

Carolina Malala Martins

ATRIBUTOS DE SOLOS E SUA RELAÇÃO
COM O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO
NO SEMI-ÁRIDO DE PERNAMBUCO

Recife, 2009

Carolina Malala Martins

ATRIBUTOS DE SOLOS E SUA RELAÇÃO
COM O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO
NO SEMI-ÁRIDO DE PERNAMBUCO

Trabalho de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Recife, 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

M386a Martins, Carolina Malala
 Atributos de solos e sua relação com o processo de de -
 sertificação no semi-árido de Pernambuco / Carolina Malala
 Martins. -- 2009.
 94 f.: il.

 Orientadora: Izabel Cristina de Luna Galindo
 Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universi -
 dade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de
 Agronomia.
 Inclui bibliografia.

CDD 631. 458 13

1. Degradação do solo
2. Matéria orgânica
3. Caatinga
4. Qualidade do Solo
 - I. Galindo, Izabel Cristina de Luna
 - II. Título

Carolina Malala Martins

**ATRIBUTOS DE SOLOS E SUA RELAÇÃO
COM O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO
NO SEMI-ÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em 20 de fevereiro de 2009.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Izabel Cristina de Luna Galindo _____

Examinadores:

Dr^a. M^a Betânia Galvão dos Santos Freire _____

Dr. Gustavo Pereira Duda _____

Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes _____

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

*Ao meu avô **Ivanildo Formiga**,
Pelo homem de honra que soube ser.
Pela educação dada a nossa família.*

DEDICO.

*A minha mãe, **Jacinta**
e meu irmão, **Alejandro**,
pelo amor incondicional.*

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por manter inabalável a minha fé e por me mostrar, através da ciência, a perfeição da natureza;

À minha mãe, Jacinta Malala, pelo exemplo de garra e determinação, por ensinar-me o sentido da família, do amor e da importância que a educação tem em nossas vidas;

Ao meu irmão, Alejandro Malala, por acreditar no meu trabalho e na minha capacidade de vencer;

À Vovó Vanderli, meus tios e tias, primos e primas que, mesmo distante, sempre estiveram torcendo pelo meu sucesso;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, pela oportunidade de ingressar no mundo científico;

A CAPES-Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela importante ajuda financeira por meio da bolsa de estudos;

À Professora Izabel Cristina de Luna Galindo, pela orientação constante, pela confiança depositada em mim e por ser esta pessoa humana, serena, que com seu jeito carinhoso de ser tornou-se bem mais que uma orientadora, mas sim uma amiga;

À Professora Maria Betânia Freire, pelos conhecimentos compartilhados, pela disponibilidade, pelo carinho e por saber ouvir pacientemente todas as dificuldades encontradas ao longo do curso;

Ao Professor Gustavo Duda, pela ajuda na interpretação das metodologias de análises microbiológicas;

Ao Professor Eduardo Sá Mendonça, pelo auxílio na interpretação dos dados de fracionamento químico da MOS;

Aos Doutorandos Edivan Rodrigues de Souza e Milton César Campos pelo apoio nas análises estatísticas e por compartilharem, independentes de hora e local, os seus vastos conhecimentos;

Ao Coordenador do PPGCS, Professor Clístenes Nascimento, pela ajuda ao longo do trabalho e pelo incentivo à pesquisa;

Aos Professores do PPGCS, por compartilharem de forma brilhante seus conhecimentos ao longo do curso, de modo especial ao Professor Mateus

Rosas Ribeiro e Professora Eurides Alves de Souza pelo apoio nas viagens à Floresta-PE;

Aos amigos Hailson, Welka e Laerte, que, desde a graduação, compartilham de momentos inesquecíveis;

De forma especial ao casal Hailson e Welka que sempre me acolheram, com carinho e atenção, em seu aconchegante lar, tornando os nossos dias mais felizes;

À amiga Thais Emanuelle dos Santos, pela pessoa simples, alegre e prestativa que é. Por me confortar nas dificuldades e também vibrar nas vitórias, além de saber que posso contar e confiar sempre;

A Edivan Rodrigues de Souza, pelo exemplo de determinação, força e vontade de vencer. Pela ajuda nunca negada, pelo carinho sempre oferecido e por ter se tornado esse amigo inesquecível;

As amigas de república, Priscila Lima e Leandra Brito, pelo apoio, respeito e carinho conquistados ao longo do dia-a-dia;

À turma do Curso de Pós-Graduação, Welka, Laerte, Maria, Carla, Patrik, Rômulo, Guilherme, Rosemberg, Luciana, Marise, André e Terezinha pela amizade conquistada,

Aos amigos do grupo de pesquisa, Henrique, Luiz, Eduardo, Uilka, Naiara, Mateus, Pablo, Juliana, Rosângela, Fabio, Bruna, Goédhi, Fábio Pedro, Renato e Joel, por tornarem os cansativos dias de laboratório mais alegres e produtivos;

Aos funcionários da Unidade Experimental de cana-de-açúcar da UFRPE, em Carpina-PE, pelo auxílio nas análises químicas;

Aos funcionários do CEFET – Unidade de Floresta-PE, pela hospedagem e a família Valgueiro, por permitir o acesso a RPPN Cantidiano Valgueiro, em Floresta;

Aos funcionários da Área de Solos, de forma especial a Socorro Santana dos Santos, pelo carinho e constante boa vontade em ajudar e ao Engº Agrônomo José Fernando Wanderley Fernandes Lima, pela força nos trabalhos de campo e valiosas sugestões durante a realização deste trabalho;

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

***De coração,
Obrigada!***

BIOGRAFIA

CAROLINA MALALA MARTINS, filha de Arturo Malala Alencar e Jacinta de Fátima Martins Malala, nasceu em 28 de fevereiro de 1984, na Cidade do Recife, Pernambuco.

Cursou o ensino fundamental no Colégio Diocesano Santa Luzia e ensino médio nos Colégios GEO e CAP, na cidade de Mossoró – RN.

Em 2002 foi aprovada no curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, obtendo nível superior ao final do ano de 2006.

No início de 2007 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como discente do curso de Mestrado.

RESUMO

Frente ao avanço das áreas em processo de degradação oriundo de causas naturais e/ou influências antrópicas, faz-se necessário a utilização de ferramentas, preferencialmente de fácil aquisição, que indiquem os estágios dessa degradação a fim de viabilizar um correto manejo e indicação de um possível uso ou recuperação dessas áreas. Dentre os parâmetros passíveis de avaliação, atributos relacionados ao solo (especialmente a matéria orgânica) e vegetação (serrapilheira) têm recebido crédito. Desse modo, o objetivo dessa pesquisa foi analisar a variabilidade de atributos químicos e microbiológicos de solos e o fracionamento da serrapilheira e da matéria orgânica, visando utilizar tais variáveis como indicadores de processos de desertificação, em áreas sob níveis crescentes de degradação na região semi-árida do Estado de Pernambuco. Foram amostradas áreas em diferentes estágios de degradação: conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, no município de Floresta-PE. Em cada área, foram escolhidos quatro locais de amostragem e efetuadas sete coletas, totalizando 28 pontos amostrados por área. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, nos períodos seco e chuvoso. A serrapilheira, coletada em 1 m², foi separada em fração lenhosa e não-lenhosa, e quantificada a massa seca de cada fração. Foram realizadas análises físicas (granulometria e densidade do solo), químicas (pH, fracionamento químico da matéria orgânica do solo, bases trocáveis, acidez potencial, carbono orgânico do solo, estoque de carbono, fósforo disponível e capacidade de troca de cátions) e microbiológicas (carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quocientes microbiano e metabólico) do solo. Os dados foram analisados adotando-se métodos de estatística descritiva, análise de componentes principais e teste t. Verificou-se, quanto à serrapilheira, que a fração lenhosa foi superior a não-lenhosa no ambiente conservado e inferior no ambiente degradado e que ocorreu uma redução de 57% da serrapilheira no ambiente conservado, entre o período seco e chuvoso. O estoque de carbono no solo diminuiu com o aumento da profundidade e nível de degradação. Na camada de 0-10 cm de profundidade, os atributos químicos apresentaram comportamento diferenciado nas diferentes áreas em função dos níveis de degradação. O carbono da biomassa microbiana e a respiração basal do solo foram superiores nas áreas

conservadas durante o período seco. Os atributos microbiológicos, com destaque para o carbono da biomassa microbiana do solo e quociente microbiano, mostraram-se mais sensíveis à degradação ambiental e podem ser usados como indicadores de qualidade do solo.

ABSTRACT

To analyze the process of degradation that comes from natural causes and / or anthropogenic influences is necessary the use of tools, preferably the easy ones to purchase, indicating the stages of degradation in order to make a correct management and indication of a possible use or recovery of these areas. Among the parameters subject to evaluation, attributes related to soil (especially organic matter) and vegetation (litter) have received credit. Thus, the aim of this study was to analyze the variability of microbiological and chemical attributes of soil and fractions of litter and organic matter to use such variables as indicators of processes of desertification in areas under increasing levels of degradation in the semiarid region of State of Pernambuco. Areas were sampled at different stages: conserved, moderately degraded and heavily degraded in the Floresta city, Pernambuco state, Brazil. In each area four sites were selected for sampling and made seven collections, totaling 28 points per sampled area. Soil samples were collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm in dry and rainy periods. The litter, collected in 1 m², was separated into woody and non-woody, and quantified the dry mass of each fraction. Were made physical (size and bulk density), chemical (pH, chemical fractionation of soil organic matter, exchangeable bases, potential acidity, soil organic carbon, carbon stocks, available phosphorus and cation exchange capacity) and microbiological (microbial biomass carbon, basal respiration, microbial and metabolic quotients) of soil. The data were analyzed taking up methods of descriptive statistics, analysis of main components and t test. About the litter, the woody fraction, stored on the healthy environment, was higher than non-woody and there was a 57% reduction of stored in the environment between the rainy and dry period. The stock of carbon in the soil decreased with depth increasing and degradation level. For chemical attributes could be observed that on the 0-10 cm depth layer, they can be used as indicators of areas with different degradation levels. The microbial biomass carbon and soil basal respiration were higher in the preserved areas during the dry period. The microbiological attributes, with emphasis on the carbon of the soil microbial quotient can be used as indicators of soil quality.

LISTA DE FIGURAS

Descrição	Página
Figura 1. Ambiente conservado durante o período seco (a) e chuvoso (b), em Floresta-PE.....	16
Figura 2. Ambiente moderadamente degradado durante o período seco (a) e chuvoso (b), em Floresta-PE.....	17
Figura 3. Ambiente intensamente degradado durante o período seco (a) e chuvoso (b), em Floresta-PE.....	17
Figura 4. Área de coleta das amostras de serrapilheira e solo.....	18
Figura 5. Etapas da coleta de solo utilizando anel amostrador de aço inox para as 3 profundidades de solo coletadas (0-10; 10-20 e 20-30cm).....	18
Figura 6. Fração lenhosa e não-lenhosa da serrapilheira (Mg ha^{-1}) dos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período seco e chuvoso no município de Floresta-PE.....	24
Figura 7. Dados de precipitação mensal dos anos de 2007 e 2008 no município de Floresta-PE.....	26
Figura 8. Massa seca total da serrapilheira (Mg ha^{-1}) dos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período seco e chuvoso no município de Floresta-PE.....	28
Figura 9. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 0-10 cm durante o período seco.....	37
Figura 10. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 10-20 cm durante o período seco.....	39
Figura 11. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 20-30 cm durante o período seco.....	40
Figura 12. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 0-10 cm durante o período chuvoso.....	42
Figura 13. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 10-20 cm durante o período chuvoso.....	42
Figura 14. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e intensamente degradado (D), na profundidade de 20-30 cm durante o período chuvoso.....	43

Figura 15. Análise multivariada de componentes principais para os atributos microbiológicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e intensamente degradado (D), na camada 0-10cm, durante o período seco, em Floresta-PE.....	55
Figura 16. Análise multivariada de componentes principais para os atributos microbiológicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e intensamente degradado (D), na camada 0-10 cm, durante o período chuvoso, em Floresta-PE.....	57
Figura 17. Análise multivariada de componentes principais para o fracionamento físico da serrapilheira e as frações da MOS separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e intensamente degradado (D), durante o período seco.....	60
Figura 18. Análise multivariada de componentes principais para o fracionamento físico da serrapilheira e as frações da MOS separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), durante o período chuvoso.....	61

LISTA DE TABELAS

Descrição	Página
Tabela 1. Localização geográfica e classificação do solo das quatro áreas dos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, no município de Floresta-PE.....	15
Tabela 2. Estatística descritiva do fracionamento físico da serrapilheira correspondente aos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período seco, em Floresta,PE.....	23
Tabela 3. Estatística descritiva do fracionamento físico da serrapilheira correspondente aos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período chuvoso, em Floresta, PE.	25
Tabela 4. Massa seca das frações lenhosa, não-lenhosa e total da serrapilheira ($Mg\ ha^{-1}$) dos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco e chuvoso, no município de Floresta-PE.....	26
Tabela 5. Granulometria e densidade dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, no município de Floresta-PE.....	29
Tabela 6. Estatística descritiva dos atributos químicos do solo nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período seco nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm de profundidade.....	30
Tabela 7. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período chuvoso nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm de profundidade.....	35
Tabela 8. Análise de componentes principais, utilizando-se atributos químicos para os ambientes: conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado nas camadas 0-10; 10-20 e 20-30 cm, durante o período seco. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2).....	38
Tabela 9. Análise de componentes principais, utilizando-se atributos químicos para os ambientes: conservado, moderadamente degradado e degradado nas camadas 0-10; 10-20 e 20-30 cm, durante o período chuvoso. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2).....	41
Tabela 10. Comparação dos atributos químicos entre os períodos seco (out/2007) e chuvoso (abr/2008) nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, em Floresta-PE.....	44
Tabela 11. Estatística descritiva do fracionamento químico da MOS dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco.....	47

Tabela 12. Estatística descritiva do fracionamento químico da MOS dos solos correspondentes aos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período chuvoso...	48
Tabela 13. Comparação do fracionamento químico da MOS entre os períodos seco (out/2007) e chuvoso (abr/2008) no ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, em Floresta-PE.....	50
Tabela 14. Medidas estatísticas descritivas de atributos microbiológicos dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco.....	52
Tabela 15. Medidas estatísticas descritivas de atributos microbiológicos dos solos correspondentes aos ambientes conservado, moderadamente degradado e degradado durante o período chuvoso.....	54
Tabela 16. Análise de componentes principais, utilizando-se atributos microbiológicos para os ambientes: conservado, moderadamente degradado e degradado na camada de 0-10 cm durante o período seco e chuvoso. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2). Ordem de importância das variáveis originais na discriminação dos diferentes ambientes.....	56
Tabela 17. Atributos microbiológicos do ambiente conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco e chuvoso, em Floresta-PE.....	58
Tabela 18. Análise de componentes principais, utilizando-se o fracionamento físico da serrapilheira e as frações da MOS separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), durante o período seco e chuvoso. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2).....	59

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. A caatinga e os processos de degradação dos solos associados à desertificação.....	3
2.2. Indicadores da qualidade do solo relacionados com a desertificação.....	6
2.3. Importância da matéria orgânica do solo e da serrapilheira na região semi-árida.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Caracterização da área de estudo.....	14
3.2. Amostragem do solo e da serrapilheira.....	16
3.3. Análises dos solos e serrapilheira.....	19
3.3.1. Fracionamento físico da serrapilheira.....	19
3.3.2. Análises físicas dos solos.....	19
3.3.3. Análises químicas dos solos.....	19
3.3.4. Fracionamento químico da MOS.....	20
3.3.5. Determinação do estoque de carbono nos solos.....	20
3.3.6. Análises microbiológicas.....	21
3.4. Análises estatísticas.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Fracionamento físico da serrapilheira	22
4.1.1. Estatística descritiva.....	22
4.1.2. Comparação entre os períodos.....	25
4.2. Atributos físicos dos solos.....	28
4.3. Atributos químicos dos solos.....	29
4.3.1. Estatística descritiva.....	29
4.3.2. Análise de componentes principais.....	37
4.3.3. Comparação entre os períodos.....	43

	Página
4.4. Fracionamento químico da MOS.....	46
4.4.1. Estatística descritiva.....	46
4.4.2. Comparação entre os períodos.....	49
4.5. Atributos microbiológicos dos solos.....	50
4.5.1. Estatística descritiva.....	50
4.5.2. Análise de componentes principais.....	54
4.5.3. Comparação entre os períodos.....	57
4.6. Análise de Componentes principais (Frações da serrapilheira e frações da MOS).....	59
5.CONCLUSÕES.....	62
6.BIBLIOGRAFIA.....	63

1. INTRODUÇÃO

No semi-árido nordestino, a degradação dos recursos naturais e, especialmente, a diminuição da fertilidade do solo, têm sido provocadas pelo aumento da intensidade do uso do solo e redução da cobertura vegetal nativa (Menezes & Sampaio, 2002). A retirada da caatinga, vegetação nativa nas regiões semi-áridas do Nordeste, aliada a longos períodos de estiagem, provoca acentuada degradação do solo, deixando-o descoberto e exposto por mais tempo à ação dos agentes climáticos, reduzindo, conseqüentemente, seu potencial produtivo, causando danos muitas vezes irreversíveis ao meio (Trevisan et al., 2002; Souto et al., 2005; Sampaio & Araújo, 2005; Menezes et al., 2005).

O processo de degradação das terras nas regiões secas resultante, principalmente, das variações climáticas e das atividades humanas, é conhecido como desertificação e ocorre como um processo cumulativo de deterioração das condições ambientais que, em um estágio mais avançado, afeta as condições de vida da população. A degradação do solo constitui um dos fatores mais importantes no estabelecimento da desertificação.

A estimativa da degradação do solo envolve a integração complexa de fatores químicos, físicos e biológicos, funcionalmente dinâmicos, e objetiva caracterizar o estado atual do solo, prever os caminhos de sua transformação e propor procedimentos adequados para recuperação, bem como monitorar e avaliar os impactos antropogênicos (Snakin et al., 1996; Nortcliff, 2002).

As ferramentas utilizadas para o monitoramento da degradação, os indicadores de qualidade, compreendem propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas do solo (FAO, 2003), que podem ser usados para determinar a extensão espacial e distribuição geográfica de áreas degradadas, e relacionar ações humanas (causas) com condições ambientais (efeitos) (Rubio & Bochet, 1998). Permitem avaliar práticas e técnicas de manejo do solo; relacionar a qualidade do solo com outros componentes do sistema; coletar informações necessárias para determinar tendências e modelos; e guiar decisões sobre o manejo da terra, visando manter e melhorar as condições do solo (Nortcliff, 2002). Indicadores de degradação devem ser quantitativos, sensíveis a pequenas variações, reduzidos em número e simples de medir.

Várias estratégias de avaliação da qualidade do solo têm sido propostas, destacando-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos químicos, físicos e biológicos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade do solo (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994). Opondo-se a estas, existem também as que consideram que um número reduzido de atributos-chave, como a matéria orgânica do solo, pode expressar eficientemente a qualidade do solo (Gregorich et al., 1994; Seybold et al., 1998).

Outros autores também atestam que a matéria orgânica apresenta potencial para ser utilizada como atributo-chave da qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994), pois, além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (Gregorich et al., 1994).

Embora seja difícil isolar os efeitos de características relacionadas com a atividade biológica e frações de carbono orgânico, sabe-se que estes podem ser indicativos de degradação do solo. Frações da matéria orgânica ou do carbono do solo, mais sensíveis ao manejo, podem ser utilizadas como indicadores de mudanças na dinâmica do compartimento orgânico (Andrade et al., 2005).

Os microrganismos do solo são os principais componentes do sistema de decomposição da matéria orgânica e apresentam um papel fundamental na dinâmica de nutrientes em diferentes ecossistemas, afetando as transformações de C, N e P (Diaz-Raviña et al., 1993). Dentre os indicadores do solo capazes de representar a população microbiana, a biomassa microbiana destaca-se devido a sua relação com matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia (De-Polli & Guerra, 1999), já que atua como um reservatório de nutrientes, imobilizando-os temporariamente e reduzindo perdas por lixiviação, o que possibilita seu uso posterior pelas plantas.

Além da importância dada à atividade microbiana para a manutenção da qualidade do solo, outros aspectos devem ser levantados, como por exemplo, a serrapilheira ou manta orgânica que se encontra sobre o solo e representa a principal fonte de material orgânico para o mesmo. A camada de serrapilheira sobre o solo depende, além da produção, da velocidade de decomposição da matéria orgânica, que varia conforme a composição do substrato, atividade dos

decompositores e das condições ambientais, particularmente, temperatura, umidade e propriedades físicas do solo (Spain, 1984).

Apesar do grande volume de trabalhos sobre monitoramento da qualidade do solo, envolvendo variados cenários ambientais e de manejo, poucos abordam a degradação dos solos em terras secas. Ainda não existe uma metodologia de consenso sobre o monitoramento dos processos de desertificação. Poucas são as variáveis que podem ser consideradas boas indicadoras, isto é, com representatividade, disponibilidade e confiabilidade espacial e temporal, e facilidade de acesso (Rodrigues, 2000).

Atualmente, poucos são os trabalhos que envolvem caracterização da matéria orgânica do solo na região semi-árida e sua utilização como indicador de qualidade de áreas em processo de degradação, visando fornecer subsídios para a prevenção do processo e elaboração de estratégias de recuperação de áreas já degradadas. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade de atributos químicos e microbiológicos do solo, com ênfase nos fracionamentos da serrapilheira e matéria orgânica, bem como a sua utilização como indicadores de processos de desertificação, em áreas com níveis crescentes de degradação, na região semi-árida do Estado de Pernambuco.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A caatinga e os processos de degradação dos solos associados à desertificação

A porção semi-árida do Nordeste brasileiro compreende uma área de cerca de 900.000 km², quase toda no embasamento cristalino e sob forte irregularidade climática. O clima e a qualidade das terras apresentam limitações muito fortes para o desenvolvimento de atividades agropecuárias. A baixa produtividade das terras deve-se, em grande parte, à deficiência hídrica, ao manejo inadequado, particularmente em terrenos de topografia acidentada, e à falta de sistemas de drenagem (Matallo Júnior, 2001).

