



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
PROTEN - DEN / UFPE

N.º 16  
TESE DE  
DOUTORADO

**FERTILIDADE DO SOLO E REDISTRIBUIÇÃO DE  
<sup>137</sup>Cs EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL,  
RELEVO E CLASSES TEXTURAIS, EM UMA  
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ESTADO DA  
PARAÍBA**

AUTOR: ANTONIO CLEMENTINO DOS SANTOS

RECIFE - PERNAMBUCO - BRASIL  
MARÇO - 2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR

Av. Prof. Luiz Freire, 1000 - Cidade Universitária  
CEP 50740-540 - Recife - PE - Brasil

Editora  
Universitária  UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E  
NUCLEARES

FERTILIDADE DO SOLO E REDISTRIBUIÇÃO DE  $^{137}\text{Cs}$  EM FUNÇÃO DA  
COBERTURA VEGETAL, RELEVO E CLASSES TEXTURAIS, EM UMA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO ESTADO DA PARAÍBA.

ANTONIO CLEMENTINO DOS SANTOS

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL

MARÇO - 2004

FERTILIDADE DO SOLO E REDISTRIBUIÇÃO DE  $^{137}\text{Cs}$  EM FUNÇÃO DA  
COBERTURA VEGETAL, RELEVO E CLASSES TEXTURAIS, EM UMA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO ESTADO DA PARAÍBA.

ANTONIO CLEMENTINO DOS SANTOS

ANTONIO CLEMENTINO DOS SANTOS

FERTILIDADE DO SOLO E REDISTRIBUIÇÃO DE  $^{137}\text{Cs}$  EM FUNÇÃO DA  
COBERTURA VEGETAL, RELEVO E CLASSES TEXTURAIS, EM UMA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO ESTADO DA PARAÍBA.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN  
do Departamento de Energia Nuclear da  
Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção  
do título de Doutor em Ciência. Área de  
Concentração: Aplicação de Radioisótopos/  
Fertilidade de Solos.

ORIENTADOR - PROF. DR. IGNACIO HERNAN SALCEDO  
CO-ORIENTADORA – PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS

RECIFE – PERNAMBUCO - BRASIL  
MARÇO – 2004

**FERTILIDADE DO SOLO E REDISTRIBUIÇÃO DE  $^{137}\text{Cs}$   
EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, RELEVO E  
CLASSES TEXTURAIS, EM UMA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO ESTADO DA PARAÍBA**

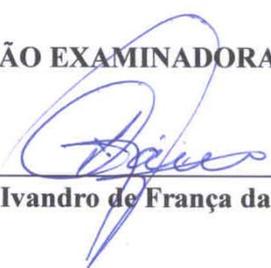
**Antonio Clementino dos Santos**

**APROVADO EM: 23.03.2004**

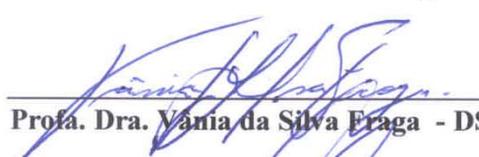
**ORIENTADOR: Prof. Dr. Ignácio Hernan Salcedo**

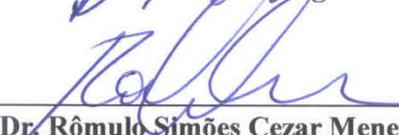
**CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias**

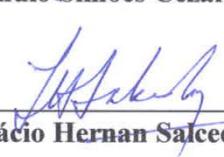
**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ivandro de França da Silva - DSER/UFPB**

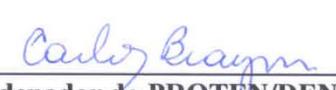
  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Adriana Maria de Aguiar Accioly - DA/UFRPE**

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Vânia da Silva Fraga - DSER/UFPB**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes - DEN/UFPE**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ignácio Hernan Salcedo - DEN/UFPE**

