soil moisture and temperature on CO₂ and CH₄ soil atmosphere exchange of various land use/cover types in a semi-arid grassland in Inner Mongolia, China. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 773-787, 2010.

YAO, Z.; WOLF, B.; CHEN, W.; BUTTERBACH-BAHL, K.; BRUGGEMANN, N.; WIESMEIER, M.; DANNENMANN, M.; BLANK, B.; ZHENG, X. Spatial the xilin river catchment of inner Mongolia, China: A soil core study. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 331, p. 341-359, 2010.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, Nova York, 19, 1467-1476, 1988.

ZHOU, Z.; ZHENG.; XIE, B.; LIU, C.; SONG, T.; HAN, S.; ZHU, J. Nitric oxide emission from rice-wheat rotation fields in eastern China: effect of fertilization, soil water content, and crop residue. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 336, p. 87-98, 2010.

ZIGMUNT, E. Alluvial as an effect of long-term man-landscape interactions and climatic conditions: A case study from the Glubczyce Plateau, SW Poland. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 108, p. 58-70, 2009.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os teores e estoques de C e N são claramente afetados pelo tipo de manejo do solo adotado. Considerando todo perfil avaliado, observou-se reduções que chegaram a 51,4 e 41,3% nos teores de C e N no sistema de cultivo tradicional, em comparação a área VN. Ao se comparar resultados obtidos em 2002 e 2011, observa-se uma redução de 57,8 e 9,42 (Mg ha⁻¹), o que significou, uma redução de 6,5 e 1,06 (Mg ha⁻¹). Este resultado é preocupante, por que a maioria das áreas cultivadas no semiárido brasileiro é tradicional, evidenciando a necessidade de pesquisas futuras abrangendo outras áreas da região com o objetivo de contabilizar o impacto promovido por estes sistemas para as questões ambientais. Como recomendação deste estudo têm-se os sistemas agroflorestais (agrossilvipastoril e silvipastoril), que promoveram menores perdas de C e N podendo ser usados em substituição ao cultivo itinerante. Estas perdas anuais de C e N contribuem para aumentar o fluxo destes gases do solo, o que pôde ser comprovado no segundo capítulo, principalmente, para o período úmido.

No segundo capítulo, para os fluxos de C e N, observou-se que existem diferenças com relação aos diferentes períodos avaliados, sendo os maiores valores de fluxos de C e N encontrados no período úmido. O sistema tradicional, o de menores valores de estoques de C e N, apresentou os maiores fluxos de C-CO₂, ou seja, além da pouca quantidade de C armazenada, este sistema apresenta elevados fluxos para a atmosfera. Este fato aponta para a necessidade de conversão em longo prazo dos sistemas tradicionais utilizados na região para sistemas que preservem o estrato arbóreo. Por outro lado, os sistemas agroflorestais apresentaram valores de fluxos de C-CO₂ e NO próximos e abaixo da vegetação natural, respectivamente, comprovando a eficiência daqueles sistemas para mitigar as emissões no período de avaliação. No período seco, época que as folhas das árvores caem, característica marcante da região semiárida, e talvez por isso, os fluxos de C-CO₂ e NO nos sistemas agroflorestais foram bem maiores que na VN.

No entanto, este estudo traz as primeiras informações a respeito das emissões de gases do efeito estufa na região semiárida brasileira, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas futuras com a utilização de outras metodologias que confirmem a contribuição destes ambientes em emitir ou mitigar as emissões destes gases. Porém, fica evidente que os sistemas agroflorestais podem ser uma ferramenta eficaz e sustentável e que podem se tornar útil para aquelas condições.