A grande maioria das terras susceptíveis à desertificação encontra-se nas áreas semi-áridas e sub-úmidas secas do Nordeste, o que equivale a cerca de 181.000 km². Em torno de 20% da região semi-árida nordestina encontra-se em processo de desertificação, problema que vem se agravando devido às

secas sucessivas que assolam o Nordeste e às pressões antrópicas em um ecossistema tipicamente frágil (Accioly, 2000).

A caatinga apresenta uma diversidade maior que qualquer outro bioma do mundo sob as mesmas condições de clima e de solo, mas é um dos ecossistemas brasileiros mais degradados pelo homem (BRASIL, 2002). Sampaio & Salcedo (1997) afirmam que, apesar da fragilidade natural deste ecossistema, ele possui certa resistência às perturbações antrópicas, como os processos de corte e de queima da vegetação aos quais está freqüentemente submetido.

Atualmente, na região semi-árida, o aumento contínuo do desmatamento para a introdução da agricultura e pecuária vem reduzindo a vegetação em torno de 2,7% ao ano (Araújo Filho & Barbosa, 2000). As áreas desmatadas em função do corte de lenha, anualmente, atingem aproximadamente 1×10^6 ha, apenas para os estados do CE, RN, PB e PE (Sampaio & Salcedo, 1997).

Nestes ambientes são encontradas áreas degradadas, com solos desnudos, mais sujeitos aos processos erosivos e ao empobrecimento da sua fertilidade, áreas de vegetação rala, que possuem pouca estabilidade e estão sujeitas à degradação, como também áreas de cobertura vegetal densa, com grande diversidade de espécies que proporcionam boa cobertura ao solo, protegendo-o das ações climáticas e antrópicas (Chaves et al., 2002).

A degradação ambiental no semi-árido nordestino, embora tenha ocorrido de forma lenta ao longo de 300 anos de exploração inadequada, está freqüentemente associada à combinação de precipitações muito baixas e muito variáveis no tempo e no espaço, e evapotranspirações freqüentemente muito altas (Sampaio & Araújo, 2005).

A degradação das terras na região semi-árida resulta de processos naturais, que podem ser induzidos ou catalisados pelo homem através do uso inadequado dos recursos, produzindo a deterioração da cobertura vegetal, do solo e dos recursos hídricos. A degradação da terra refere-se à perda de qualidades intrínsecas ou a um declínio na sustentabilidade para um ou mais usos específicos (FAO, 2003).

Por ser um processo dinâmico, é difícil determinar uma causa para a desertificação das terras, tendo em vista que, geralmente, se observa um emaranhado de causas e efeitos que se entrelaçam, formando um quadro complexo (Sampaio & Sampaio, 2002). A interferência humana tem um papel

decisivo na sua instalação e no seu avanço, como também na sua reversibilidade, que raramente ocorre de forma espontânea. A pecuária extensiva, práticas agrícolas inadequadas, atividades extrativistas, irrigação mal conduzida, aumentam a pressão sobre ecossistemas frágeis, contribuindo para a destruição da cobertura vegetal e degradação do solo por fatores diversos, como a erosão, salinização, compactação etc.

A erosão é um dos principais processos na cadeia da desertificação, originado do desmatamento e cultivo inadequados e causando perda irreversível da capacidade produtiva da terra, tendo em vista que é na camada superficial removida que estão acumulados mais nutrientes e matéria orgânica. A erosão causa a diminuição da capacidade de retenção e disponibilidade de água dos solos, reduzindo a produção de biomassa. Com menores aportes de matéria orgânica ao solo, este se torna cada vez menos capaz de reter água, a cobertura vegetal raleia e empobrece, a radiação solar intensa desseca ainda mais o solo e a erosão se acelera, promovendo a aridez, num círculo vicioso de degradação crescente (Araújo et al., 2002).

A exposição do solo aos processos erosivos, removendo a camada superficial do solo onde a atividade biológica ocorre mais intensamente, provoca redução de sua qualidade (Alvarenga et al., 1999). A vegetação que se reinstala nesses solos é usualmente empobrecida e de desenvolvimento lento, associada à baixa capacidade de retenção de água e íons, constituindo importante limitação à capacidade produtiva dos solos (Melo, 1994).

Segundo Vasconcelos Sobrinho (1983) citado por Galindo (2007), a principal característica do fenômeno da desertificação no semi-árido nordestino é a presença de manchas de solo exposto, apresentando solos rasos, sem capacidade de retenção de água, e com limitações físicas e químicas, que aumentam a vocação ecológica para a desertificação.

Segundo Sampaio & Sampaio (2002), a deterioração mais generalizada da capacidade produtiva dos solos é a redução da fertilidade pela diminuição da quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas. A degradação aumenta com o cultivo e com a inevitável exportação dos nutrientes com as colheitas. Quanto maiores as produtividades, maiores as perdas. A ciclagem de nutrientes e a decomposição dos minerais do solo repõem naturalmente essas perdas, mas apenas parcialmente e de forma bastante lenta.

As adições de material orgânico são largamente controladas pelas características e dinâmica da vegetação, podendo ser fortemente sazonais e localizadas, como ocorre nas caatingas decíduas do semi-árido nordestino. A variação temporal nas características biológicas do solo e na serrapilheira pode ser mínima, ou altamente significativa, dependendo da dinâmica da vegetação e do clima e é tipicamente maior nas regiões áridas e semi-áridas, onde a vegetação se distribui em mosaicos e a produção de biomassa e atividade microbiana são altamente oportunistas (Bryan, 2000).

2.2. Indicadores da qualidade do solo relacionados com a desertificação

Há três tipos principais de degradação do solo: física, química e biológica. A degradação física refere-se a perdas de condições estruturais do solo (densidade, porosidade, infiltrabilidade, aeração, estabilidade dos agregados); são sintomas claros desse tipo de degradação a elevada resistência à penetração, limitações de aeração e a elevada suscetibilidade à erosão. A degradação química é o reflexo da retirada de nutrientes do solo ou do acúmulo de elementos tóxicos ou desbalanceados, que são prejudiciais ao crescimento de plantas. A degradação biológica está associada à redução de matéria orgânica e da atividade e diversidade de organismos no solo (Doran & Parkin, 1994).

Existe uma grande quantidade de indicadores, relacionados com os principais tipos de degradação do solo: indicadores visuais, que podem ser obtidos através de observação direta ou interpretação fotográfica (exposição do subsolo, mudanças na cor do solo, ocorrência de voçorocas, alagamentos, enxurrada, transporte de solo pelo vento, deposição, são exemplos de indicadores potenciais determinados localmente); os indicadores físicos estão relacionados com o arranjo das partículas sólidas e poros e ocorrência de erosão, estes refletem, primariamente, limitações ao crescimento de raízes, emergência de plântulas, infiltração ou movimento de água dentro do perfil; indicadores químicos incluem medidas de pH, salinidade (condutividade eletrolítica, teor de sais, saturação por sódio), matéria orgânica, concentrações de fósforo, capacidade de troca de cátions, ciclagem de nutrientes, acidificação (Al, H, pH) e concentrações de elementos que podem ser contaminantes potenciais (metais pesados, compostos radiativos etc.) ou aqueles que são

necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. A condição química do solo afeta as relações solo-planta, a qualidade da água, capacidade tampão, disponibilidade de nutrientes e água para plantas e outros organismos, mobilidade dos contaminantes, e algumas condições físicas, tais como a tendência à formação de crostas; indicadores biológicos incluem medidas de macro e microrganismos, sua atividade, seus subprodutos. Composição e diversidade da flora e fauna (populações de minhocas, térmitas e nematóides); teor de matéria orgânica, cátions, biomassa, atividade enzimática (Bautista et al., 2004).

A caracterização da desertificação necessita de uma série temporal de dados, que indique a medida da variação no tempo. Segundo Sampaio & Sampaio (2002), a ausência de séries temporais confiáveis é um dos problemas do estudo da desertificação no Nordeste, particularmente em relação a dados ambientais. Na ausência de dados de dinâmica, têm-se usado dados atuais para determinar a susceptibilidade à degradação, utilizando-se a baixa resiliência como medida da susceptibilidade.

Wick et al. (2000) avaliaram a qualidade do solo em sistemas silvipastoris com cobertura de capim buffel isolado ou associado com espécies arbóreas exóticas ou nativas da caatinga, comparando esses sistemas com a caatinga natural. Para tanto, utilizaram parâmetros de fertilidade (C-total, N-total, P-resina, P-orgânico, P-total, Ca, Mg, K e pH), bioquímicos e microbiológicos (N-fração leve, P_o-fração leve, C, N e P da biomassa microbiana, atividades da fosfatase ácida e alcalina, da protease e da β -glucosidase). Os autores concluíram que variáveis bioquímicas e microbiológicas responderam mais prontamente a mudanças no manejo da terra que os índices de fertilidade, sendo indicadores importantes do impacto de mudanças na vegetação sobre a qualidade do solo.

Khresat et al. (1998), avaliando as causas da desertificação no Noroeste da Jordânia, concluíram que a perda da fertilidade e produtividade dos solos foram as principais conseqüências da degradação das terras na região, associadas a um manejo inadequado das culturas, superpastoreio e ocorrência de erosão hídrica e eólica. Cultivos contínuos sem suprimento adequado de nutrientes pela fertilização levaram à depleção desses elementos nos solos. Esses solos são pobres em matéria orgânica e suas reações alcalinas reduziram a disponibilidade de fósforo e micronutrientes e, conseqüentemente,

levaram a produções muito baixas. Nitrogênio e fósforo foram os nutrientes mais limitantes nesses solos.

Su et al. (2004), avaliando o efeito do cultivo e do superpastoreio em terras arenosas da região semi-árida do Nordeste da China, utilizaram propriedades físicas, químicas e biológicas do solo para comparar os diferentes tipos de cobertura da terra: pastagem continuamente pastejada, com 20-28% de cobertura vegetal (controle), área cultivada por 3 anos e pastagem cercada não pastejada por 5 anos, com cobertura vegetal de 65-79%. Os autores concluíram que o cultivo resultou em erosão eólica acelerada e perdas de C, N e P devido à remoção de partículas finas ricas em nutrientes, além de um declínio nas atividades enzimáticas e na respiração basal. O recobrimento vegetal na parcela de exclusão resultou no melhoramento das propriedades físico-químicas e biológicas do solo pela proteção contra a erosão e aumento da adição de serrapilheira.

Rodriguez et al. (2005) apresentaram um estudo sobre os processos de degradação do solo relacionados com a transformação da cobertura vegetal nas Ilhas Canárias, Espanha. Para esse fim, foram estudados solos que caracterizam a paisagem atual da ilha e aqueles associados a enclaves da vegetação original, sendo a variação seqüencial das propriedades do solo ao longo da sucessão vegetal estabelecida por meio de análise multivariada dos gradientes ambientais. As propriedades do solo avaliadas foram: retenção de água, densidade do solo, granulometria, estabilidade estrutural, reação do solo, condutividade eletrolítica, cátions e ânions solúveis, cátions trocáveis, carbonato de cálcio, fósforo e micronutrientes disponíveis, matéria orgânica e N-total. Os resultados indicaram que a vegetação original estabeleceu-se em solos de baixa qualidade natural, severamente limitados pela aridez, salinidade e sodicidade natural, bem como pelos processos de erosão hídrica e eólica dominantes na ilha. Esses mesmos fatores ecológicos condicionam a qualidade dos solos presentes na ilha, embora a degradação da cobertura vegetal tenha aumentado a severidade de vários processos de degradação do solo, particularmente aqueles de natureza física e biológica.

Su et al. (2004) compararam a granulometria e os teores de C-orgânico e N-total de áreas agrícolas apresentando diferentes graus de desertificação, no Nordeste semi-árido da China. Os resultados mostraram que, para um gradiente de transformação de terras potencialmente desertificadas para terras

extremamente desertificadas, o teor de areia da camada de solo de 0-15cm aumentou 24%, e os teores de C-orgânico e N-total diminuíram 65% e 69%, respectivamente. Observaram-se, ainda, relações lineares significativas entre as diferentes frações granulométricas e as concentrações de C e N.

Tongway et al. (2003), avaliando os processos de degradação e a qualidade dos recursos edáficos em pastagens áridas da Austrália, variando em função da intensidade de pastoreio, observaram que as propriedades físicas do solo e a ciclagem de nutrientes melhoraram à medida que aumentaram as distâncias dos pontos de abastecimento de água para o gado, onde o pisoteio promoveu a redução da cobertura vegetal. A crescente erosão hídrica foi o processo degradativo principal. Nas zonas de deposição de solo, todas as variáveis químicas avaliadas melhoraram (%CO, N-orgânico, P-disponível, CTC), como também a atividade microbiana, particularmente na camada mais superficial (1cm).

2.3. Importância da matéria orgânica do solo e da serrapilheira na região semi-árida

A matéria orgânica desempenha papel importante na qualidade do solo para o crescimento das plantas. Os sistemas de manejo do solo e dos resíduos culturais influenciam os teores de matéria orgânica (Dalal & Chan, 2001; Freixo et al., 2002). Nos sistemas com mínimo revolvimento do solo, verifica-se aumento nestes teores (Reeves, 1997), com a concentração desta na superfície (Franzluebbers, 2002).

A presença de fitomassa, além de acarretar maior aporte de C, também tem influência nas propriedades do solo, uma vez que atua como isolante entre o solo e a atmosfera. A cobertura eficiente do solo impede a ação direta das gotas de chuvas, mantendo mais estáveis as variações de temperatura e umidade, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e a atividade microbiana, contribuindo para a criação de um ambiente mais favorável à agregação das partículas do solo e, conseqüentemente, melhoria da sua qualidade (Wendling et al., 2005).

Em ecossistemas naturais, onde há diversidade de espécies, a decomposição diferenciada dos resíduos vegetais faz com que os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas retornem ao solo de forma

equilibrada (Alvarenga et al., 1999). Desse modo, Mielniczuk (1999) afirma que, em solos sob vegetação natural, não ocorre variação temporal nos conteúdos de matéria orgânica devido à igualdade das quantidades adicionadas e perdidas.

A matéria orgânica do solo pode ser considerada um importante indicador da qualidade do solo, pois ela está relacionada com diversas propriedades químicas, físicas e biológicas do mesmo. Modificações no teor da matéria orgânica do solo significam alterações nessas características, as quais representam efeitos diretos do sistema de manejo empregado (Barreto, 2005). O teor de carbono orgânico tem sido utilizado frequentemente como indicador-chave da qualidade do solo, tanto em sistemas agrícolas, como em áreas de vegetação nativa (Jansen, 2005; Silva Júnior et al., 2004).

A serrapilheira constitui a principal fonte de matéria orgânica dos solos, sua quantidade e natureza desempenham importante papel na formação e manutenção da fertilidade dos mesmos. Formada por fragmentos orgânicos de origem vegetal e animal, que caem sobre o solo por meio de diversos processos (Souza & Davide, 2001), sua acumulação depende da quantidade e da qualidade de biomassa produzida e aportada, assim como da taxa de decomposição desse material (Alves et al. 2006; Golley et al., 1978).

A importância de se avaliar a produção de serrapilheira está na compreensão dos reservatórios e fluxos de nutrientes nestes ecossistemas, pois o folheto depositado sobre o solo constitui a principal via de fornecimento de nutrientes, por meio da mineralização dos restos vegetais. O conjunto serrapilheira–solo não representa somente fonte de carbono e energia para os organismos do solo, mas também o habitat onde ocorre toda a atividade metabólica desses seres, garantindo a sua sobrevivência e reprodução (Souza & Davide, 2001).

A camada de serrapilheira sobre o solo depende, além da produção, da velocidade de decomposição da matéria orgânica, que varia conforme a composição do substrato, atividade dos decompositores e condições ambientais, particularmente, temperatura, umidade e propriedades físicas do solo (Spain, 1984). Quando o ecossistema encontra-se em condição de equilíbrio, a taxa de decomposição pode ser estimada através da razão entre a quantidade de serrapilheira produzida e a acumulada, não apresentando, esta última, variações significativas em sua quantidade absoluta (Olson, 1963). A sazonalidade na produção e decomposição de serrapilheira tem sido

relacionada, principalmente, ao clima (Spain, 1984), sendo também mencionados a baixa disponibilidade de nutrientes, estágio sucessional da comunidade e deciduidade das espécies (Villela & Proctor 1999; Vogt et al. 1986).

Devido à alta sensibilidade relacionada à atividade antrópica e à simplicidade de determinação, atributos microbiológicos (densidade e diversidade de grupos funcionais de microrganismos) e bioquímicos (biomassa microbiana e atividade de microrganismos heterotróficos) apresentam grande potencial de utilização como indicadores da qualidade de solos degradados em recuperação (Gianfreda & Bollag, 1996; Grisi, 1995; Nannipieri, 1984).

A população microbiana do solo apresenta um papel fundamental na dinâmica de nutrientes em diferentes ecossistemas, afetando as transformações de C, N e P (Diaz-Raviña et al., 1993). Dentre os indicadores do solo capazes de representar a população microbiana, a biomassa microbiana (BMS) destaca-se devido a sua relação com a matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia (De-Polli & Guerra, 1999). Funcionalmente, a biomassa atua como um reservatório de nutrientes, imobilizando-os temporariamente e reduzindo perdas por lixiviação, o que possibilita seu uso posterior pelas plantas. É definida como a parte da matéria orgânica do solo constituída por organismos vivos com volume menor que 5 a 10 mm³ (Moreira & Siqueira, 2002), sendo considerada o compartimento central do ciclo do C. Pode servir como um indicador rápido de mudanças no solo, revelando a sensibilidade da microbiota a interferências no sistema, e sua avaliação dá indicações sobre a ciclagem da matéria orgânica, podendo atuar como fonte e dreno de nutrientes por meio de processos de mineralização e imobilização (Grisi, 1995).

Operacionalmente, a BMS atua como agente de transformação da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (Wardle & Giller, 1996; Marchiori Júnior & Melo, 1999). A dupla função da BMS, de fonte/dreno de nutrientes e de catalisador pela execução de processos enzimáticos no solo, é amplamente aceita (Duxbury et al., 1989; Templer et al., 2003). Compreende uma fonte potencial de N, P, S e outros nutrientes para as plantas, e os fluxos através do reservatório microbiano podem ser de particular relevância no solo (De-Polli & Guerra, 1999; Kouno & Brooks, 2002). Através da rápida imobilização de nutrientes, que pode reduzir a sua disponibilidade

para as plantas, a BMS também funciona como dreno competitivo (Duxbury et al., 1989).

A vegetação influencia diferentemente a biomassa microbiana e, por isso, a sua eliminação ocasiona uma drástica queda de carbono da biomassa, como revelam estudos envolvendo desmatamentos (Cerri et al., 1985; Campos, 1998). Como a avaliação da biomassa microbiana é relativamente rápida quando comparada à avaliação direta da produtividade vegetal, esta pode ter enorme aplicação na avaliação da qualidade do solo (Cattelan & Vidor, 1990).

As plantas servem como fonte de C para a comunidade microbiana que, em troca, fornece nutrientes à vegetação, através da mineralização de resíduos vegetais e animais, e matéria orgânica do solo (Srivastava & Singh, 1991). A microbiota do solo tem alta diversidade funcional e metabólica, o que lhe confere alta reatividade bioquímica (Moreira & Siqueira, 2002). Bactérias e fungos têm uma alta exigência por nutrientes, e alguns nutrientes resultantes de materiais em decomposição, como o carbono, são retidos pela síntese dos decompositores de biomassa em um processo conhecido como imobilização (Gallardo & Schlesinger, 1990).

A relação entre o C da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e o C orgânico, também denominada de quociente microbiano (q_{MIC}), fornece uma medida de qualidade da matéria orgânica. Segundo Wardle (1994), em circunstâncias em que a biomassa encontra-se sob algum fator de estresse, a capacidade de utilização do C é reduzida. Neste caso a relação C-BMS:CO diminui. Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com mudança do fator limitante para uma condição favorável, o C-BMS pode aumentar rapidamente, logo o q_{MIC} aumenta.

Além do quociente microbiano há uma variável ecofisiológica de interpretação também adequada, que é a taxa de respiração microbiana por unidade de C-BMS, também conhecida como quociente metabólico (q_{CO_2}). Este quociente sugere que, ao passo que a biomassa microbiana do solo torna-se mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos C é perdido como CO_2 pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos (Tótolá & Chaer, 2002).

Segundo Nannipieri (1984), a atividade microbiana é utilizada como uma maneira de melhor entender os processos de mineralização e visualizar mais profundamente a intensidade dos fluxos de energia no solo. A respiração

microbiana apresenta grande potencial de utilização como indicador da qualidade de solos em áreas degradadas, relacionando-se com a perda de carbono orgânico do sistema solo-planta para a atmosfera, reciclagem de nutrientes e resposta a diferentes estratégias de manejo do solo (Parkin et al., 1996).

A matéria orgânica tem sido fracionada para estudos mais detalhados, e pode ser caracterizada pela análise de seus componentes lábeis (não húmicos) e não lábeis (húmicos) (Zech et al., 1997). Christensen (2000) relata que diversos tipos de fracionamento são utilizados em estudos sobre a matéria orgânica do solo (MOS) e estes visam exatamente avaliar esta heterogeneidade, separando frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes das outras frações do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) compreende componentes vivos e não-vivos. Os componentes vivos são as raízes de plantas, a fauna e os microrganismos do solo; os últimos correspondem a 60 a 80 % do total. Os componentes não-vivos incluem a matéria macrorrgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não humificadas. As substâncias não-humificadas incluem carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucleicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. Por sua vez, as substâncias humificadas, que constituem de 70 a 80 % da MO na maioria dos solos minerais, são compostas pelas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas (Theng et al., 1989). As substâncias húmicas são produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e animais, assim como da atividade da microflora do solo (Michel et al., 1996). A elevada estabilidade das substâncias húmicas é atribuída à sua estrutura química complexa e às suas interações com minerais de argila e com cátions metálicos (Theng et al., 1989), que se expressa na formação dos agregados.

O termo substâncias húmicas (SH) é genérico e operacional, para descrever materiais e frações orgânicas obtidas a partir do fracionamento químico da MOS com base em suas características de solubilidade em meio alcalino e ácido (Silva et al., 2000). O procedimento comumente utilizado para o fracionamento químico da MOS envolve a extração das substâncias húmicas do solo, o que resulta em três frações principais: fração ácidos fúlvicos (FAF),

fração ácidos húmicos (FAH) e fração huminas (Hum), sendo então determinado o teor de carbono orgânico em cada uma dessas frações (McBride, 1994).

As substâncias húmicas desempenham papel importante no fluxo de nutrientes em diversos sistemas ecológicos, na emissão de carbono (C-CO₂) para a atmosfera, sendo que cada fração tem efeito diferenciado nos ciclos acima expostos (Valladares et al., 2003). A quantidade e a proporção das frações húmicas encontradas nos solos têm servido como indicador de qualidade dos solos em diversos ambientes, devido à forte interação das substâncias húmicas com o material mineral do solo (Fontana et al., 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

A área utilizada neste estudo pertence ao município de Floresta-PE, localizado na Mesorregião do São Francisco Pernambucano, mais especificamente na Microrregião de Itaparica entre as coordenadas 8°36' de Latitude Sul e de 38°34' de Longitude Oeste.

De acordo com a classificação de Köppen, o município de Floresta apresenta o clima do tipo BSw'h' (muito quente, semi-árido, tipo estepe) e 4aTh da classificação de Gaussen, tropical quente de seca acentuada (Jacomine et al., 1973). A temperatura média anual é de 26,5°C e as precipitações variam em torno de 623 mm, concentrando-se nos meses de janeiro a maio, sendo março e abril os mais chuvosos. A evapotranspiração potencial média é de 1646 mm ao ano, com déficit hídrico anual de 1023 mm (EMBRAPA - Banco de dados climáticos do Brasil).

Os dados pluviométricos referentes ao período de estudo (outubro/2007 a maio/2008) foram obtidos do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) que possui uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) no município de Floresta-PE.

As classes de solo predominantes na área de estudo são os Luvisolos (Tabela 1), caracterizando-se por uma profundidade reduzida, presença de horizonte B textural de cores fortes e argila de atividade alta, apresentando normalmente um A fraco, de cor clara, pouco espesso, maciço ou com

estrutura fracamente desenvolvida. São moderadamente ácidos a neutros, com elevada saturação por bases. Frequentemente, há presença de revestimento pedregoso na superfície (pavimento desértico) ou na massa do solo, apresentando uma crosta superficial de 5 a 10mm de espessura. Possuem alta suscetibilidade à erosão, principalmente em áreas naturalmente degradadas (Galindo, 2007).

A zona rural do município abriga cerca de 37,1 % da população e possui como principal atividade econômica a exploração da pecuária extensiva, com rebanho caprino e ovino (CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA CAATINGA, 2004).

Tabela 1. Localização geográfica e classificação do solo das quatro áreas dos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, no município de Floresta-PE

Parcelas	Coordenadas	Classificação do solo
Conservado		
CF1	UTM 24L 544805 mE e 9054570 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico
CF2	UTM 24L 544656 mE e 9055852 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico
CF3	UTM 24L 558061 mE e 9062690 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico solódico
CF4	UTM 24L 556975 mE e 9055112 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico solódico
Moderadamente degradado		
MF1	UTM 24L 551370 mE e 9034294 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico planossólico solódico
MF2	UTM 24L 556523 mE e 9055498 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico sódico
MF3	UTM 24L 550757 mE e 9049162 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico solódico
MF4	UTM 24L 554888 mE e 9049456 mN	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico
Intensamente degradado		
DF1	UTM 24L 551386 mE e 9034294 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico lítico
DF2	UTM 24L 550663 mE e 9049162 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico planossólico solódico
DF3	UTM 24L 554952 mE e 9049548 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico solódico
DF4	UTM 24L 552793 mE e 9050286 mN	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico

3.2 Amostragem do solo e da serrapilheira

As áreas de amostragem foram definidas de acordo com áreas selecionadas por Galindo (2007), com base na interpretação preliminar de imagens de satélite e da observação, em campo, do grau de degradação dos solos (ocorrência de erosão, taxa de recobrimento, encrostamento, etc.) e da vegetação (permeabilidade, altura, ocorrência de espécies indicadoras, etc.). Os ambientes selecionados (conservados, moderadamente degradados e intensamente degradados) apresentavam semelhantes características climáticas, tipos de solos, condições de relevo e altitude, e tipo de uso da terra, embora com intensidades diferentes. Os ambientes conservados (Figura 1) foram selecionados em áreas cercadas, raramente pastejadas, pouco erodidas, caracterizadas por vegetação de caatinga arbustiva ou arbóreo-arbustiva densa; os ambientes moderadamente degradados (Figura 2), em áreas com vegetação de caatinga arbustiva a arbóreo-arbustiva pouco densa, apresentando erosão hídrica moderada; e os ambientes degradados (Figura 3), em áreas caracterizadas por vegetação de caatinga aberta, esparsa, com alta intensidade de pastejo e ocorrência de severa erosão hídrica.



Figura 1. Ambiente conservado durante o período seco (a) e chuvoso (b), em Floresta-PE.

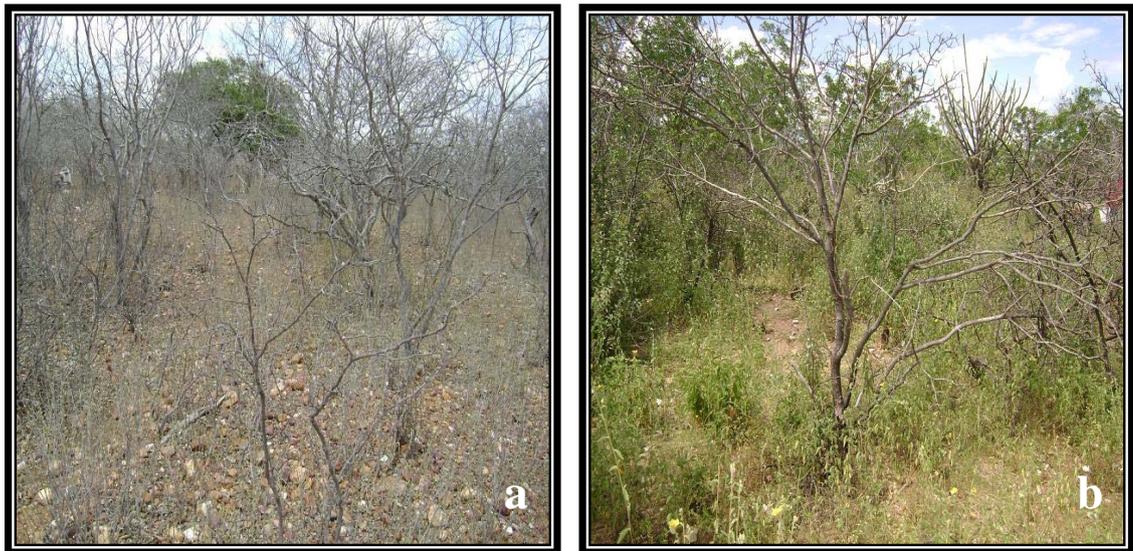


Figura 2. Ambiente moderadamente degradado durante o período seco (a) e chuvoso (b), em Floresta-PE.

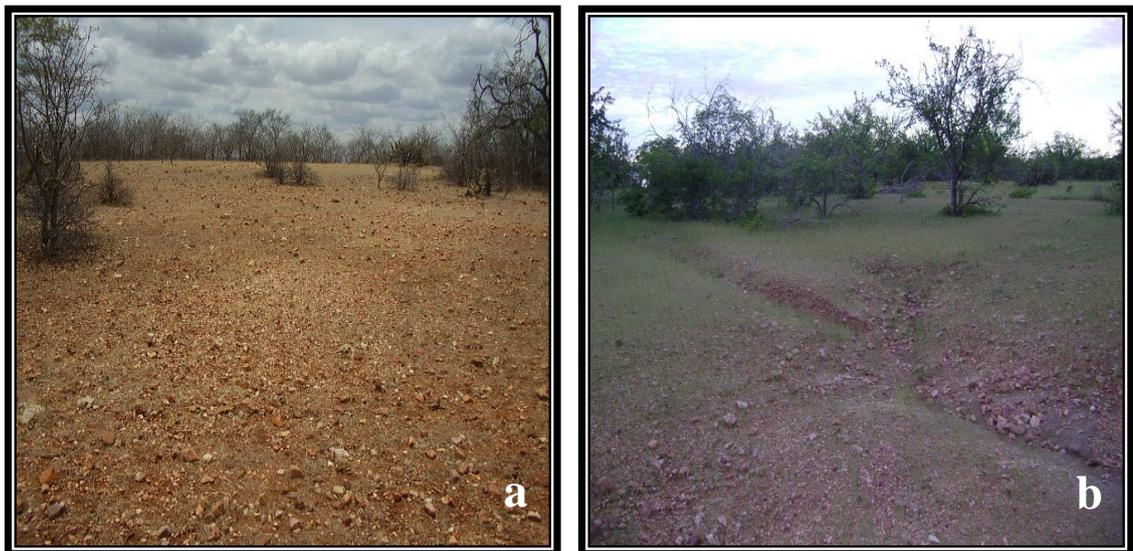


Figura 3. Ambiente intensamente degradado durante o período seco (a) e chuvoso (b), em Floresta-PE.

Em cada ambiente com diferentes níveis de degradação, foram definidas quatro áreas, nas quais foram escolhidos sete pontos de amostragem, espaçados 10 metros entre si, totalizando 84 coletas.

Em cada ponto de amostragem foi colocada sobre a superfície do solo uma grade de madeira de 1 m² (Figura 4). Toda a serrapilheira contida neste espaço foi coletada e armazenada em sacos plásticos. Em seguida, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, com auxílio de um anel amostrador de aço inox para melhor representação da profundidade de cada camada estudada (Figura 5), como também amostras indeformadas para determinação da densidade do solo nas mesmas

profundidades. O solo coletado na camada de 0-10 cm foi mantido sob refrigeração para determinação do carbono da biomassa microbiana e respiração basal. As demais amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e reservadas para análise. Em cada ambiente (conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado) foram coletadas 28 amostras de serrapilheira, bem como de solo nas três camadas.



Figura 4. Área de coleta das amostras de serrapilheira e solo.



Figura 5. Etapas da coleta de solo utilizando anel amostrador de aço inox para as três profundidades de solo coletadas (0-10; 10-20 e 20-30cm).

A amostragem da serrapilheira e do solo nas áreas estudadas foi realizada em duas etapas: a primeira no período seco (outubro e novembro de 2007) e a segunda no período chuvoso (abril e maio de 2008), sendo esta última na mesma parcela do período seco, visando avaliar a variação sazonal das variáveis relacionadas com a matéria orgânica e atividade dos microrganismos do solo.

3.3. Análises dos solos e serrapilheira

3.3.1. Fracionamento físico da serrapilheira

A serrapilheira foi separada por flotação em água, durante poucos minutos, para retirada de possível contaminação com solo ou fragmentos de rochas, e levada à estufa com ventilação forçada, sendo mantida à temperatura de 45°C até peso constante, para quantificação do peso seco de folheto por m². Logo após a secagem, as amostras de serrapilheira foram separadas manualmente em fração lenhosa e não-lenhosa, sendo cada fração pesada posteriormente. A massa seca total foi obtida pela soma das duas frações.

3.3.2. Análises físicas dos solos

As análises físicas incluíram determinações de densidade do solo pelo método do torrão parafinado, utilizado as amostras de solo indeformadas coletadas em campo e determinação da composição granulométrica pelo método do densímetro, sendo a fração areia separada por peneiramento (EMBRAPA, 1997).

3.3.3. Análises químicas dos solos

As análises químicas foram realizadas seguindo os métodos descritos pela EMBRAPA (1997): pH (1:2,5); determinação dos cátions trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺, extraídos com acetato de amônio a pH 7,0, dosando-se o Ca²⁺ e Mg²⁺ por espectrofotometria de absorção atômica e Na⁺ e K⁺ por fotometria de chama; H⁺+Al³⁺ extraídos com acetato de cálcio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹. A partir

dos valores de acidez potencial e bases trocáveis, calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC). O P disponível foi determinado pelo método de Bray-1, extraído com solução de HCl 0,025 mol L⁻¹ + NH₄F 0,03 mol L⁻¹ (Bray & Kurtz, 1945) e determinado por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974). A determinação do carbono orgânico total (COT) foi feita através de oxidação utilizando solução de dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹ e ácido sulfúrico concentrado, com aquecimento em bloco digestor (Yeomans & Bremner, 1988).

3.3.4. Fracionamento químico da MOS

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi executado com base na solubilidade em meio ácido e alcalino, utilizando-se 1g de TFSA e NaOH 0,1 mol L⁻¹ na relação solo:extrator de 1:20 p/v, separando-se as frações: ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (HUM), conforme método de Mendonça (2005) adaptado de Swift (1996), com posterior determinação do carbono orgânico em cada fração através da oxidação utilizando solução de dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹ e ácido sulfúrico concentrado, com aquecimento em bloco digestor (Yeomans & Bremner, 1988). O carbono humificado foi obtido a partir da soma de carbono das três frações.

3.3.5. Determinação do estoque de carbono nos solos

O estoque de carbono foi determinado utilizando-se o teor de carbono orgânico total, a densidade global do solo e a profundidade da camada de coleta. Em cada uma das camadas amostradas, foi estimado a partir da expressão:

$$\text{EstC} = (\text{C} \times \text{Ds} \times \text{e})/10$$

Em que:

EstC = Estoque de carbono em Mg ha⁻¹;

C = Carbono orgânico total em g kg⁻¹;

Ds = Densidade do solo do horizonte estudado em kg dm⁻³

e = Espessura da profundidade de coleta (cm).

3.3.6 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas apenas nas amostras de solo da camada de 0-10 cm, as quais foram mantidas em refrigeração até serem realizadas as seguintes determinações: Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e respiração basal, sendo o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) obtido pela razão entre a respiração basal do solo por unidade de C-BMS (Silva et al., 2007) e quociente microbiano ($q\text{MIC}$) obtido pela razão entre o C-BMS e o carbono orgânico total do solo.

Na determinação do C-BMS utilizou-se o método da irradiação-extração, que analisa a biomassa microbiana extraível em solução aquosa de K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. A irradiação de 20 g de solo foi feita utilizando-se um forno microondas doméstico (Swift, 1996). A irradiação, além de matar, rompe as células microbianas liberando o citoplasma para o meio, permitindo a determinação do C presente na amostra. A mesma quantidade de solo não foi irradiada, fazendo-se a extração direta com K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Para a estimativa de C foi utilizado o método colorimétrico (Bartlett & Ross, 1988), que utilizou o permanganato de potássio, em meio ácido, como agente oxidante. Foi determinada uma curva padrão de C e posterior leitura dos extratos das amostras irradiadas e não-irradiadas em espectrofotômetro para determinação do C.

Na determinação da respiração basal do solo foram tomadas amostras, em triplicata, de 25 g de solo, umedecendo-as até atingirem volume correspondente a 80% da capacidade de retenção de água do solo. As amostras umedecidas foram armazenadas e bem vedadas em potes de vidro juntamente com uma amostra de 25mL da solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Foi medido o CO_2 liberado pela respiração, o qual reagiu com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e foi titulado com HCl 1 mol L^{-1} , tendo como indicador a fenolftaleína, após 3 dias (72 horas) de incubação a $25\text{-}28^\circ\text{C}$. Foram mantidos frascos controle ou branco, que não continham amostra de solo. O cálculo foi feito baseado na diferença entre o volume de HCl consumido pelas amostras e pelo "branco" e expresso em $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

3.4. Análises estatísticas

Realizou-se, inicialmente, uma análise de estatística descritiva com enfoque no valor de medida central (média) e de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação) e o teste de aderência à distribuição de frequência Normal de Shapiro-Wilk, adotando-se o Programa STATISTICA 7.0 (2004). Na análise do coeficiente de variação, adotou-se o critério proposto por Warrick & Nielsen (1980), onde coeficientes são classificados em três níveis: baixo ($CV < 12\%$), médio ($12\% < CV < 62\%$) e alto ($CV > 62\%$). Em seguida, foi aplicado o teste t com o objetivo de avaliar o efeito da sazonalidade (período seco e chuvoso) nas variáveis analisadas, sendo o SAEG 9.1 (UFV, 2007) o software utilizado. Ainda foram empregadas técnicas de análise multivariada como ferramenta adicional, especificamente a Análise de Componentes Principais (STATISTICA 7.0, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fracionamento físico da serrapilheira

4.1.1. Estatística descritiva

Durante o período seco observou-se variação da serrapilheira total entre os ambientes com diferentes níveis de degradação. O valor médio da massa seca (MS) total no ambiente conservado foi superior ($10,94 \text{ Mg ha}^{-1}$) ao dos ambientes moderadamente degradado ($4,64 \text{ Mg ha}^{-1}$) e intensamente degradado ($0,73 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 2). Tal comportamento era esperado, uma vez que um dos principais indicativos de processo de degradação está na redução da vegetação do ambiente, logo, quanto menor a densidade de plantas, provavelmente menor será o estoque de serrapilheira sobre o solo.

Amorim et al. (2008), avaliando estoques de serrapilheira em área de caatinga hiperxerófila preservada, obtiveram valor médio de serrapilheira total de $7,04 \text{ Mg ha}^{-1}$, no município de Petrolina-PE.

Vitousek & Sanford (1986) comentam que, em florestas tropicais sobre solos de baixa fertilidade, a massa seca de resíduos orgânicos que formam a

serrapilheira gira em torno de $7,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto em solos de fertilidade média, essa produção é de $10,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Os coeficientes de variação das variáveis, de acordo com o critério adotado por Warrick & Nielsen (1980), foram classificados em médios e altos, o que pode ser explicado pela heterogeneidade do material avaliado.

Tabela 2. Estatística descritiva do fracionamento físico da serrapilheira correspondente aos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período seco, em Floresta, PE

Atributo	Ambiente	Medida estatística descritiva				
		X	s	CV	S-W	
					p	DF
Fração Lenhosa (Mg ha^{-1})	Conservado	5,83	11,96	205	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	1,94	3,35	173	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0,24	0,41	174	0,000	N-N
Fração Não-lenhosa (Mg ha^{-1})	Conservado	5,11	2,68	52	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	2,70	1,83	68	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0,49	0,45	92	0,000	N-N
Massa seca total (Mg ha^{-1})	Conservado	10,94	13,90	127	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	4,64	4,58	99	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0,73	0,72	99	0,000	N-N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; DF: Distribuição de frequência; N - atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$);

No fracionamento da serrapilheira em material lenhoso (galhos e cascas) e material não-lenhoso (folhas, flores, frutos, sementes e outros materiais vegetais), este último apresentou-se em maior quantidade nos ambientes moderadamente degradados e intensamente degradados durante o período seco (Figura 6). Provavelmente este comportamento é devido à menor quantidade de plantas arbóreas nestes ambientes, o que contribui para o menor volume de material lenhoso, superado pelo não lenhoso.

Souto (2006) afirma que as folhas normalmente constituem a maior proporção dos resíduos orgânicos que caem ao solo, seguida de cascas e galhos (material lenhoso) e, por último, a miscelânea (fragmentos de folhas, ramos, flores, frutos, sementes e outros materiais vegetais de difícil identificação, além de insetos ou partes destes e fezes).

Os valores da massa seca da fração lenhosa foram superiores aos da fração não-lenhosa no ambiente conservado durante o período seco, provavelmente pelo fato de que, neste ambiente, há maior presença de plantas arbóreas contribuindo para a maior presença de galhos e cascas (Tabela 2, Figura 6).

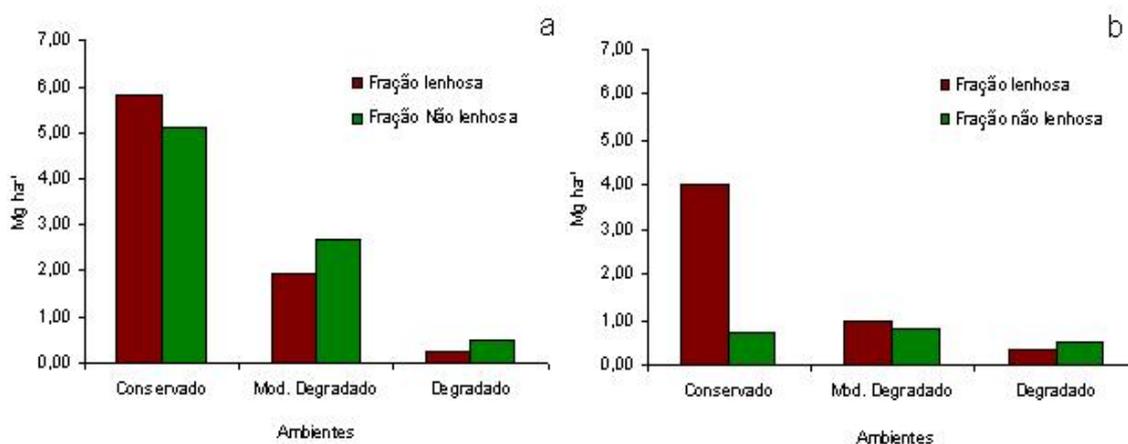


Figura 6. Fração lenhosa e não-lenhosa da serrapilheira (Mg ha⁻¹) dos ambientes conservado, moderadamente degradado e degradado durante o período seco (a) e chuvoso (b) no município de Floresta-PE.

Comportamento similar durante o período chuvoso pôde ser observado no ambiente conservado, quando se compara os valores médios da fração lenhosa e não-lenhosa da serrapilheira, sendo os valores da fração lenhosa superiores à fração não-lenhosa. Já no ambiente moderadamente degradado, as duas frações apresentaram valores médios próximos, assim como no ambiente intensamente degradado (Tabela 3, Figura 6). Amorim et al. (2008) afirmam que quase todo o material não-lenhoso é decomposto durante o período chuvoso (ou é consumido pelo gado) de forma que a amostragem no fim do período seco representa a queda anual desse material, enquanto o lenhoso não se decompõe totalmente em um ano e, portanto, fica acumulado por um período mais longo.

Camacho (2001) e Santana (2005) estimaram a queda de folheto em 1,72 e 2,07 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, em área de caatinga no seridó do Rio Grande do Norte, corroborando os valores médios da fração não lenhosa de serrapilheira encontrada neste trabalho nos ambientes conservado e moderadamente degradado, durante os períodos seco e chuvoso.

Tabela 3. Estatística descritiva do fracionamento físico da serrapilheira correspondente aos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período chuvoso, em Floresta, PE

Atributo	Ambiente	Medida estatística descritiva				
		X	s	CV	S-W	
					p	FN
Fração Lenhosa (Mg ha ⁻¹)	Conservado	4,01	5,83	145	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0,98	0,94	96	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0,35	0,46	133	0,000	N-N
Fração Não-lenhosa (Mg ha ⁻¹)	Conservado	0,73	1,00	137	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0,80	0,72	90	0,013	N
	Intensamente Degradado	0,52	0,52	100	0,108	N
Massa seca total (Mg ha ⁻¹)	Conservado	4,74	5,52	117	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	1,78	1,36	76	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0,86	0,83	97	0,000	N-N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; FN – frequência normal; N - atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$).

4.1.2. Comparação da serrapilheira entre os períodos de coleta (seco e chuvoso)

Comparando o estoque de serrapilheira entre os períodos de coleta (Tabela 4), foi observada diferença significativa para os ambientes conservado e moderadamente degradado, sendo a produção de serrapilheira superior durante o período seco, quando ocorre abscisão foliar e, conseqüentemente, maior acúmulo de material vegetal sobre o solo.

Por se tratar de uma floresta decídua, o maior estoque de serrapilheira ocorreu no fim do período seco (outubro e novembro/2007) e a menor quantidade após a estação chuvosa (abril e maio/2008). Os dados de precipitação pluviométrica do município de Floresta-PE confirmam a distinção dos períodos seco e chuvoso (Figura 7). Souto (2006), estudando a deposição de serrapilheira em uma caatinga arbustivo-arbórea, no agreste da Paraíba, obteve uma produção anual de 1,29 e 1,95 Mg ha⁻¹ em dois períodos de avaliação (outubro/2003 a setembro/2004 e outubro/2004 a setembro/2005 respectivamente) e observou que o período de maior deposição da serrapilheira nessa área de caatinga ocorreu no início da estação seca. Já Santana (2005), pesquisando o aporte anual de serrapilheira no Seridó do Rio

Grande do Norte, obteve uma produção de 2,07 Mg ha⁻¹ano⁻¹ sugerindo que é provável que a produção de serrapilheira na Caatinga não esteja apenas diretamente relacionada com os fatores climáticos, mas também ao comportamento decíduo e perene das espécies e à proporção destes grupos na população.

Tabela 4. Massa seca das frações lenhosa, não-lenhosa e total da serrapilheira (Mg ha⁻¹) dos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco e chuvoso, no município de Floresta-PE

Ambiente	Período		
	Seco	Chuvoso	
Conservado			
Fração Lenhosa	5,828	4,008	ns
Fração Não-lenhosa	5,109	0,732	*
Massa seca total	10,94	4,74	*
Moderadamente degradado			
Fração Lenhosa	1,942	0,985	ns
Fração Não-lenhosa	2,696	0,798	*
Massa seca total	4,64	1,78	*
Intensamente degradado			
Fração Lenhosa	0,238	0,346	ns
Fração Não-lenhosa	0,487	0,517	ns
Massa seca total	0,72	0,86	ns

*Diferença ao nível de significância de 5%; ns - Diferença não significativa (Teste t de Student)

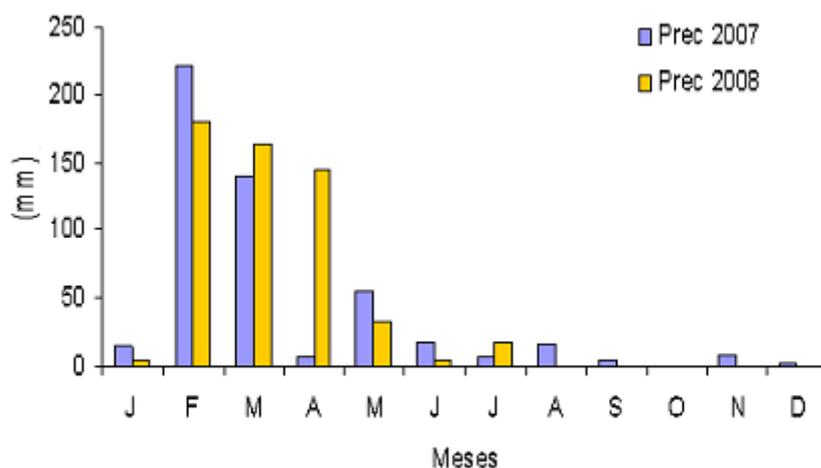


Figura 7. Dados de precipitação mensal dos anos de 2007 e 2008 no município de Floresta-PE. (Fonte: IPA, 2008).

Não houve diferença significativa para as frações de serrapilheira entre os períodos para o ambiente degradado, sendo o acúmulo de material vegetal reduzido devido à baixa densidade de espécies arbóreo-arbustivas e predominância de herbáceas no período chuvoso, em grande parte consumidas pelos rebanhos. Salcedo & Sampaio (2008) comentam que a produção de biomassa das herbáceas pode ser significativa em caatingas

baixas e abertas, exceto se estiverem em áreas degradadas ou com deficiências ambientais severas.

Os valores médios da fração lenhosa da serrapilheira não apresentaram diferença significativa em função do período para nenhum dos ambientes estudados (Tabela 4). A provável resposta para tal comportamento baseia-se no fato de que cascas e galhos apresentam decomposição lenta, não sendo possível detectar variação no espaço de tempo analisado. Porém, a fração não-lenhosa apresentou variação sazonal significativa nos ambientes conservados e moderadamente degradados, com maiores valores no período seco (Tabela 4).

No intervalo de seis meses entre épocas de amostragens, cerca de 57% da massa seca total da serrapilheira foi reduzida, principalmente pela decomposição, no ambiente conservado, sendo 86% de material não-lenhoso. A porcentagem de material consumido/decomposto neste intervalo no ambiente degradado foi mínima, uma vez que a fração não lenhosa foi superior no período chuvoso (Tabela 3).

No ambiente degradado, não houve diferença das frações lenhosa e não lenhosa entre os períodos seco e chuvoso. A fração não lenhosa foi superior nestas áreas, devido à predominância de espécies herbáceas, que apresentavam maior desenvolvimento no período chuvoso. A massa seca total apresentou mesmo comportamento da fração não lenhosa quando se compararam os dois períodos (Figura 8).

Souto (2006) afirma que a análise sazonal das variações na deposição da serrapilheira na Caatinga permite que se tenha o conhecimento de como a vegetação responde às variações físicas e químicas no meio, à distribuição e estoque dos nutrientes, além de entender as estratégias usadas pela vegetação na manutenção da sustentabilidade do ecossistema. A maior produção de serrapilheira na estação seca não é característica apenas da Caatinga, mas, segundo Vital (2002), outros ecossistemas como cerrado, matas ciliares e florestas estacionais semidecíduas apresentam também este comportamento.

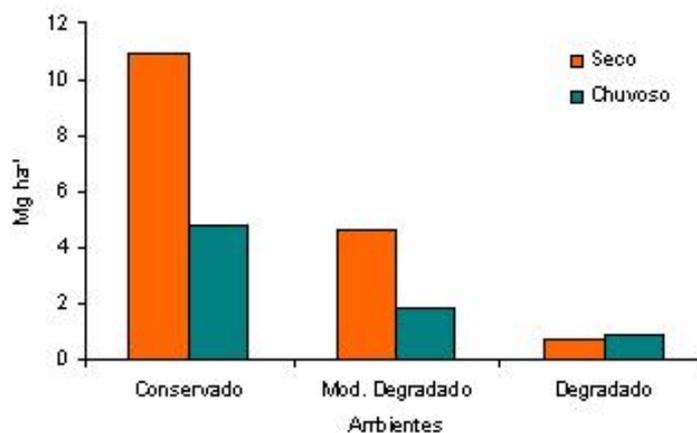


Figura 8. Massa seca total da serrapilheira (Mg ha^{-1}) dos ambientes conservado, moderadamente degradado e degradado durante o período seco e chuvoso no município de Floresta-PE.

4.2. Atributos físicos dos solos

A densidade do solo foi determinada para permitir o cálculo posterior do estoque de carbono dos solos, e as frações granulométricas, para auxiliar na interpretação do comportamento de variáveis químicas e microbiológicas.

A textura do solo dos ambientes estudados, basicamente não apresentou diferença significativa. No ambiente conservado e moderadamente degradado o solo apresentou textura média para a camada de 0-10 cm e textura argilosa para as camadas subsequentes (10-20 e 20-30 cm) (Tabela 5).

A densidade do solo não variou consideravelmente entre os ambientes estudados, apresentando valores crescentes a cada camada, como esperado, uma vez que o grau de adensamento aumenta com a profundidade. Galindo (2007) estudando o mesmo ambiente conservado em Floresta-PE obteve valores que variaram de 1,33 a 1,89 g cm^{-3} , o que condiz com os resultados obtidos.

Tabela 5. Granulometria e densidade dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado

Ambiente	Camada	Areia	Silte	Argila	Ds
	cm	g kg ⁻¹			g cm ⁻³
Conservado	0-10	531,15	131,62	337,23	1,65
	10-20	461,91	109,31	428,78	1,68
	20-30	439,53	100,11	460,36	1,80
Moderadamente Degradado	0-10	546,00	135,69	318,31	1,69
	10-20	472,66	131,56	395,77	1,74
	20-30	451,03	134,83	414,14	1,79
Intensamente Degradado	0-10	537,34	109,46	353,20	1,70
	10-20	473,11	124,06	402,83	1,75
	20-30	440,31	138,77	420,92	1,83

4.3. Atributos químicos dos solos

4.3.1. Estatística Descritiva

Os valores médios de cálcio e magnésio apresentaram variação em função da profundidade, podendo ser observado principalmente no ambiente moderadamente degradado (Tabela 6). Os elevados teores de Ca e Mg podem ser atribuídos à condição natural dos solos da região estudada, onde os mesmos apresentam-se pouco intemperizados, concentrando, desta forma, as bases trocáveis ao longo do perfil do solo.

O sódio e o potássio apresentaram comportamento inverso em função da profundidade, com valores médios crescentes para sódio e decrescentes para o potássio. O sódio apresenta tal distribuição, possivelmente, por estar ligado à fração argila do solo, uma vez que, nos solos estudados, o teor de argila aumentou com a profundidade (Tabela 6). Já os maiores valores médios de K podem estar ligados à contribuição dada pelo material orgânico sobre o solo, observando-se que o K é reduzido em função do nível de degradação nas camadas de 0-10 cm. Houve grande variação dos dados de Na e K, com coeficientes de variação altos, além deste comportamento, observou-se a não-normalidade presente em quase todas as camadas estudadas. Montezano et al (2006), estudando a variabilidade da fertilidade do solo em Planaltina – GO, observaram que a maioria dos atributos químicos do solo não apresentou ajuste a uma distribuição normal.

Tabela 6. Estatística descritiva dos atributos químicos do solo nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado durante o período seco nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm de profundidade

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
						p	FN
Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	11,21	3,99	36	0,009	N
		10-20	10,46	4,18	40	0,013	N
		20-30	16,11	6,40	40	0,495	N
	Moderadamente Degradado	0-10	11,28	4,52	40	0,036	N
		10-20	13,22	5,38	41	0,021	N
		20-30	16,04	4,79	30	0,204	N
	Intensamente Degradado	0-10	11,17	4,59	41	0,097	N
		10-20	15,88	5,74	36	0,090	N
		20-30	16,55	4,54	27	0,585	N
Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	8,58	7,69	90	0,000	N-N
		10-20	9,71	5,05	52	0,168	N
		20-30	9,57	4,38	46	0,623	N
	Moderadamente Degradado	0-10	5,50	2,67	49	0,018	N
		10-20	6,65	2,85	43	0,118	N
		20-30	7,25	2,64	36	0,350	N
	Intensamente Degradado	0-10	6,28	3,51	56	0,024	N
		10-20	8,21	4,19	51	0,105	N
		20-30	5,86	3,03	52	0,042	N
Na ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	0,10	0,09	91	0,000	N-N
		10-20	0,35	0,34	98	0,001	N-N
		20-30	0,65	0,52	80	0,025	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,12	0,13	107	0,000	N-N
		10-20	0,50	0,52	103	0,000	N-N
		20-30	0,82	0,66	80	0,007	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,33	0,43	131	0,000	N-N
		10-20	0,75	0,57	76	0,008	N-N
		20-30	1,00	0,79	79	0,006	N-N
K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	0,61	0,18	30	0,023	N
		10-20	0,22	0,12	52	0,053	N
		20-30	0,17	0,13	80	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,36	0,22	62	0,000	N-N
		10-20	0,13	0,04	34	0,124	N
		20-30	0,10	0,03	28	0,001	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,25	0,13	50	0,000	N-N
		10-20	0,10	0,06	57	0,000	N-N
		20-30	0,09	0,04	49	0,082	N
H + Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	1,78	0,63	35	0,884	N
		10-20	1,05	0,45	43	0,865	N
		20-30	1,13	0,45	39	0,688	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,26	0,23	89	0,012	N
		10-20	0,38	0,29	76	0,102	N
		20-30	0,50	0,40	79	0,111	N
	Intensamente Degradado	0-10	0,24	0,19	77	0,048	N
		10-20	0,19	0,29	152	0,000	N-N
		20-30	0,03	0,09	295	0,000	N-N

Tabela 6. (continuação)

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva					
			X	s	CV	S-W		
						p	FN	
COT (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	1,38	0,47	34	0,268	N	
		10-20	0,78	0,26	33	0,017	N	
		20-30	0,77	0,23	30	0,281	N	
	Moderadamente Degradado	0-10	1,09	0,34	31	0,003	N	
		10-20	0,80	0,19	24	0,012	N	
		20-30	0,72	0,16	22	0,527	N	
	Intensamente Degradado	0-10	0,58	0,20	34	0,203	N	
		10-20	0,59	0,19	31	0,600	N	
		20-30	0,52	0,20	39	0,594	N	
	Est C (Mg ha ⁻¹)	Conservado	0-10	21,68	6,91	32	0,624	N
			10-20	12,18	4,04	33	0,010	N
			20-30	13,05	3,57	27	0,553	N
Moderadamente Degradado		0-10	17,97	5,39	30	0,046	N	
		10-20	13,20	2,85	22	0,019	N	
		20-30	12,06	2,46	20	0,962	N	
Intensamente Degradado		0-10	9,70	3,33	34	0,409	N	
		10-20	10,14	3,54	35	0,336	N	
		20-30	9,06	3,77	42	0,129	N	
pH		Conservado	0-10	7,12	0,49	7	0,276	N
			10-20	6,54	0,54	8	0,164	N
			20-30	6,69	0,57	8	0,495	N
	Moderadamente Degradado	0-10	7,46	0,44	6	0,002	N	
		10-20	7,13	0,53	7	0,402	N	
		20-30	7,22	0,48	7	0,433	N	
	Intensamente Degradado	0-10	7,42	0,45	6	0,789	N	
		10-20	7,56	0,59	8	0,613	N	
		20-30	7,68	0,66	9	0,721	N	
	P (mg kg ⁻¹)	Conservado	0-10	5,55	3,07	55	0,000	N-N
			10-20	1,72	2,00	116	0,000	N-N
			20-30	1,01	0,42	42	0,190	N
Moderadamente Degradado		0-10	6,18	3,20	52	0,223	N	
		10-20	1,84	1,03	56	0,000	N-N	
		20-30	2,04	1,83	89	0,000	N-N	
Intensamente Degradado		0-10	6,09	7,03	116	0,000	N-N	
		10-20	1,01	1,03	101	0,002	N	
		20-30	1,41	2,14	152	0,000	N-N	
CTC _{pot} (cmol _c dm ⁻³)		Conservado	0-10	22,28	10,81	49	0,000	N-N
			10-20	21,79	9,12	42	0,049	N
			20-30	27,63	9,85	36	0,456	N
	Moderadamente Degradado	0-10	17,52	6,97	40	0,012	N	
		10-20	20,89	7,73	37	0,015	N	
		20-30	24,72	6,88	28	0,146	N	
	Intensamente Degradado	0-10	18,27	7,37	40	0,174	N	
		10-20	25,14	8,26	33	0,995	N	
		20-30	23,52	6,79	29	0,016	N	

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$); FN – frequência normal; N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$). COT – Carbono orgânico total (dag kg⁻¹); Est C – Estoque de carbono (Mg ha⁻¹) CTC_{pot} – Capacidade de troca de cátions potencial (cmol_c dm⁻³).

Já os valores médios da acidez potencial (H+Al) foram próximos para as camadas estudadas, tanto para o ambiente conservado como para o moderadamente degradado (Tabela 6). O ambiente intensamente degradado não apresentou distribuição normal nas camadas 10-20 e 20-30 cm e foi observada elevada variação entre os valores médios das camadas 0-10 e 10-20 cm (0,24 e 0,19 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) com a camada 20-30 cm (0,03 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) deste ambiente. Como o pH do solo está em torno de 7,0, pode-se afirmar que não há presença significativa de Al^{3+} na forma disponível e que a contribuição para a acidez potencial ocorreu, basicamente, através dos complexos orgânicos que liberaram íons H^+ para o meio.

O carbono orgânico total (COT) apresentou valores médios superiores na camada de 0-10 cm nos ambientes conservado e moderadamente degradado no período seco, este comportamento provavelmente é explicado em função do teor mais alto de matéria orgânica que, geralmente, ocorre nas camadas superficiais do solo, associado à presença da serrapilheira e também pela contribuição das raízes finas (Tabela 6).

No ambiente intensamente degradado foram observados valores médios semelhantes para todas as profundidades, o que confirma o grau de degradação deste ambiente, uma vez que o teor de COT pode ser usado como um indicador chave da qualidade do solo. Em todos os ambientes e em todas as profundidades, a distribuição foi normal e os valores de CV foram médios (Tabela 6).

Corrêa (2007) afirma que a quantidade de matéria orgânica de uma área serve de base para inferências sobre a qualidade do solo e, por isso, tem sido amplamente utilizada em estudos de sistemas agrícolas, principalmente em comparação com ambientes naturais e que a mesma apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos.

O estoque de carbono é um atributo calculado em função do COT e sugere, em unidade de massa por área, a capacidade do solo em armazenar carbono. Observou-se que esta capacidade foi maior nos solos dos ambientes conservados, possivelmente em função das melhores condições que estes oferecem para manutenção da matéria orgânica do solo (Tabela 6). Barreto (2005) afirma que a redução no aporte de carbono na camada superior, pode

ser promovida pela diminuição da adição de resíduos vegetais, condições que favoreçam o aumento da atividade microbiana, pelas perdas devido à erosão, entre outros fatores.

A retirada da vegetação nativa tem resultado em um declínio significativo da concentração de matéria orgânica do solo (Paustian et al., 2000; Lal, 2002). Além disto, há forte impacto ambiental com o aumento da emissão de gases do efeito estufa, especialmente CO₂, afirmaram Machado et al. (2004).

Os coeficientes de variação de ambos os atributos (COT e EstC) foram médios, variando entre 20 e 42% e a distribuição foi normal para todas as camadas de todos os ambientes, com exceção da camada de 0-10 cm do ambiente moderadamente degradado. Do mesmo modo, o pH apresentou distribuição normal dos dados e CV baixo para todas as camadas de todos os ambientes, com valores que variaram entre 6 e 9%, assim como observado por Montezano et al. (2006), que obtiveram coeficiente de variação baixo para o pH (3,54 %). A tendência do solo à alcalinidade foi confirmada pela discreta variação dos valores médios de pH nas camadas de solo de todos ambientes estudados (Tabela 6). Esta alcalinidade é reafirmada pelos baixos valores de acidez potencial, anteriormente comentados.

Durante o período chuvoso, observou-se comportamento similar quanto aos valores médios de Ca e Mg, permanecendo assim a variação em função da profundidade nos três ambientes estudados. Neste período, o Ca teve distribuição normal e coeficiente de variação médio, diferente do Mg, que não alcançou distribuição normal em algumas camadas (Tabela 7). Para estas variáveis, Montezano et al. (2006) encontraram valores médios dos coeficientes de variação. Os valores médios de Na e K apresentaram comportamento similar ao período seco, sendo crescente para Na e decrescente para K, ambos em função da profundidade do solo.

Foi verificada distribuição normal para o Na apenas na camada de 20-30 cm do ambiente conservado e, aliado a este comportamento, observaram-se elevados valores de CV, que variaram de 81 a 119% (Tabela 7).

Nas camadas de 10-20 cm dos ambientes moderadamente e intensamente degradados não foi detectada acidez potencial, logo, não houve como calcular as medidas estatísticas descritivas destas camadas. Os valores médios de COT nos ambientes estudados, no período chuvoso, também foram decrescentes em função da profundidade do solo (Tabela 7). Apenas a camada

0-10 cm no ambiente moderadamente degradado não teve distribuição normal dos dados. O CV variou entre 22 e 61% entre as camadas dos ambientes, podendo ser considerado valor médio. O Est C acompanhou o mesmo comportamento do COT para todas as medidas descritivas, como comentado anteriormente para o período seco.

Corrêa (2007), estudando atributos do solo em um perímetro irrigado na região semi-árida do Nordeste do Brasil, obteve valores médios para os coeficientes de variação e distribuição normal para as variáveis COT e EstC, que corroboram os resultados encontrados neste trabalho. De forma semelhante, Montezano et al. (2006) obtiveram valor médio do coeficiente de variação do COT.

O teor de P disponível decresceu em função da profundidade, tanto no período seco como no chuvoso (Tabelas 6 e 7). Mesmo comportamento pôde ser observado por Corrêa (2007) que, estudando solo sob diferentes usos e manejos em um perímetro irrigado na região semi-árida do Nordeste do Brasil, encontrou uma redução sucessiva de P disponível, com maiores valores na camada de 0-10 cm e redução nas demais camadas até 30-60 cm.

Valores de pH superiores a faixa de 6,0 e 6,5 e elevados teores de cálcio, como observado nas áreas estudadas, podem gerar problemas de indisponibilização de fósforo, em função da formação de compostos com o cálcio presente em maiores concentrações, além de deficiências de alguns micronutrientes, dificultando a produção vegetal.

Conforme observado nas diversas variáveis estudadas, a fertilidade não é o problema destes solos em comparação com solos mais intemperizados, como os Latossolos, por exemplo.

Tabela 7. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período chuvoso nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm de profundidade

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
						p	FN
Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	11,06	4,53	41	0,175	N
		10-20	15,87	5,41	34	0,015	N
		20-30	14,07	4,12	29	0,984	N
	Moderadamente Degradado	0-10	10,26	3,17	31	0,399	N
		10-20	14,21	3,97	28	0,199	N
		20-30	14,78	4,09	28	0,065	N
	Intensamente Degradado	0-10	13,32	4,41	33	0,288	N
		10-20	14,67	5,31	36	0,140	N
		20-30	14,20	5,14	36	0,211	N
Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	4,57	3,04	67	0,000	N-N
		10-20	8,05	4,18	52	0,004	N
		20-30	8,71	3,02	35	0,953	N
	Moderadamente Degradado	0-10	5,39	2,23	41	0,254	N
		10-20	8,33	6,45	77	0,000	N-N
		20-30	6,17	2,38	39	0,447	N
	Intensamente Degradado	0-10	5,80	3,01	52	0,113	N
		10-20	9,08	5,25	58	0,008	N
		20-30	4,53	3,57	79	0,000	N-N
Na ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	0,08	0,06	73	0,002	N-N
		10-20	0,24	0,27	114	0,000	N-N
		20-30	0,61	0,49	81	0,061	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,17	0,18	102	0,000	N-N
		10-20	0,51	0,49	97	0,000	N-N
		20-30	0,65	0,67	102	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,32	0,36	114	0,000	N-N
		10-20	0,62	0,74	119	0,000	N-N
		20-30	0,81	0,86	106	0,000	N-N
K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	0,48	0,14	29	0,409	N
		10-20	0,22	0,11	52	0,030	N
		20-30	0,13	0,07	58	0,006	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,30	0,08	28	0,087	N
		10-20	0,16	0,05	29	0,647	N
		20-30	0,10	0,05	47	0,776	N
	Intensamente Degradado	0-10	0,22	0,14	66	0,000	N-N
		10-20	0,10	0,06	60	0,051	N
		20-30	0,09	0,03	40	0,078	N
H + Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Conservado	0-10	2,22	0,63	28	0,135	N
		10-20	0,08	0,22	266	0,000	N-N
		20-30	0,32	0,35	111	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,64	0,39	61	0,006	N-N
		10-20	0,00	0,00	-	-	-
		20-30	0,07	0,17	255	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,39	0,26	66	0,065	N
		10-20	0,00	0,00	-	-	-
		20-30	0,09	0,19	216	0,000	N-N

Tabela 7. (continuação)

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
						p	FN
COT (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	1,40	0,66	47	0,193	N
		10-20	0,95	0,42	44	0,803	N
		20-30	0,72	0,33	46	0,283	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,94	0,51	54	0,000	N-N
		10-20	0,72	0,32	44	0,398	N
		20-30	0,53	0,32	61	0,070	N
	Intensamente Degradado	0-10	0,85	0,24	29	0,768	N
		10-20	0,71	0,17	24	0,799	N
		20-30	0,69	0,16	22	0,950	N
Est C	Conservado	0-10	23,16	11,97	52	0,165	N
		10-20	15,43	7,19	47	0,055	N
		20-30	11,78	5,25	45	0,119	N
	Moderadamente Degradado	0-10	15,64	8,46	54	0,000	N-N
		10-20	12,03	5,22	43	0,550	N
		20-30	8,97	5,43	61	0,082	N
	Intensamente Degradado	0-10	14,01	3,94	28	0,523	N
		10-20	11,96	2,81	24	0,464	N
		20-30	12,14	2,74	23	0,841	N
pH	Conservado	0-10	7,12	0,44	6	0,792	N
		10-20	6,71	0,48	7	0,375	N
		20-30	6,76	0,62	9	0,234	N
	Moderadamente Degradado	0-10	7,34	0,28	4	0,463	N
		10-20	6,79	0,38	6	0,813	N
		20-30	6,85	0,50	7	0,652	N
	Intensamente Degradado	0-10	7,40	0,31	4	0,221	N
		10-20	7,30	0,57	8	0,187	N
		20-30	7,53	0,73	10	0,216	N
P (mg kg ⁻¹)	Conservado	0-10	4,32	2,68	62	0,000	N-N
		10-20	1,09	0,92	85	0,000	N-N
		20-30	0,50	0,54	107	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	4,09	2,37	58	0,006	N
		10-20	2,02	3,80	188	0,000	N-N
		20-30	0,78	0,47	60	0,127	N
	Intensamente Degradado	0-10	4,21	4,38	104	0,000	N-N
		10-20	1,98	3,40	172	0,000	N-N
		20-30	0,65	0,45	70	0,004	N
CTC _{pot} (cmol _c dm ⁻³)	Conservado	0-10	18,40	7,24	39	0,020	N
		10-20	24,46	9,14	37	0,039	N
		20-30	23,83	6,92	29	0,733	N
	Moderadamente Degradado	0-10	16,76	4,88	29	0,119	N
		10-20	23,21	9,56	41	0,001	N
		20-30	21,76	6,50	30	0,643	N
	Intensamente Degradado	0-10	20,05	6,73	34	0,745	N
		10-20	24,47	9,29	38	0,505	N
		20-30	19,72	7,33	37	0,533	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (p<0,01); FN - frequência normal; N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (p<0,01). COT – Carbono orgânico total (dag kg⁻¹); Est C – Estoque de carbono (Mg ha⁻¹); CTC_{pot} – Capacidade de troca de cátions potencial (cmol_c dm⁻³).

4.3.2. Análise de Componentes Principais

Foram geradas duas componentes principais (CP1 e CP2) para os atributos químicos, tanto em função da profundidade como do período analisado. A partir destas componentes, foram determinados diagramas de ordenação bidimensionais para visualização dos grupos formados. Os atributos químicos dos ambientes estudados durante o período seco, na camada de 0-10 cm, formaram três grupos, que mesmo com pontos de sobreposição, tendem a se distinguir no diagrama de ordenação (Figura 9). Esta análise permite confirmar a influência dos atributos químicos, nesta camada superficial, em diferenciar os ambientes quanto ao nível de degradação existente.

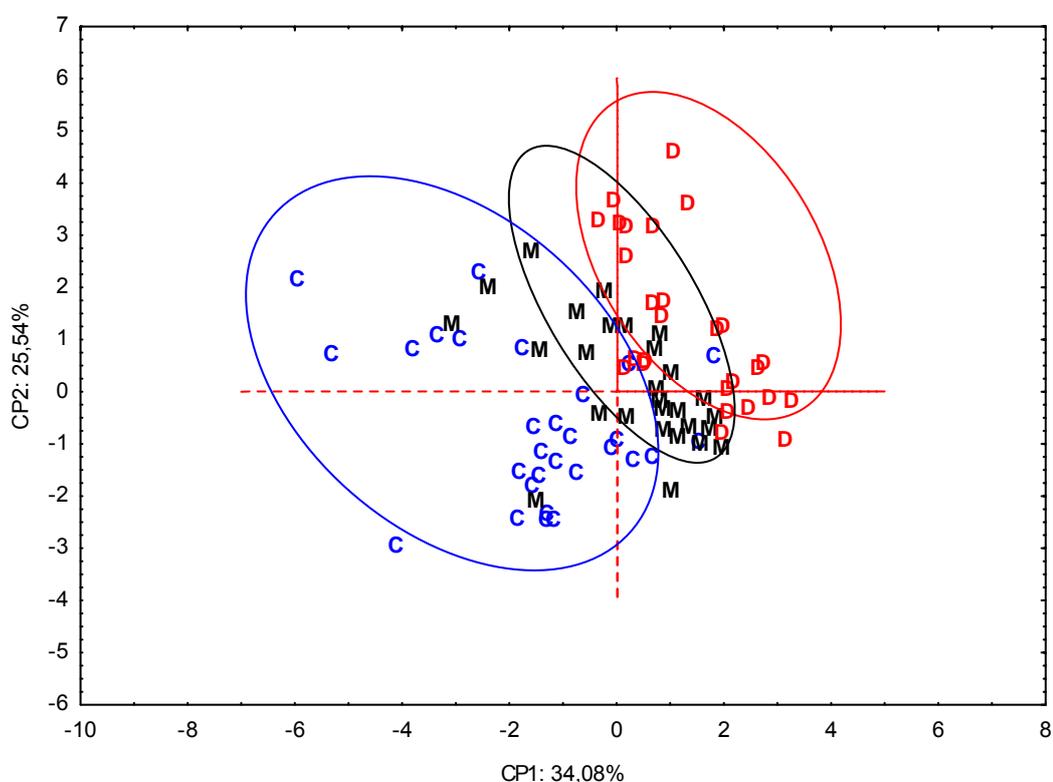


Figura 9. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 0-10 cm durante o período seco.

A CP1 formada explicou 34,08% da variação total dos atributos químicos do solo, sendo o pH, o sódio e o fósforo, as únicas variáveis que apresentaram correlação positiva, o que mostra que o aumento das mesmas segue os níveis crescentes de degradação (Tabela 8). O EstC, COT e a CTC potencial do solo apresentaram os maiores coeficientes de correlação negativa, indicando, desta forma que estes atributos decrescem em função do aumento da degradação.

Na CP2, 25,54% da variação dos atributos puderam ser explicados pela análise utilizada.

Para a camada de 10-20 cm de profundidade a análise de componentes principais não apresentou maior distinção entre os três ambientes estudados, podendo-se observar no diagrama de ordenação que há apenas uma discreta tendência de formação de grupos (Figura 10). Provavelmente, isto ocorreu pelo fato de que, na camada de 10-20 cm ainda há maior homogeneidade entre os solos dos ambientes estudados, já que os primeiros indicativos de degradação ocorrem na camada mais superficial do solo.

O cálcio e a CTC potencial foram as variáveis que mais influenciaram para a distinção dos ambientes em função do grau de degradação (-0,90 e -0,94, respectivamente) na CP1 (Tabela 8). O fósforo, o potássio e a acidez potencial apresentaram discreta correlação positiva com os níveis de degradação dos ambientes.

Tabela 8. Análise de componentes principais, utilizando-se atributos químicos para os ambientes: conservado, moderadamente degradado e degradado nas camadas 0-10; 10-20 e 20-30 cm, durante o período seco. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2)

Variáveis	Período Seco					
	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Est C	-0,78	-0,45	-0,34	-0,81	-0,85	-0,29
COT	-0,77	-0,49	-0,11	-0,86	-0,77	-0,44
CTC pot.	-0,77	0,60	-0,94	-0,20	-0,77	0,58
Mg ²⁺	-0,69	0,49	-0,68	-0,44	-0,76	0,30
H+Al	-0,67	-0,41	0,23	-0,66	-0,55	-0,56
Ca ²⁺	-0,56	0,67	-0,90	0,08	-0,59	0,71
K ⁺	-0,56	-0,37	0,42	-0,39	-0,45	-0,54
pH	0,01	0,55	-0,73	0,35	-0,02	0,79
Na ⁺	0,07	0,57	-0,47	0,19	-0,03	0,36
Fósforo	0,22	-0,37	0,46	-0,28	0,06	-0,06
% variância retida	34,08	25,54	34,71	24,59	33,67	25,76
% variância acumulada	34,08	59,62	34,71	59,30	33,67	59,43

As duas componentes principais explicam, em conjunto, 59,30% da variação dos atributos químicos na camada de 10-20 cm durante o período seco (Figura 10).

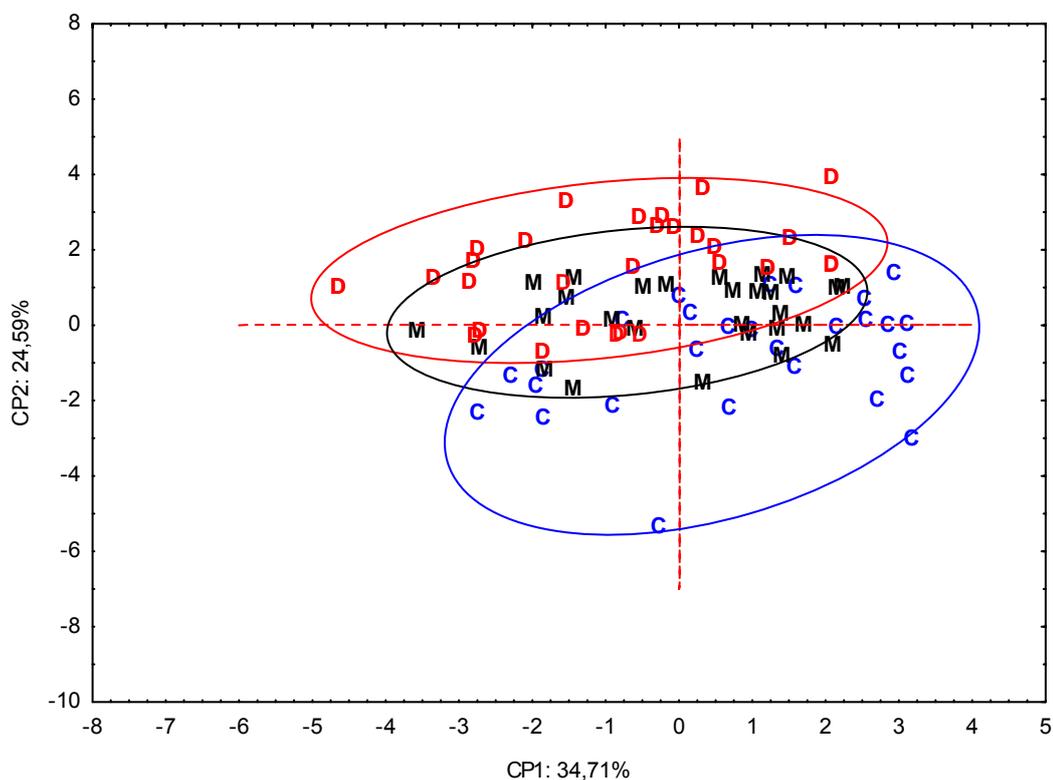


Figura 10. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 10-20 cm, durante o período seco.

O comportamento da camada de 10-20 cm pode ser observado, de forma mais intensa, para a camada de 20-30 cm, o que, provavelmente, indica que, em profundidade, os atributos químicos não possuem capacidade de diferenciar os ambientes com diferentes níveis de degradação no período seco (Figura 11). As duas componentes principais formadas explicaram 59,43% da variação dos atributos químicos avaliados. A CP1 apresentou como principais variáveis que influenciaram para a formação dos grupos, o EstC, COT, CTC potencial, Ca e Mg (Tabela 8). Apenas o fósforo apresentou coeficiente de correlação positiva.

Baretta et al. (2008), utilizando a análise de componentes principais para avaliar o potencial da diversidade de famílias de colêmbolos como bioindicadores da qualidade do solo, afirmaram que a ferramenta multivariada permite utilizar atributos químicos e microbiológicos do solo como variáveis ambientais explicativas, o que auxilia na interpretação dos dados ecológicos.

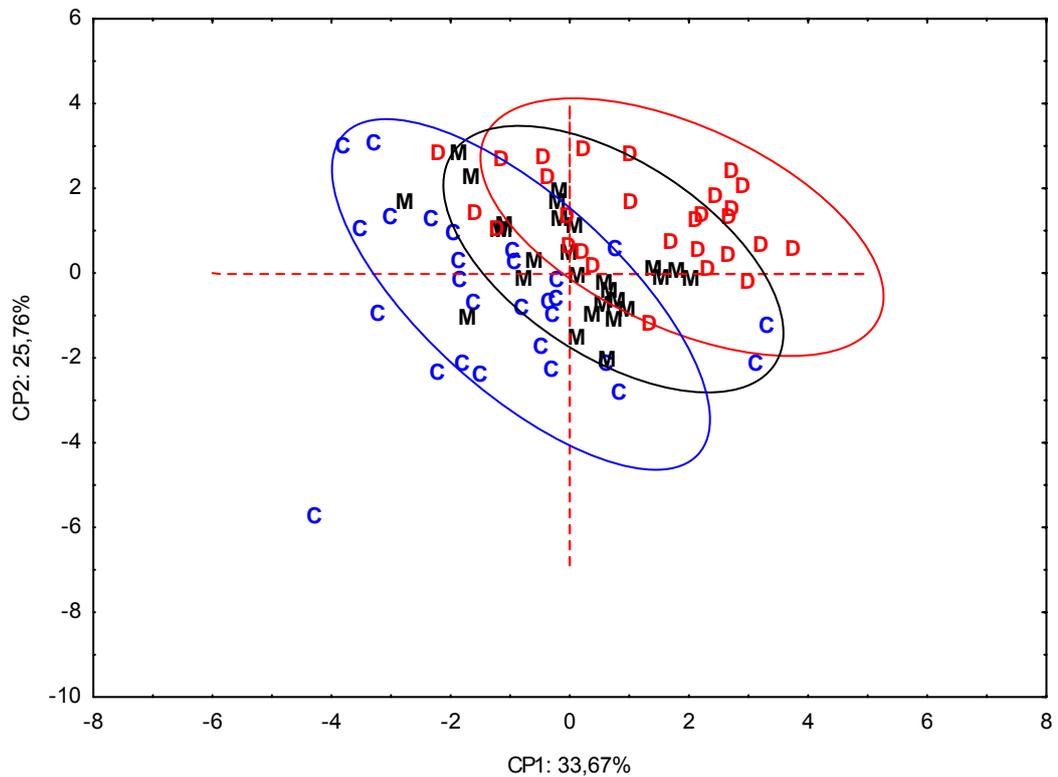


Figura 11. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 20-30 cm, durante o período seco.

Ao analisar os atributos químicos durante o período chuvoso, pode-se observar que as duas componentes principais explicam 56,94% da variação total dos atributos nesta camada (Tabela 9). O magnésio, a CTC potencial e o Ca foram as variáveis que apresentaram maiores correlações negativas desta primeira componente principal, indicando que estas variáveis diminuem com o aumento da degradação. A análise de componentes principais formou discretamente três grupos distintos no diagrama de ordenação bidimensional para a camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 12).

Tabela 9. Análise de componentes principais, utilizando-se atributos químicos para os ambientes: conservado, moderadamente degradado e degradado nas camadas 0-10; 10-20 e 20-30 cm, durante o período chuvoso. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2)

Variáveis	Período Chuvoso					
	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Mg ²⁺	-0,66	-0,56	-0,81	0,25	-0,80	0,11
CTC pot.	-0,61	-0,77	-0,96	0,10	-0,92	0,32
Ca ²⁺	-0,59	-0,67	-0,89	-0,12	-0,74	0,47
Na ⁺	-0,49	0,15	-0,35	0,38	-0,45	-0,06
pH	-0,48	-0,07	-0,59	0,17	-0,25	0,45
Fósforo	0,40	0,08	0,04	-0,05	0,48	-0,16
K ⁺	0,50	-0,46	0,25	-0,30	-0,21	-0,21
H+Al	0,54	-0,52	-0,25	0,17	-0,44	-0,45
COT	0,66	-0,55	-0,26	-0,94	-0,37	-0,81
Est C	0,67	-0,54	-0,32	-0,92	-0,42	-0,80
% variância retida	32,13	24,81	31,42	21,00	30,63	20,99
% variância acumulada	32,13	56,94	31,42	52,42	30,63	51,62

A análise de componentes principais aplicada às camadas de 10-20 e 20-30 cm de profundidade, durante o período chuvoso, apresentou comportamento similar tanto na formação do diagrama de ordenação (Figuras 13 e 14) como nos coeficientes de correlação gerados para explicar a influência dos atributos na distinção dos ambientes estudados (Tabela 9).

Em conjunto, os componentes principais dos atributos químicos na camada de 10-20 cm explicam 52,42% da variação total, e na camada de 20-30 cm esta porcentagem é reduzida para 51,62%, o que confirma a similaridade das CP1 e CP2 geradas com os dados originais dos atributos químicos do solo (Tabela 9).

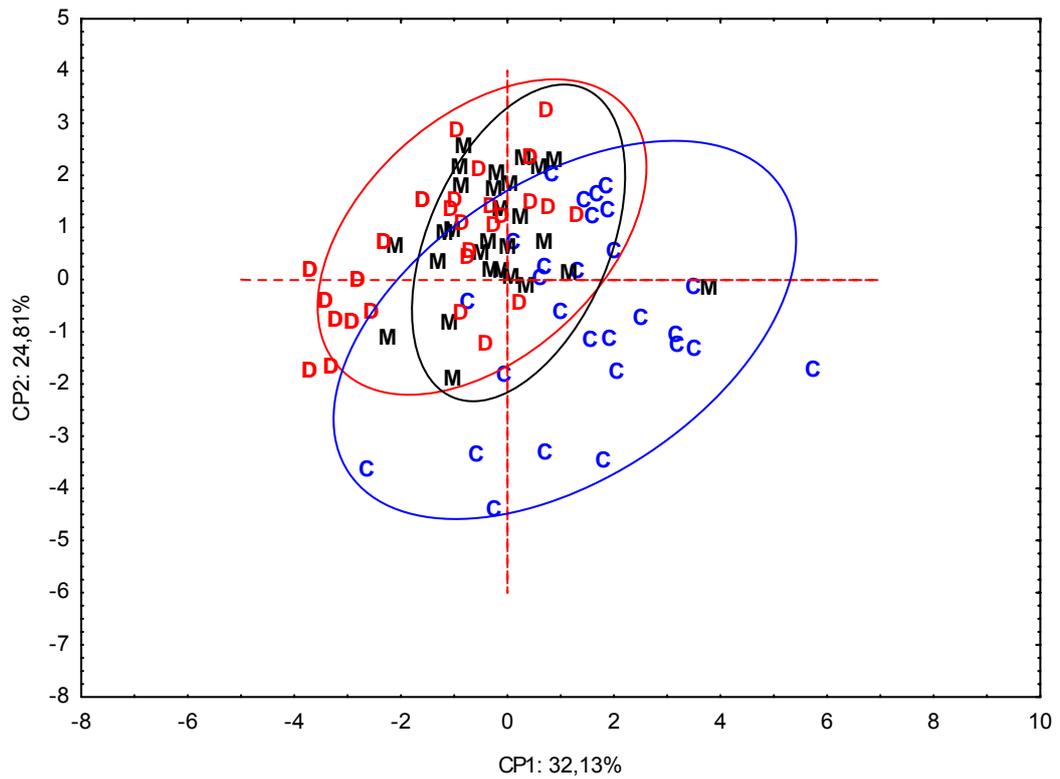


Figura 12. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 0-10 cm, durante o período chuvoso.

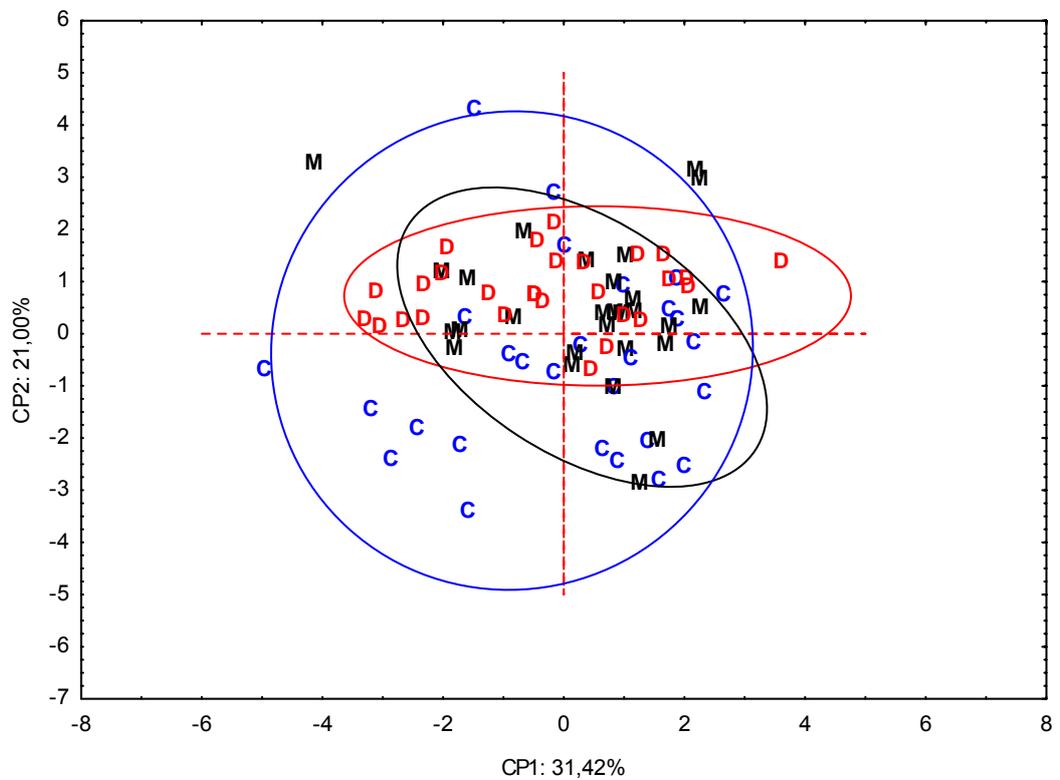


Figura 13. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 10-20 cm, durante o período chuvoso.

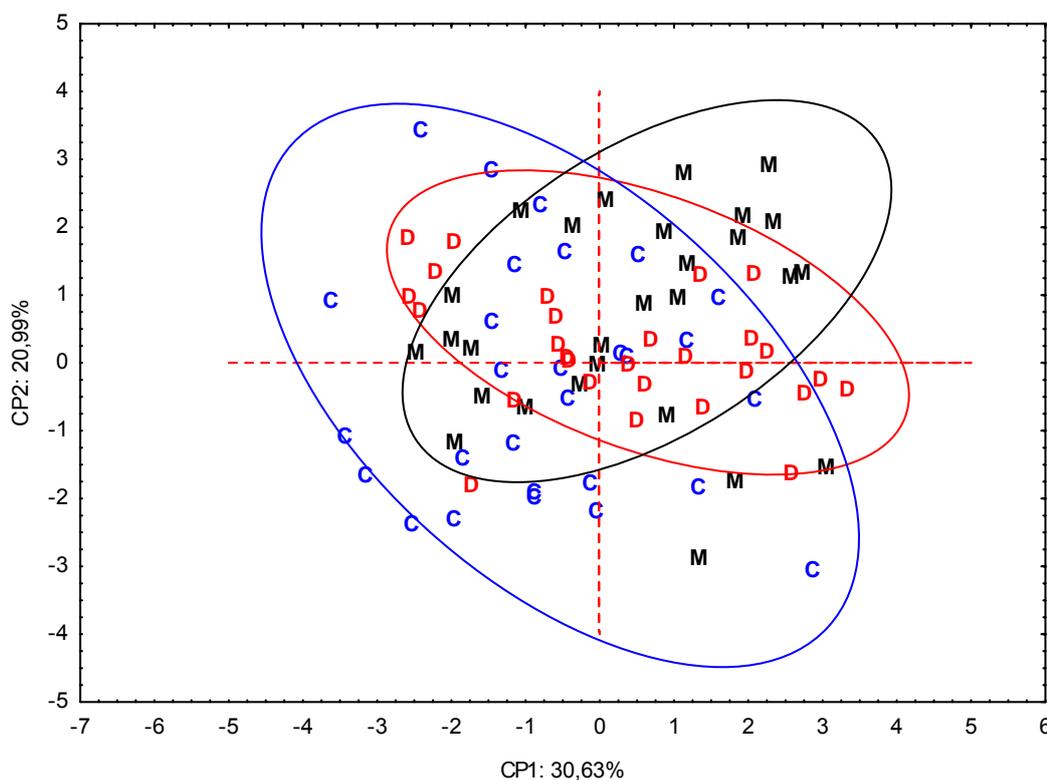


Figura 14. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), na profundidade de 20-30 cm, durante o período chuvoso.

4.3.3. Comparação dos atributos químicos entre os períodos de coleta (seco e chuvoso)

Observou-se discreto aumento do COT e Est C na camada superficial para o ambiente conservado e aumento significativo na camada de 10-20cm (Tabela 10). Este comportamento foi oposto ao do ambiente moderadamente degradado, que apresentou redução, embora não significativa estatisticamente, desses atributos, em todas as profundidades, entre os períodos seco e chuvoso. Lal (2002) afirma que a perda de carbono orgânico do solo, devido ao uso inadequado ou adoção de práticas de manejo que não favoreçam sua manutenção, pode causar declínio na qualidade do solo e provocar emissões de carbono na atmosfera.

Tiessen et al. (1992), em um Latossolo em Araripina, PE, encontraram perdas de até 40% do C do solo seis anos após o corte e queima da caatinga para o estabelecimento de cultivos agrícolas, observando, desta forma, que a substituição da vegetação nativa de caatinga por culturas agrícolas ocasiona expressivo decréscimo nos teores de carbono do solo. Logo, a redução da

vegetação das áreas em processo de degradação influencia fortemente para a diminuição dos teores de C.

Tabela 10. Comparação dos atributos químicos entre os períodos seco (out/2007) e chuvoso (abr/2008) nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, em Floresta-PE

Atributo	Camada	Ambientes								
		Conservado			Mod. Degradado			Degradado		
		Seco	Chuvoso		Seco	Chuvoso		Seco	Chuvoso	
COT (dag kg ⁻¹)	0-10	1,377	1,397	ns	1,092	0,944	ns	0,581	0,845	*
	10-20	0,781	0,947	*	0,764	0,743	ns	0,595	0,710	*
	20-30	0,767	0,715	ns	0,723	0,532	ns	0,723	0,532	*
Est C (Mg ha ⁻¹)	0-10	21,682	23,164	ns	17,974	15,644	ns	9,699	14,009	*
	10-20	12,177	15,433	*	12,622	12,575	ns	10,143	11,958	*
	20-30	13,051	11,781	ns	12,065	8,968	ns	12,065	8,968	*
pH	0-10	7,116	7,116	ns	7,464	7,339	ns	7,419	7,404	ns
	10-20	6,537	6,706	*	7,035	6,799	*	7,561	7,300	ns
	20-30	6,692	6,763	ns	7,217	6,848	ns	7,217	6,848	*
P (mg kg ⁻¹)	0-10	5,550	4,322	ns	6,178	4,088	*	6,087	4,207	ns
	10-20	1,719	1,087	ns	1,471	0,846	ns	1,013	1,981	ns
	20-30	1,012	0,502	*	2,044	0,781	ns	2,044	0,781	*
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0-10	11,215	11,058	ns	11,282	10,256	ns	11,170	13,319	*
	10-20	10,460	15,867	*	11,919	14,483	ns	15,883	14,674	ns
	20-30	16,111	14,070	*	16,037	14,777	ns	16,037	14,777	ns
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0-10	8,575	4,575	*	5,500	5,393	ns	6,277	5,803	ns
	10-20	9,709	8,052	*	6,409	7,073	ns	8,210	9,082	ns
	20-30	9,568	8,714	ns	7,255	6,167	ns	7,255	6,167	*
Na (cmol _c dm ⁻³)	0-10	0,098	0,076	ns	0,119	0,172	ns	0,325	0,316	ns
	10-20	0,350	0,235	ns	0,192	0,316	ns	0,752	0,619	ns
	20-30	0,655	0,608	ns	0,821	0,654	ns	0,821	0,654	ns
K (cmol _c dm ⁻³)	0-10	0,607	0,477	*	0,358	0,297	ns	0,252	0,217	*
	10-20	0,224	0,219	ns	0,126	0,156	*	0,105	0,098	ns
	20-30	0,166	0,125	ns	0,104	0,097	ns	0,104	0,097	ns
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	0-10	1,783	2,216	*	0,257	0,643	*	0,242	0,391	*
	10-20	1,047	0,084	*	0,395	0,000	*	0,194	0,000	*
	20-30	1,130	0,317	*	0,502	0,067	ns	0,502	0,067	*
CTC _{pot} (cmol _c dm ⁻³)	0-10	22,278	18,402	*	17,517	16,762	ns	18,266	20,046	ns
	10-20	21,790	24,458	ns	17,700	22,592	ns	25,143	24,473	ns
	20-30	27,629	23,834	*	24,719	21,763	ns	24,719	21,763	*

* Diferença ao nível de significância de 5%; ns Diferença não significativa (Teste t de Student)

Quantificando o tempo médio de permanência da matéria orgânica em solos de pradarias no Canadá e em um Latossolo em Araripina, PE, Tiessen et

al. (1994) observaram que na pradaria o cultivo agrícola era economicamente viável por um período de 65 anos após a remoção da vegetação nativa, enquanto que, após a remoção da caatinga, o cultivo agrícola já não era mais economicamente viável após seis anos.

Por outro lado, no presente estudo, foi observado aumento significativo do COT e EstC até a profundidade de 20 cm, no ambiente degradado. Este aporte de C ao solo no período chuvoso deveu-se, provavelmente, ao crescimento de herbáceas, que encerram seu ciclo rapidamente, contribuindo para um significativo aumento do teor de C, principalmente devido a decomposição de raízes finas. Salcedo et al. (1999) observaram que estoques de raízes até 5 mm de espessura e até 30 cm de profundidade variaram de 3 a 8 Mg ha⁻¹. O predomínio de gramíneas na estação chuvosa, especialmente o capim panasco (*Aristida sp.*) nestes sítios degradados, foi observado por Galindo (2007).

Nos ambientes moderadamente e intensamente degradados, observou-se redução do pH no período chuvoso, significativo apenas para as camadas de 10-20cm e de 20-30cm, nas áreas moderadamente degradada e intensamente degradada, respectivamente (Tabela 10). No ambiente conservado, o pH apresentou aumento significativo no período chuvoso, na camada de 10-20cm, devido ao aumento do teor de Ca nesta profundidade.

A acidez potencial aumentou significativamente na camada superficial (0-10 cm), durante o período chuvoso para os três ambientes, provavelmente devido à remoção de bases pelas enxurradas, aliado a maior decomposição da MOS, que libera prótons na solução do solo.

De modo geral, devido à erosão e ao aumento da demanda da vegetação por nutrientes, houve redução dos teores de Mg, Ca e K no período chuvoso, em todos os ambientes, com exceção do Ca, que aumentou significativamente na camada de 0-10 cm do ambiente degradado (Tabela 10). O Ca é o cátion dominante no complexo sortivo, com teores mais altos em profundidade. No ambiente mais degradado, a severa erosão hídrica vem removendo as camadas superficiais do solo, expondo a camada subsuperficial, mais rica em Ca. Esse fato foi observado por Galindo (2007), que constatou a remoção total do horizonte A dos perfis de algumas das áreas mais severamente degradadas em Floresta-PE.

A CTC_{pot} aumentou com a profundidade nos três ambientes (Tabela 10), provavelmente devido ao maior teor de argila de alta atividade (Galindo, 2007). No período chuvoso, houve diminuição da CTC_{pot} , devido à remoção das bases já referida acima. No ambiente degradado, a erosão removeu a camada superficial, expondo a camada subsuperficial, mais rica em Ca e argila expansível. Isso justifica o aumento da CTC neste ambiente.

Os teores de P diminuíram em profundidade em todos os ambientes (Tabela 10), provavelmente devido a este elemento se concentrar mais na parte superficial do solo em função da sua baixa mobilidade (Centurion et al., 1985; Rheinheimer & Anghinoni, 2001). Outra justificativa para tal comportamento pode vir da formação de precipitados de fosfato de cálcio de baixa solubilidade, ocasionado, principalmente, em função do pH do solo. Fageria (1984) afirma que a disponibilidade de P é extremamente dependente do pH do solo e que o valor de pH em que ocorre maior disponibilidade de P em solos de cerrado está em torno de 6,0.

4.4. Fracionamento químico da MOS

4.4.1. Estatística descritiva

Durante o período seco, os valores médios do carbono presente na fração ácidos fúlvicos (C-FAF) da matéria orgânica do solo apresentaram comportamentos diferentes para os três ambientes estudados, sendo o ambiente moderadamente degradado o que apresentou menor valor médio e o ambiente degradado maior valor (Tabela 11). A variação dos valores de carbono de cada fração da matéria orgânica do solo dentro de cada ambiente pode ser observada pelos coeficientes de variação (CV) altos apresentados e pela distribuição não normal dos dados.

O carbono presente na fração humina (C-HUM) apresentou valores médios que decresceram em função do grau de degradação, variando de 0,90 dag kg⁻¹ para áreas conservadas a 0,36 dag kg⁻¹ em áreas degradadas (Tabela 11). Este comportamento é esperado, uma vez que a fração humina da MOS representa a parte mais recalcitrante das substâncias húmicas e está ligada a fração mineral do solo, podendo assim ainda ser detectada, uma vez que as frações ácidos fúlvicos e húmicos não apresentam tal comportamento. Provavelmente, isso ocorreu porque os ácidos fúlvicos apresentam solubilidade

tanto em meio ácido como em meio alcalino e rapidamente esta fração é carregada pela água da chuva, assim como os ácidos húmicos que, mesmo apresentando solubilidade apenas em meio alcalino, podem ser carregados pelo fato dos solos dos ambientes estudados apresentarem valores de pH de neutros a alcalinos. Benites et al. (2003) afirmam que os ácidos fúlvicos são os compostos de maior solubilidade das substâncias húmicas por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular e são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo. Já os ácidos húmicos são os compostos húmicos responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos.

Tabela 11. Estatística descritiva do fracionamento químico da MOS dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
					p		FN
C – FAF (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	0,0382	0,1127	295	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,0007	0,0038	529	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,2534	0,6169	243	0,000	N-N
C – FAH (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	0,2777	0,4736	171	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,0021	0,0114	529	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,0254	0,1121	442	0,000	N-N
C – HUM (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	0,9016	0,4109	46	0,132	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,6065	0,2402	40	0,593	N
	Intensamente Degradado	0-10	0,3561	0,1178	33	0,327	N
C – Humificado (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	1,2174	0,6549	54	0,003	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,6093	0,2385	39	0,588	N
	Intensamente Degradado	0-10	0,6349	0,6294	99	0,000	N-N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; FN – frequência normal; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$); C-FAF – C-Fração Ác. Fúlvico (dag kg⁻¹); C-FAH – C-Fração Ác. Húmico (dag kg⁻¹); C-HUM – C-Fração Humina (dag kg⁻¹).

Os valores de C-FAF e C-FAH foram muito baixos durante o período chuvoso (Tabela 12), podendo-se observar que o C-FAF foi nulo nos ambientes conservado e degradado e isso pode indicar a rápida decomposição dos resíduos neste período, pelo discreto aumento do C-HUM no intervalo de coleta. Esta fração apresentou uma redução dos valores médios em função do nível de degradação dos ambientes, o que é esperado, uma vez que parte da fração humina é formada a partir da insolubilização de polissacarídeos oriundos da biodegradação microbiana, logo, quanto mais biologicamente ativo for o ambiente, maior será a contribuição da fração humina para a MOS (Monrozier & Duchaufour, 1986).

Tabela 12. Estatística descritiva do fracionamento químico da MOS dos solos correspondentes aos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período chuvoso

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	S	CV	S-W	
						p	FN
C – FAF (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	0,0000	0,0000	*	*	*
	Moderadamente Degradado	0-10	0,0218	0,1155	529	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,0000	0,0000	*	*	*
C – FAH (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	0,0105	0,0516	491	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,0487	0,1652	339	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,3876	0,5975	154	0,000	N-N
C – HUM (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	1,1111	0,5159	46	0,491	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,7005	0,3090	44	0,123	N
	Intensamente Degradado	0-10	0,4559	0,2343	51	0,344	N
C – Humificado (dag kg ⁻¹)	Conservado	0-10	1,1216	0,5248	47	0,552	N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,7711	0,3491	45	0,060	N
	Intensamente Degradado	0-10	0,8435	0,5941	70	0,000	N-N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; FN – frequência normal; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (p<0,01); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (p<0,01); C-FAF – C-Fração Ác. Fúlvicos (dag kg⁻¹); C-FAH – C-Fração Ác. Húmicos (dag kg⁻¹); C-HUM – C-Fração Huminas (dag kg⁻¹).

4.4.2. Comparação do fracionamento químico da MOS entre os períodos de coleta (seco e chuvoso)

O C presente nas frações da MOS no ambiente conservado apresentou diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso, sendo superior no período seco em todas as frações (Tabela 13). O carbono da fração ácidos fúlvicos (C-FAF) reduziu durante o período chuvoso, provavelmente em função da sua elevada solubilidade, sendo assim mais facilmente carregado. A redução do carbono da fração ácidos húmicos (C-FAH) do período seco para o chuvoso pode ser explicado em função da decomposição da matéria orgânica do solo, já que o aumento da umidade acelera o processo de humificação, que contribui para a transformação destas frações. Este comportamento é confirmado pelo aumento do C-HUM neste ambiente, uma vez que esta fração apresenta-se como a mais recalcitrante e sempre ligada à fração mineral do solo.

No ambiente moderadamente degradado não houve diferença estatística entre os períodos seco e chuvoso para o carbono das frações húmicas do solo. Apenas o C-humificado apresentou aumento significativo do período seco para o chuvoso, devido ao aumento da intensidade de decomposição da MOS com a maior disponibilidade hídrica.

No ambiente intensamente degradado, as frações C-FAF e C-HUM apresentaram comportamento semelhante ao do ambiente conservado, com redução do C-FAF e aumento do C-HUM, ambos significativos, no período chuvoso (Tabela 13). O aumento significativo do C-FAH no período chuvoso, não observado no ambiente conservado, pode ser explicado pela decomposição dos resíduos (raízes) da vegetação herbácea, mais intensa no final do período chuvoso.

Tabela 13. Comparação do fracionamento químico da MOS entre os períodos seco (out/2007) e chuvoso (abr/2008) no ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, em Floresta-PE

Atributo	Camada	Período		
		Seco	Chuvoso	
----- dag kg ⁻¹ -----				
Ambiente Conservado				
C – FAF	0-10	0,038	0,000	*
C – FAH	0-10	0,278	0,011	*
C – HUM	0-10	0,902	1,111	*
C – Humificado	0-10	1,217	1,122	ns
Ambiente Moderadamente degradado				
C – FAF	0-10	0,001	0,022	ns
C – FAH	0-10	0,002	0,049	ns
C – HUM	0-10	0,606	0,701	ns
C – Humificado	0-10	0,609	0,771	*
Ambiente Intensamente Degradado				
C – FAF	0-10	0,253	0,000	*
C – FAH	0-10	0,025	0,388	*
C – HUM	0-10	0,356	0,456	*
C – Humificado	0-10	0,635	0,843	ns

* Diferença ao nível de significância de 5%; ^{ns} Diferença não significativa (Teste t de Student)

4.5. Análises microbiológicas

4.5.1. Estatística descritiva

A taxa de respiração basal do solo no ambiente conservado apresentou valores médios superiores aos ambientes moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco (3,25 CO₂(mg)/kgSS/hora) (Tabela 14). Estes valores podem indicar que no ambiente conservado a atividade microbiológica é maior, uma vez que a decomposição da matéria orgânica é intensa, mas também podem ser um indicativo de áreas com algum tipo de distúrbio ecológico, pois elevados valores de respiração basal podem indicar desequilíbrio no sistema em função de alguma interferência (Tótola & Chaer, 2002).

Durante o período seco, o C-biomassa microbiana do solo (C-BMS) nas áreas conservadas (332,83 mg kg⁻¹ C de solo) também apresentou valores médios superiores ao das áreas moderadamente degradadas e intensamente degradadas, que apresentaram médias de 109,65 e 64,32 mg kg⁻¹ C de solo, respectivamente (Tabela 14). Este comportamento, provavelmente, ocorreu devido ao fato de que a diversidade e atividade biológica em áreas

conservadas são maiores que em áreas que estão em processo de degradação.

Moraes et al. (2007), estudando diferentes sistemas de manejo na Reserva de Poço das Antas – RJ, obtiveram valores próximos aos encontrados para as áreas conservadas, sendo 217,92; 351,88 e 288,53 mg kg⁻¹ C do solo para áreas de floresta, plantio e pastagem, respectivamente. Porém este estudo concluiu que o C-BMS não foi eficiente em detectar efeitos deletérios nos diferentes usos do solo, provavelmente pelo fato de não ter havido uma redução significativa no teor de matéria orgânica nestas áreas nos últimos 30 anos. Considerando-se que a biomassa microbiana é um constituinte da matéria orgânica do solo, a quantificação da porcentagem de C microbiano em relação ao C orgânico, conhecida como quociente microbiano (*qMIC*), permite acompanhar, de forma mais rápida, as perturbações sofridas pelo desequilíbrio ecológico e variações no total de matéria orgânica ocasionadas pelo manejo do solo, apresentando maior sensibilidade às mudanças que os parâmetros físico-químicos (Alvarez et al., 1995; Cattelan & Vidor, 1990). Este quociente, nas áreas conservadas, durante o período seco, apresentou valor médio superior ao das áreas moderadamente degradadas e intensamente degradadas no mesmo período (Tabela 14).

Tabela 14. Medidas estatísticas descritivas de atributos microbiológicos dos solos nos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
					p		FN
Resp. Basal (CO ₂ (mg)/kgSS/hora)	Conservado	0-10	3,25	1,36	42	0,297	N
	Moderadamente Degradado	0-10	1,99	1,64	82	0,006	N
	Intensamente Degradado	0-10	2,12	0,94	44	0,754	N
C-BMS (mg kg ⁻¹)	Conservado	0-10	332,83	169,92	51	0,139	N
	Moderadamente Degradado	0-10	109,65	50,42	46	0,473	N
	Intensamente Degradado	0-10	64,32	34,36	53	0,064	N
qMIC (%)	Conservado	0-10	2,58	1,23	48	0,291	N
	Moderadamente Degradado	0-10	1,02	0,34	33	0,576	N
	Intensamente Degradado	0-10	1,17	0,60	51	0,156	N
qCO ₂ (mg CO ₂ mg ⁻¹ CMS dia ⁻¹)	Conservado	0-10	0,01	0,01	80	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,02	0,02	111	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,04	0,03	61	0,031	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (p<0,01); FN – frequência normal N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (p<0,01); Resp. Basal - Respiração basal do solo (CO₂(mg)/kgSS/hora); C-BMS - Carbono da biomassa microbiana do solo (mg kg⁻¹); qMIC - quociente micrbiano (%); qCO₂ - Quociente metabólico (mg CO₂ mg⁻¹ CMS dia⁻¹).

Alvarenga et al. (1999) obtiveram valores de qMIC que variaram de 3,08 no cerrado até 1,34 em pasto nativo, estando de acordo com a porcentagem proposta por Jenkinson & Ladd (1981), que consideram normal que 1 a 4% do carbono total do solo corresponda ao componente microbiano. Cattelan & Vidor (1990), em solos sujeitos a diferentes sistemas de cultivo, encontraram valores da relação C-BMS/ COT entre 1 a 2%, condizendo com os resultados encontrados para o ambiente conservado e moderadamente degradado do presente estudo.

O quociente metabólico (qCO₂) das áreas conservadas apresentou valor médio menor que o das áreas moderadamente degradadas e intensamente

degradadas durante o período seco (Tabela 14). Em geral, um baixo quociente metabólico indica economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (Sakamoto & Obo, 1994).

Mao et al. (1992) afirmam que o quociente metabólico do solo apresenta uma tendência de declínio conforme as florestas se tornam mais complexas em estrutura e composição sugerindo que, quanto maior a complexidade dos sistemas, maior é a eficiência na renovação do C microbiano, com importantes implicações para o funcionamento do ecossistema, uma vez que uma pequena parte do C alocado no solo é perdida através da respiração, e fica retido como MOS ou biomassa vegetal.

Durante o período chuvoso, os valores médios para a taxa de respiração basal do solo apresentaram a mesma ordem decrescente em função dos ambientes conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado (Tabela 15). Os valores médios de C-BMS e q_{MIC} também decresceram em função do nível de degradação do ambiente.

Não se observou diferenciação entre os valores médios de q_{CO_2} nos ambientes estudados (Tabela 15). Durante o período chuvoso, as condições ambientais para melhor desenvolvimento da microbiota tornam-se evidentes, logo as áreas degradadas tendem a apresentar comportamento mais próximo ao das áreas conservadas, uma vez que os organismos, como mecanismo de defesa, liberam quantidade mínima de CO_2 , reservando assim energia (Wardle, 1994).

Tabela 15. Medidas estatísticas descritivas de atributos microbiológicos dos solos correspondentes aos ambientes conservado, moderadamente degradado e degradado durante o período chuvoso

Atributo	Ambiente	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
						p	FN
Resp. Basal (CO ₂ (mg)/kgSS/hora)	Conservado	0-10	3,31	1,53	46	0,168	N
	Moderadamente Degradado	0-10	1,86	1,01	54	0,436	N
	Intensamente Degradado	0-10	1,31	1,07	82	0,000	N-N
C-BMS (mg kg ⁻¹)	Conservado	0-10	199,26	112,15	56	0,352	N
	Moderadamente Degradado	0-10	135,86	91,59	67	0,001	N
	Intensamente Degradado	0-10	67,17	34,44	51	0,102	N
qMIC (%)	Conservado	0-10	1,60	1,30	82	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	1,59	1,14	71	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,79	0,38	48	0,924	N
qCO ₂ (mg CO ₂ mg ⁻¹ CMS dia ⁻¹)	Conservado	0-10	0,03	0,03	113	0,000	N-N
	Moderadamente Degradado	0-10	0,02	0,02	106	0,000	N-N
	Intensamente Degradado	0-10	0,03	0,02	78	0,003	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; p – probabilidade; FN – frequência normal; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,01$); Resp. Basal - Respiração basal do solo (CO₂(mg)/kgSS/hora); C-BMS - Carbono da biomassa microbiana do solo (mg kg⁻¹); qMIC - quociente microbiano (%); qCO₂ - Quociente metabólico (mg CO₂ mg⁻¹ CMS dia⁻¹).

4.5.2. Análise de componentes principais

Para os atributos microbiológicos, durante o período seco, foram formadas duas componentes principais que, em conjunto, explicam 60,62% da variância total destas variáveis do solo (Figura 15). Na CP1 pode-se observar que as principais variáveis que influenciaram para a distinção dos ambientes estudados foram: C-BMS, C-HUM, COT, C-Humificado, qMIC e respiração basal, apresentando correlações negativas, significando que quanto maior é o grau de degradação do ambiente menores são os valores destas variáveis. Através do qCO₂ não foi possível diferenciar os ambientes em diferentes níveis

de degradação, em função do coeficiente de correlação positivo (0,45) (Tabela 16). A CP2 explicou apenas 16,29% da variância total dos dados, não apresentando desta forma grande influência sobre a diferenciação dos ambientes (Tabela 16).

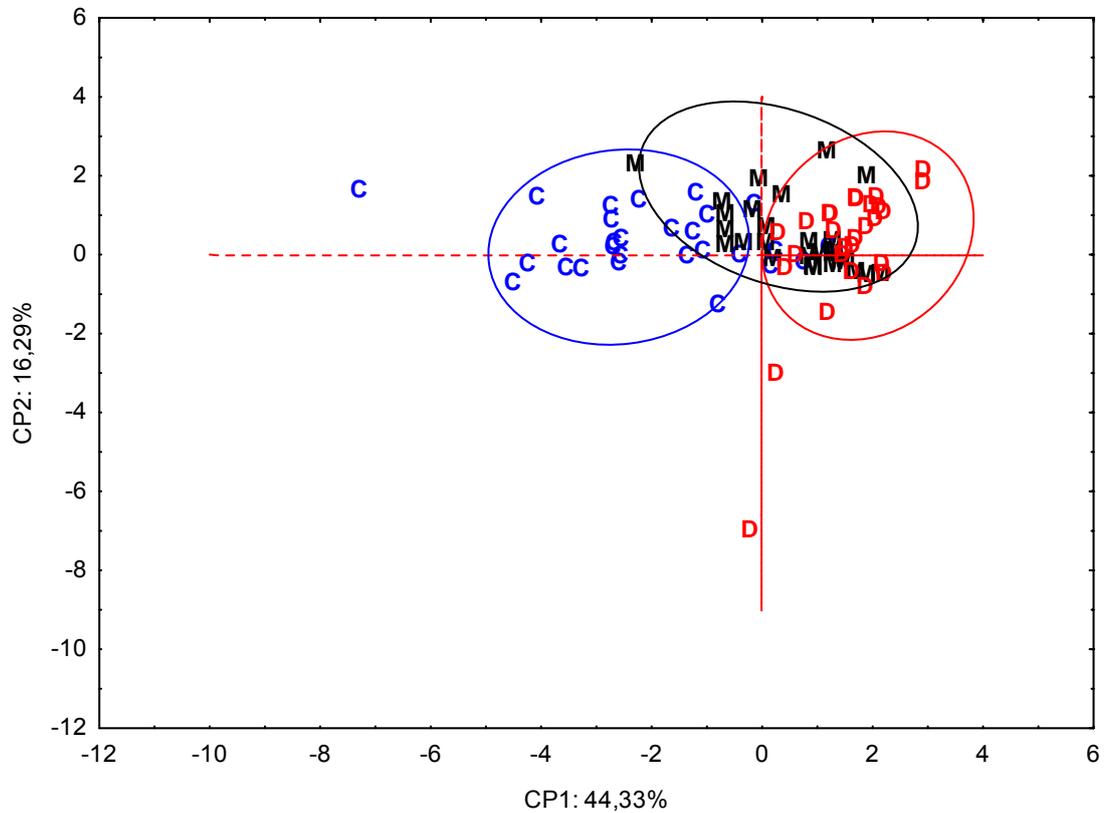


Figura 15. Análise multivariada de componentes principais para os atributos microbiológicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e intensamente degradado (D), na camada 0-10 cm, durante o período seco, em Floresta-PE.

Tabela 16. Análise de componentes principais, utilizando-se atributos microbiológicos para os ambientes: conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado na camada de 0-10 cm durante o período seco e chuvoso. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2). Ordem de importância das variáveis originais na discriminação dos diferentes ambientes

Variáveis	Período			
	Seco		Chuvoso	
	CP1	CP2	CP1	CP2
C-BMS	-0,86	-0,05	-0,90	0,24
C-HUM	-0,82	0,27	-0,85	-0,16
COT	-0,78	0,17	-0,76	-0,13
C-Humificado	-0,76	-0,36	-0,61	-0,73
qMIC	-0,69	-0,16	-0,43	0,52
Resp. basal	-0,61	0,54	-0,49	-0,03
C-FAH	-0,59	-0,06	0,19	-0,78
C-FAF	0,04	-0,79	-0,03	0,01
qCO ₂	0,45	0,54	0,35	-0,29
% variância retida	44,33	16,29	34,11	17,75
% variância acumulada	44,33	60,62	34,11	51,86

No período chuvoso (seis meses após a coleta do período seco) o diagrama de ordenação aproximou discretamente os ambientes moderadamente degradados e intensamente degradados (Figura 16). Provavelmente isto ocorreu em função das condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos e plantas que o período chuvoso oferece, tornando assim as áreas intensamente degradadas mais próximas das áreas moderadamente degradadas. Pontos de sobreposição entre os dois ambientes no diagrama de ordenação indicam este comportamento (Figura 16).

A análise de componentes principais (CP1 e CP2) explicou em conjunto 51,86% da variação total dos dados, sendo 34,11% desta variância explicada na CP1. O grau de influência das variáveis com coeficiente de correlação positiva e negativa apresentou comportamento similar ao período seco (Tabela 16).

Wick et al (1998) utilizaram a análise de componentes principais para avaliar a relação entre a qualidade do solo e várias características microbiológicas e bioquímicas, a fim de identificar aquelas que são mais afetadas pelo manejo em longo prazo. O estudo analisou amostras de solo de três sítios em diferentes estádios de degradação e em duas florestas nativas adjacentes. A análise demonstrou que as variáveis relacionadas à dinâmica de nutrientes da matéria orgânica do solo contribuíram para explicar mais de 80% da variância total dos dados, confirmando que variáveis como C-BMS e COT

podem ser utilizadas como indicadores sensíveis para a avaliação da qualidade do solo.

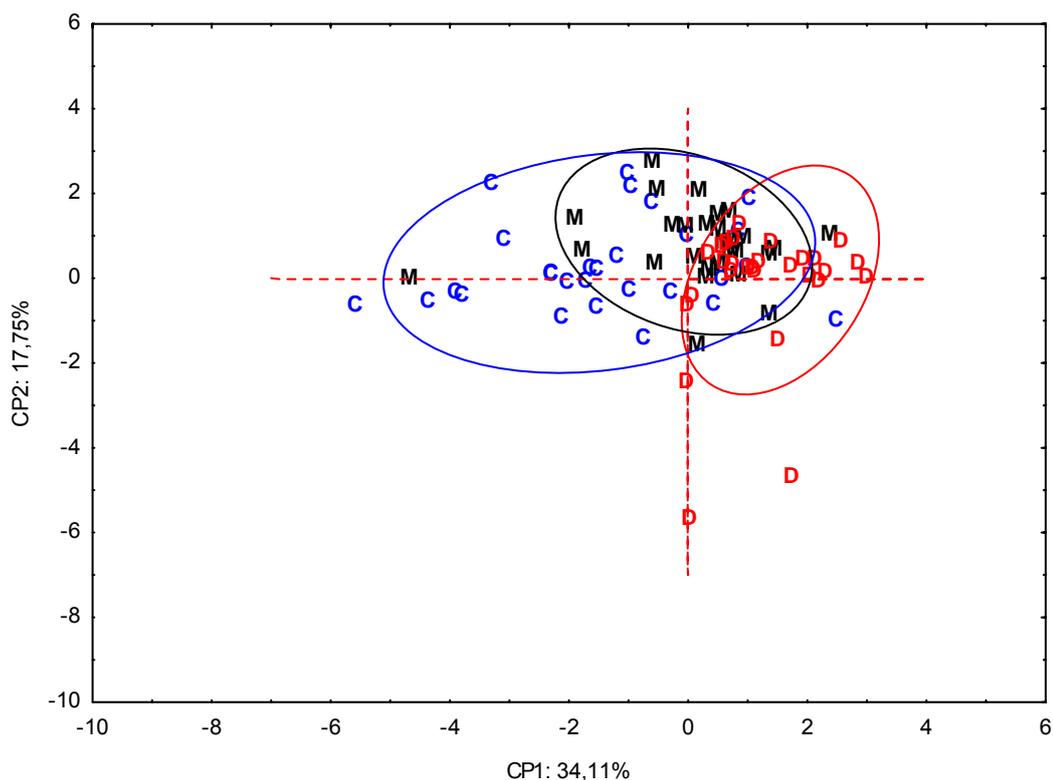


Figura 16. Análise multivariada de componentes principais para os atributos microbiológicos separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e intensamente degradado (D), na camada 0-10 cm, durante o período chuvoso, em Floresta-PE.

4.5.3. Comparação dos atributos microbiológicos entre os períodos de coleta (seco e chuvoso)

Nas áreas conservadas e moderadamente degradadas não houve diferença significativa para a taxa de respiração basal entre os períodos seco e chuvoso. Já o ambiente degradado apresentou diferença entre os períodos analisados, sendo a taxa de respiração basal reduzida durante o período chuvoso (Tabela 17).

O C-BMS apresentou redução significativa no período chuvoso quando comparado ao período seco para o ambiente conservado (Tabela 17). Possivelmente esta redução tenha ocorrido em função da biomassa microbiana estar mineralizando nutrientes para a solução do solo, reduzindo assim sua população.

Este comportamento não pode ser observado para o ambiente moderadamente degradado, que apresentou valores de C-BMS significativamente superiores durante o período chuvoso, comparado ao período seco. Possivelmente nestas áreas a atividade microbiana ainda permanecia na fase de imobilização dos nutrientes, em função das condições favoráveis (temperatura, umidade, etc.) encontradas durante o período chuvoso, sendo justamente nesta fase em que há o aumento da comunidade microbiana.

O quociente microbiano apresentou aumento significativo do período seco para o período chuvoso apenas no ambiente moderadamente degradado. Este aumento pode ser justificado pelo aumento significativo do C-BMS para o mesmo ambiente.

Nos ambientes conservado e degradado o comportamento foi inverso, havendo redução deste quociente durante o período chuvoso, o que também pode ser comprovado pela redução do C-BMS nestes ambientes.

Tabela 17. Atributos microbiológicos do ambiente conservado, moderadamente degradado e intensamente degradado, durante o período seco e chuvoso, em Floresta-PE

Atributo	Camada	Período		
		Seco	Chuvoso	
Ambiente Conservado				
Resp. Basal (CO ₂ (mg)/kgSS/hora)	0-10	3,253	3,311	ns
C-BMS (mg kg ⁻¹)	0-10	332,832	199,256	*
qMIC (%)	0-10	2,575	1,596	*
qCO ₂ (mg CO ₂ mg ⁻¹ CMS dia ⁻¹)	0-10	0,013	0,030	*
Ambiente Moderadamente Degradado				
Resp. Basal (CO ₂ (mg)/kgSS/hora)	0-10	1,988	1,857	ns
C-BMS (mg kg ⁻¹)	0-10	109,655	135,865	*
qMIC (%)	0-10	1,024	1,591	*
qCO ₂ (mg CO ₂ mg ⁻¹ CMS dia ⁻¹)	0-10	0,021	0,021	ns
Ambiente Intensamente Degradado				
Resp. Basal (CO ₂ (mg)/kgSS/hora)	0-10	2,125	1,311	*
C-BMS (mg kg ⁻¹)	0-10	64,324	67,170	ns
qMIC (%)	0-10	1,170	0,794	*
qCO ₂ (mg CO ₂ mg ⁻¹ CMS dia ⁻¹)	0-10	0,042	0,026	*

* Diferença ao nível de significância de 5%; ns Diferença não significativa (Teste t de Student)

4.6. Análise de Componentes Principais para as frações da serrapilheira e da MOS

Ao aplicar a análise multivariada de componentes principais relacionando as frações da serrapilheira e as frações do COT, durante o período seco, pode-se observar a formação de três grupos distintos (Figura 17), que confirmam a variabilidade dos atributos analisados em função do grau de degradação dos ambientes estudados no presente trabalho. Embora ocorram pontos de sobreposição, a figura apresentou forte tendência para a distinção dos diferentes ambientes.

A componente principal 1 (CP1) explicou 52,21% da variação total dos atributos estudados e a componente principal 2 (CP2) explicou 17,44% (Tabela 18). Observou-se que as variáveis que mais contribuíram para a explicação da CP1 durante o período seco, com correlações negativas, foram em ordem de importância: massa seca da fração não-lenhosa, massa seca total, C-fração humina (C-HUM), C-Humificado, massa seca da fração lenhosa, COT e C-fração ácidos húmicos (C-FAH). A análise de componentes principais indicou que estas variáveis decresceram com o aumento do nível de degradação do ambiente.

Tabela 18. Análise de componentes principais, utilizando-se o fracionamento físico da serrapilheira e as frações da MOS separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), durante o período seco e chuvoso. Coeficientes de correlação entre os atributos originais e os componentes principais (CP1 e CP2)

Variáveis	Período			
	Seco		Chuvoso	
	CP1	CP2	CP1	CP2
MS Fração Não-Lenhosa	-0,89	0,16	0,11	-0,35
MS total	-0,85	0,32	0,79	0,48
C-HUM	-0,80	-0,11	0,82	-0,27
C-Humificado	-0,76	-0,62	0,62	-0,69
MS Fração lenhosa	-0,75	0,34	0,76	0,54
COT	-0,68	-0,18	0,65	-0,27
C-FAH	-0,65	-0,04	-0,14	-0,60
C-FAF	0,05	-0,85	0,01	0,06
% variância retida	52,21	17,44	33,92	20,40
% variância acumulada	52,21	69,65	33,92	54,32

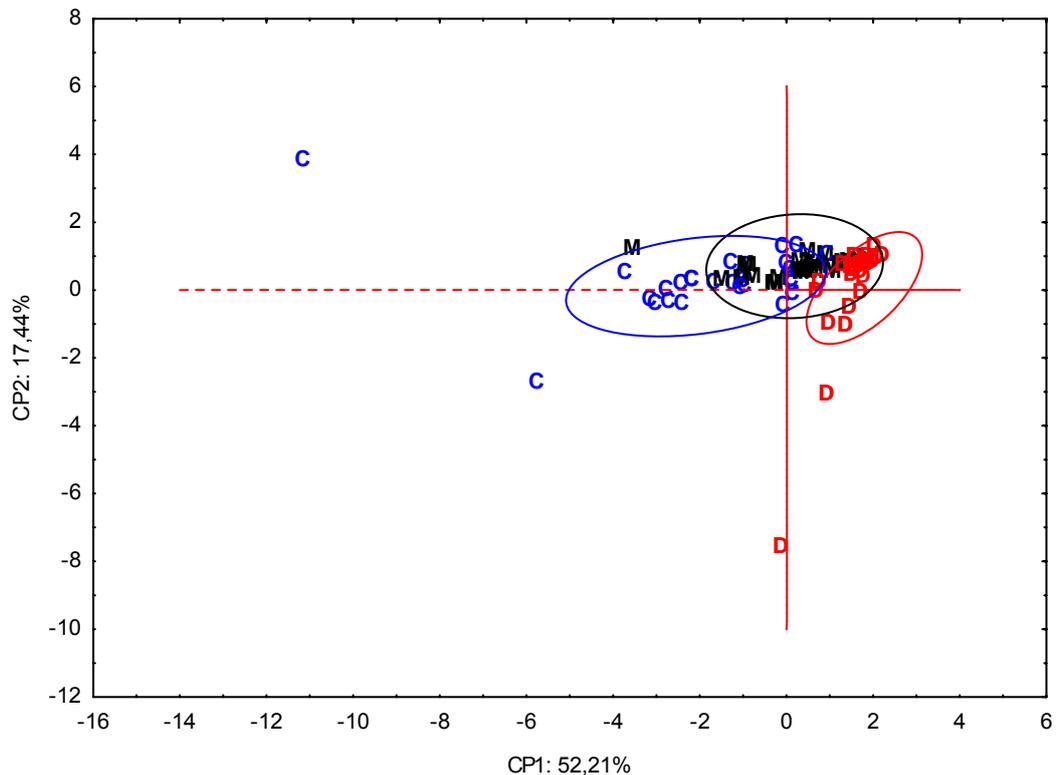


Figura 17. Análise multivariada de componentes principais para o fracionamento físico da serrapilheira e as frações da MOS separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e intensamente degradado (D), durante o período seco.

Durante o período chuvoso também se pode observar a tendência da formação de três ambientes distintos em função do nível de degradação (Figura 18). A análise de componentes principais permitiu explicar, através da formação de duas componentes (CP1 e CP2), 54,32% da variância total das frações da serrapilheira e da MOS (Tabela 18). O ambiente conservado apresentou grande variação na distribuição dos pontos dos componentes CP1 e CP2. Este comportamento pode ser explicado pela grande diversidade de plantas que os ambientes conservados possuem, não havendo como o material de serrapilheira apresentar uniformidade.

A CP1 explicou 33,92% da variância total dos dados, sendo a variável C-HUM a que mais influenciou nesta variância (0,82), seguida da massa seca total da serrapilheira (0,79). O C-FAH apresentou correlação negativa nesta componente principal (-0,14), sendo apenas esta variável capaz de explicar o nível de degradação dos ambientes. Mesmo com maior porcentagem de variância retida, a CP1 não foi capaz de apresentar mais variáveis com correlação negativa com os níveis de degradação. Já a CP2 obteve resultados que explicam esta relação. Em ordem de importância segue: C- Humificado

(-0,69); C-FAH (-0,60); Fração não-lenhosa (-0,35) e C-HUM e COT ambos com coeficiente de correlação de -0,27. Estas correlações negativas indicam que tais variáveis reduzem em função do aumento da degradação do ambiente.

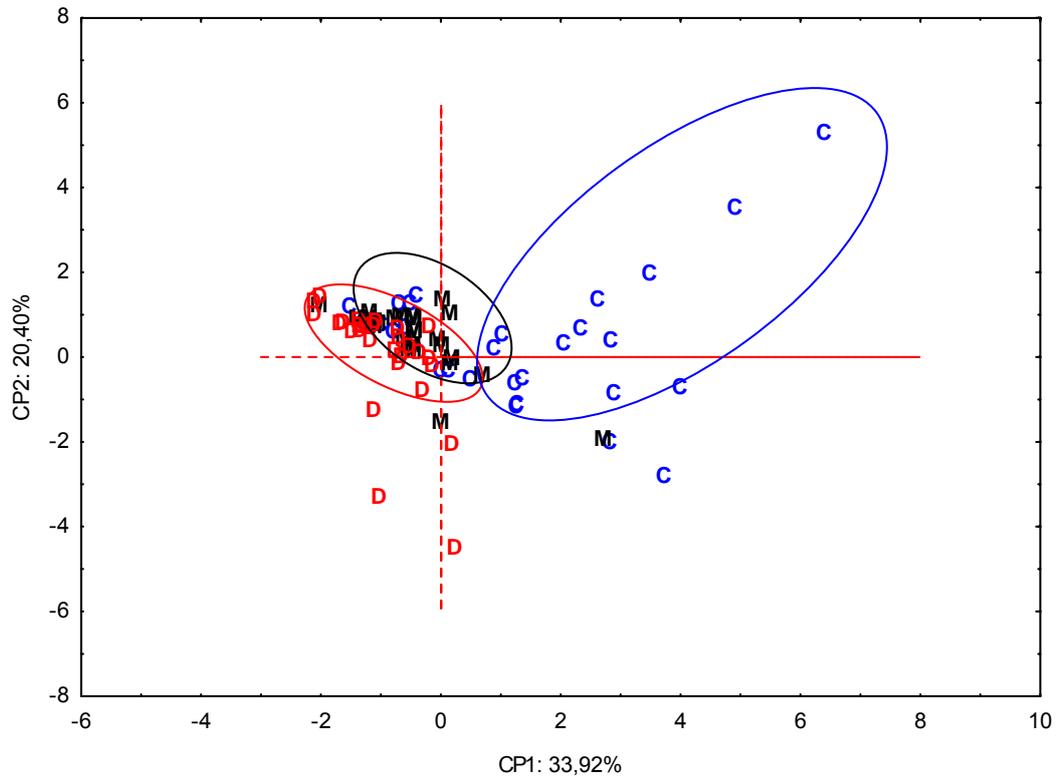


Figura 18. Análise multivariada de componentes principais para o fracionamento físico da serrapilheira e as frações da MOS separados por ambiente conservado (C), moderadamente degradado (M) e degradado (D), durante o período chuvoso.

5. CONCLUSÕES

- Os estoques de serrapilheira e de carbono no solo decresceram em função do aumento da degradação dos ambientes e foram superiores no período seco para os ambientes conservado e moderadamente degradado;
- No ambiente conservado houve maior acúmulo da fração lenhosa da serrapilheira, enquanto no ambiente degradado predominou a fração não-lenhosa;
- Os atributos químicos apresentaram variação significativa em função dos níveis de degradação dos ambientes, apenas na camada de 0-10 cm;
- A humina foi a fração predominante das substâncias húmicas do solo;
- Os atributos microbiológicos, com destaque para o carbono da biomassa microbiana do solo e quociente microbiano, apresentaram grande sensibilidade ao aumento dos níveis de degradação, podendo ser usados como indicadores de qualidade do solo;
- Os indicadores foram mais sensíveis em detectar mudanças nos ambientes quando avaliados no período seco.

6. BIBLIOGRAFIA

- ACCIOLY, L.J.O. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Boletim Informativo**, 25:1:23-25,2000.
- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de Carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciên Agrotéc.**, Lavras, v.23, n.3, p. 617-625, jul./set., 1999.
- ALVAREZ, R.; DOAZ, R.A.; BARBERI, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BALOTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from tree tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v.33, p.17-28, 1995.
- ALVES, A. R.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; HOLANDA, A. C.; Aporte e decomposição de serrapilheira em área de Caatinga, na Paraíba. **Rev. de biol. e ciên. da terra**, v.6, p.194-203, 2006.
- AMORIM, L. B.; SALCEDO, I. H.; GALINDO, I. C. L.; SILVA, V. F. Estoque de serrapilheira em área de Caatinga preservada. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água,17, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2008. CD-ROM.
- ANDRADE, L. A.; PEREIRA, I. M.; LEITE, U. T.; BARBOSA, M. R. V. Análise da cobertura de duas fisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Rev. Cerne**, Lavras, v. 11, nº 3, p. 253-262, 2005.
- ARAUJO, A.; SANTOS, F.V.; MEUNIER, I.M.J.; RODAL, M.J.N. (Editores) Desertificação e seca. Editora Nordeste, Recife, 2002. 63p.
- ARAUJO FILHO, J.A.; BARBOSA, T.M.L. Manejo agroflorestal da caatinga: uma proposta de sistema de produção. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS

- JÚNIOR, R.N.; ROMERO, R.E.; SILVA, J.R.C. (Eds). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, P. 47-57.
- BARETTA, D.; FERREIRA, C. S.; SOUSA, J.P. & CARDOSO, E.J.B.N. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, 32:2693-2699, 2008, (Número especial).
- BARRETO, A. C. **Qualidade do solo de uma microbacia do Rio Una (Aliança) – BA sob diferentes usos da terra**. 2005. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.
- BARTLETT, R.J. & ROSS, S.D. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.52, p.1191-1192, 1988.
- BAUTISTA, C.A.; ETCHEVERS, B.J.; CASTILLO, R.F. del; GUTIÉRREZ, C. La calidad del suelo y sus indicadores. **Ecosistemas**, 2004/2 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>). 2004.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. 2003. *Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo*. Comunicado Técnico 16, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 7p.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Rev. Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Avaliações e ações prioritárias para conservação da biodiversidade da caatinga. Brasília, 2002.
- BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.**, 59:39-45, 1945.

- BRYAN, R.B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. **Geomorphology**, 32:385-415, 2000.
- CAMACHO, R.G.V. Estudo fitofisiográfico da caatinga do Seridó-Estação Ecológica do Seridó, RN. 2001. 130f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CAMPOS, D. C. **Influência da mudança do uso da terra sobre a matéria orgânica no município de São Pedro-SP**. 1998. 83 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **R. Bras. Ci. solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 125-132, 1990.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I.; FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **R. Bras. Ci. solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 267-270, 1985.
- CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **R. Bras. Ci. solo**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 1-4, jan./abr. 1985.
- CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; VASCOCELOS, A. C. F. de; PAES-SILVA, A. P. Salinidade das águas superficiais e suas relações com a natureza dos solos na Bacia Escola do Açude Namorado e Diagnóstico do Uso e Degradação das Terras. **Relatório técnico**. Campina Grande, 2002.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Agrár.** Recife, v.3, n.1, p.20-25, 2008.
- CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS, 2000. 95p. (Dias Report, Plant Production, 30).

CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA CAATINGA (BRASIL). **Cenários para o bioma Caatinga**. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Recife: SECTMA, 2004. 283p.

CORRÊA, R. M. **Avaliação de atributos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado do Vale do Rio São Francisco**. 2007. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

DALAL, R.C. & CHAN, K.Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. **Aust. J. Soil Res.**, 39:435-464, 2001.

DANTAS, S.V. **Dinâmica da produção e decomposição de folheto e ciclagem de nutrientes em um ecossistema de Caatinga arbórea no agreste da Paraíba**. Monografia (Graduação) – Centro de Ciên. Agrárias, UFPB, 32 f. 2003.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F.A.de O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.389-412.

DÍAZ-RAVIÑA, M.; ACEA, M.J. & CARBALLAS, T. Microbial biomass and its contribution to nutrient concentrations in forest soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.25, p.25-31, 1993.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B., Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSAJ, Madison, (Publication Number 35), 1994. p.3-22.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E.; M. O. CARDOSO. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p.33-67.

EMBRAPA – Banco de dados climáticos do Brasil. Disponível em: (<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=141>)

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

FAO. **Data sets, indicators and methods to assess land degradation in drylands**. World Soil Resources Reports, 100. 122p. 2003. (disponível em http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y4609E/Y4609E00.HTM)

FAGERIA, N.K. Resposta de cultivares de arroz à aplicação de calcário em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.883-889, jul. 1984.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil Tillage. Research.**, 66:95-106, 2002.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. (2002) Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **R. Bras. Ci. solo**, 26: 425-434.

- FONTANA, A. et al. Frações da matéria orgânica e fertilidade de solos de Tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais no norte fluminense - RJ. In: XI JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UFRRJ, v. 11,n. 2, p. 03 - 06, 2001.
- GALINDO, I. C. L. **Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Estado de Pernambuco.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo), UFRPE, 255p, 2007.
- GALLARDO, A. & SCHLESINGER, W.H. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction methods in a warm-temperate forest soil. **Soil Biol. & Biochem.**, v.7, p.927-932, 1990.
- GIANFREDA, L.; BOLLAG, J. M. Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. **Soil Biochem**, New York, v. 9, p. 123-193, 1996.
- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.L.; DUEVER, M.J. Ciclagem de minerais em ecossistemas de floresta tropical úmida. São Paulo: EPU/EDUSP, 1978. 256 p.
- GRISI, B. M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. **Rev. Nord. de Biol.**, João Pessoa, v. 10, n. 1, p. 1-22, 1995.
- GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canad. Journ. of Soil Sci.**, v.74 p.367-375, 1994.
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco.** Recife, MA/DNPEA – SUDENE/DRN, 1973. v.1. (Boletim técnico, 26).

- JANSEN, H. H. Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world? **Canad. Journ. of Sci.**, Toronto, Canadá, v.85, n. 4, p. 467-480, 2005.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurements and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil Biochem.** 5 ed. New York: Marcel Dekker, 1981. p. 415-471.
- KHRESAT, S.A; RAWAJFIH, Z.; MOHAMMAD, M. Land degradation in north-western Jordan: causes and processes. **Journ. of Arid Environ.**, 39:623-629, 1998.
- KOUNO, K.; WU, J.; BROOKS, P.C. Turnover of biomass C and P in soil following incorporation of glucose or ryegrass. **Soil Biol. & Biochem.**, v.34, n.5, p.617-622, 2002.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environ. Pollut.** Essex, v. 116, p. 353–362, 2002.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: **Evaluation on for Sustainable Land Management in the Developing World**. Vol. 2 ISBRAM. Proc. 12(2) Int. Board for Soil Res. And Management. Bangkok, Tailândia-1991.
- McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1994. 406p.
- MACHADO, P.L.O.A.; MADARI, R.B.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Os solos brasileiros e o seqüestro do carbono. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Boletim Informativo, v. 29, n. 3, p. 21-25, 2004.
- MAO, D.M.; Min, W.M.; Yu, L.L.; Martens, R.; Insam, H. Effect of afforestation on microbial biomass and activity in soils of tropical China. **Soil Biol. & Biochem.**, v.24, p.865-872, 1992.

- MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, n.2, p.257-263, 1999.
- MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas**. Brasília, UNESCO. 126p. 2001.
- MENEZES, R. C. S.; GARRIDO, M. da S.; PEREZ M., A. M. Fertilidade dos solos no semi-árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005. Recife. **Palestras...** Recife: UFRPE/SBCS, 2005. CD-ROM.
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no semi-árido paraibano. In: SILVEIRA, L. M.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. (Org). **Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido: avanços a partir do Agreste da Paraíba**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002. p. 249-260.
- MELO, E.F.R.Q. Alterações nas características químicas do solo de uma área degradada em recuperação. In: BALENSIEFER, M.; ARAÚJO, A.J.; ROSSOT, N.C. In: Simpósio Sul Americano, 1 e Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 2, 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.371- 81.
- MICHEL, K.; MARITXU, G.; RENÉ, B.J. & REVEL, J.C. Influencia de las substancias húmicas sobre las características bio-físico-químicas de los suelos. Consecuencias sobre la nutrición mineral de las plantas. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Conferencias. Águas de Lindóia, Embrapa, 1996. CD-ROM
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In.: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da Matéria

Orgânica do Solo -Ecosistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap. 2. p. 1-8.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 839-847, 2006.

MONROZIER, L. J.; DUCHAUFOR, Ph. Données recentes sur l'humification. **Science du Sol**, Paris, v.25, p.377-388, 1986.

MORAES, L. F. D.; CAMPELO, E. F. C.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G. Biomassa Microbiana em áreas em processo de restauração na Reserva Biológica de Poço Das Antas, RJ. *Caatinga* (Mossoró,Brasil), v.20, n.1, p.54-63, janeiro/março 2007.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Editora UFLA, Lavras. 2002. 626p.

NANNIPIERI, P. Microbial biomass and activity measurements in soil: ecological significance. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A. **Current perspectives in microbial ecology**. Washington: American Society for Microbiology, 1984. p. 515-521.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 88:161-168, 2002.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecol.**, v. 44, n.2, p.322-332, 1963.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America,. p. 231- 245, 1996.

- PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochem**, v.48, p.147-163, 2000.
- REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Tillage. Research.**, v.43, p.131-167, 1997.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, jan. 2001.
- RODRIGUES, V. Desertificação: problemas e soluções. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; ROMERO, R.E.; SILVA, J.R.C. (eds). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 137-164, 2000.
- RODRIGUEZ, A.; MORA, J.L.; ARBELO, C.; BORDON, J. Plant succession and soil degradation in desertified áreas (Fuerteventura, Canary Islands, Spain). **Catena**, v.59, p.117-131, 2005.
- RUBIO, J.L.; BOCHET, E. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. **Journ. of Arid Environ.**, v.39, p.113-120, 1998.
- SAKAMOTO, K.; OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. **Biol Fertil. Soils**, v.17, p.39-44, 1994.
- SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E. 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**. 2.ed.rev.e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p:419-441.

- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAUJO, M. S. B. Mudanças no C, N e P do solo causadas por queimadas. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBCS, 1993. p.177-178.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. do S. B. Desertificação no Nordeste do Brasil. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005. Recife. Palestra. **Anais...**, Recife, 2005. CD-ROM.
- SAMPAIO, E.V. S. B.; SALCEDO, I. H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Mesa Redonda. **Anais...**, Rio de Janeiro, 1997. CD-ROM, 1997.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SAMPAIO, Y. **Desertificação: conceitos, causas, conseqüências e mensuração**. Editora Universitária UFPE, Documento 1. Recife, 2002. 85p.
- SANTANA, J. A.S. **Caracterização florística, fitossociológica e dinâmica da ciclagem de nutrientes em área de caatinga no Rio Grande do Norte, Brasil**. 2005.180f. (Tese Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB – Areia/PB.
- SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREDJA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Sci.**, 164:224-233, 1998.
- SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2). EMBRAPA Agobiologia, Seropédica, RJ. Comunicado Técnico 99, 2007. p:1-4.
- SILVA, F.B.R.; SANTOS, J.C.P.; SILVA, A.B. et al. **Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico**. Recife: EMBRAPA Solos. Petrolina: Semi-árido, 2000. (CD ROM)

SILVA JÚNIOR, A. M.; BORGES, E. N.; SOUZA, M. A. SILVA; SOUSA, G. M.; GUIMARÃES, E. C.; BORGES, E. V. S. Carbono orgânico em diferentes sistemas de manejo no Triângulo Mineiro. In.: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15. 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. CD-ROM.

SNAKIN, V.V.; KRECHETOV, P.P.; KUZOVNIKOVA, T.A.; ALYABINA, I.O.; GUROV, A.F.; STEPICHEV, A.V. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, 8:331-343, 1996.

SOUTO, P.C. Acumulação e decomposição da serrapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil. Tese de Doutorado. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. Areia – PB. 150f. 2006.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V. ARAÚJO, G. T.; SOUTO, L. S. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, n.1, 2005.

SOUZA J. A.; DAVIDE A. C.; Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*mimosa scabrella*) e de eucalipto (*eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **R. Cerne**, Lavras, v. 7, n.1, p.101-113, 2001.

SPAIN, A. V. Litterfall and the standing crop litter in three tropical Australian rainforests. **The Journ. of Ecol.**, Oxford, v. 72, p. 947-961, 1984.

SRIVASTAVA, S.C. & SINGH, J.S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-uses and nutrient flux. **Soil Biol. & Biochem.** v.23, p.117-124, 1991.

STATISTICA (data analysis software system), versão 7.0, StatSoft (www.statsoft.com), 2004.

- SU, Y.Z.; ZHAO, H.L.; ZHANG, T.H.; ZHAO, X.Y. Soil properties following cultivation and non-grazing semi-arid sandy grassland in northern China. **Soil Tillage Research**, v.75, p.27-36, 2004.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, O.L., ed. Methods of soil analysis Part 3: Chemical methods. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.1011-1020.
- TEMPLER, P.; FINDLAY, S.; LOVETT, G. Soil microbial biomass and nitrogen transformations among five tree species of the Catskill Mountains, New York, USA. **Soil Biol. & Biochem.**, v.35, n.4, p.607- 613, 2003.
- THENG, B.K.G.; TATE, K.R. & SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii, NifTAL Project, 1989. p.5-32.
- TIESSSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrients and soil organic matter dynamic under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agricult., Ecosyst. and Environ.**, Amsterdam, v. 38, p. 139-159, 1992.
- TIESSSEN, H.; CUEVAS, E. CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility, **Nature**, v.371, p.783-785, 1994.
- TONGWAY, D.J.; SPARROW, A.D.; FRIEDEL, M.H. Degradation and recovery processes in arid grazing lands of central Australia. Part 1: soil and land resources. **Journ. of Arid Environ.**, v.55, p.301-326, 2003.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. VENEGAS, V. H. A. et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p.195-276.
- TREVISAN, R.; MATTOS, M. L. T.; HERTER, F. G. Atividade microbiana em argissolo vermelho-amarelo distrófico coberto com aveia preta (*Avena sp*)

no outono, em um pomar de pessegueiro. **Científ. Rur.**, Bagé, v. 7, n. 2, p. 83-89, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **SAEG 9.1: Sistema de Análises Estatística**. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 2007. (CD-ROM).

VALLADARES, G. S.; BENITES, V. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; EBELING, A. G. Proposta para classificação de Organossolos em níveis inferiores com base nas frações húmicas. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, 2003, 35 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2).

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Áreas em desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil. Sua formação e sua contenção**. Recife, UFRPE, 1983. 64p.

VILLELA, D.M. & PROCTOR, J. Litterfall mass and chemistry and nutrient retranslocation in a monodominant forest on Maracá Island, **Biotrop**. v.31, n.2, Roraima, AC p.98-211,1999.

VITAL, A.R.T. **Caracterização hidrológica e ciclagem de nutrientes em fragmento de mata ciliar em Botucatu, SP**. 2002. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

VITOUSEK, P.M. & SANFORD, R.L. Nutrient cycling in most tropical Forest. **An. Rew. Ecol. Sci.**, Palo Alto, v.17, p.137-167, 1986.

VOGT, K. A.; GRIER, C. C.; VOGT, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. **Advanc. in Ecol. Res.**, v.15, p.303-377, 1986.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Eds.) Manual de métodos empregados

em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 542 p. (EMBRAPACNPAF. Documentos, 46).

WARDLE, D.A.; GILLER, K.E. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. **Soil Biol. & Biochem.**, v.28, n.12, p.1549-1554, 1996.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WICK, B.; KÜHNE, R. F.; VLEK, P.L.G. Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management systems in south-western Nigeria. **Plant and Soil**, v.202, p.97-107, 1998.

WICK, B.; TIESSEN, H.; MENEZES, R.S.C. Land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil. **Plant and Soil**, v.222, p.59-70, 2000.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZECH, W.; SENES, N.; GUGGENBERG, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T M.; MILTENER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoder.**, Amsterdam, v. 79, p. 117-161, 1997.