**Visto e permitida a impressão**

  
\_\_\_\_\_  
**Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE**

## MENSAGEM

*O que dizer.....*

*Acaba mais uma etapa nessa minha busca pelo conhecimento, acabo de realizar mais um sonho, estou concluindo um doutorado. Que bom! Porém, quando paro para pensar sobre isto me bate um vazio, milhares de dúvidas, centenas de perguntas e o que dizer.... Tive, ou melhor, tenho um orientador espetacular, uma co-orientadora sensacional, formei amigos, vivenciei mais uma etapa na minha vida. No entanto, na minha pequenez, sinto-me uma pequena poeira cósmica a vagar pelo universo, um microorganismo que vive a caminhar sem rumo nesse mundo buscando resposta e no lugar das respostas aparece uma imensidão de incertezas, de dúvidas, um vazio, o que fazer? Não sei... Conclui o Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares, especificamente na área de Fertilidade do Solo e aí... Quem sou eu?... Será que sou capaz de algo, será que sei alguma coisa... Quando vejo as pessoas se achando o máximo, eu sinto que sou a última das criaturas. Sou Agrônomo, me especializei em solos...., e quando paro para ensinar, para pesquisar, para planejar o que fazer, eu vejo que nesse pequeno tema em relação ao universo que é a ciência, eu sinto que eu não domino o milionésimo de um terço do que devia saber. Só sei que nada sei... É bom concluir um curso, terminar uma pós-graduação, porém eu vejo que tenho que agir como eu mesmo, um pequeno ser, porém feliz..., cheios de dúvidas, mas quem sabe um dia encontrarei alguma resposta... Vou continuar buscando... O que dizer... Por fim, eu só tenho é que agradecer e oferecer as dádivas recebidas, a Deus pois é ele que sempre acolhe, no meu silêncio, nas minhas orações, a esse pequeno e ingrato ser.. Agradeço e ofereço este trabalho ao professor Ignacio Hernán Salcedo, pois ele foi e é um orientador, um irmão, um cara que sabe reconhecer que somos deficitário e ele sempre estende a mão e se coloca no nosso lugar, é muito bom ter trabalhado com uma pessoa assim. Agradeço também a Professora Ana Lúcia Bezerra Candeias, uma mulher sem igual, humana, simples e muito amiga, além de saber ajudar nos momentos mais difíceis. É isso. Sim, agradeço aos colegas, aos professores do DEN, aos funcionários e a minha família, pois é ela uma das razões do meu viver e do meu lutar. E a todos essas pessoas ofereço este trabalho. Eu sei, sonhava muito mais com esse trabalho, queria criar modelos, poder usar Sistema de Informação Geográfica para trabalhar melhor os dados, fazer um trabalho adequado. Porém viver é um desafio, tive que sair para realizar outro sonho e talvez isto tenha atrapalhado um pouco, talvez nem o trabalho e sim as minhas limitações. Por isso peço desculpas aos meus orientadores, pois eu não sou digno de ter tido-os como orientadores.*

*O que dizer...*

*Eu acho que disse o que queria dizer. Afinal que sou eu para dizer algo melhor do que isso, entretanto o eu que queria mesmo era oferecer este meu simples trabalho e deixar essa mensagem de um caipira chamado Antonio Clementino dos Santos.*

*Obrigado.*

## AGRADECIMENTOS

- ✓ Ao Professor *Ignacio Hernán Salcedo*, pela orientação sempre pontual e que soube entender as minhas limitações e que tantas vezes soube aconselhar, soube repassar mensagens de otimismo, de apoio e ao mesmo tempo colaborar com seus conhecimentos e sua amizade.
- ✓ À Professora *Ana Lúcia Bezerra Candeias* que colaborou com os seus conhecimentos na orientação deste trabalho e que sempre se colocou à nossa disposição para eventuais dúvidas, sendo uma parceira fundamental na área cartográfica.
- ✓ Aos Professores *Rômulo Simões C. Menezes*, *Carlos Alberto Brayner de Oliveira Lira*, *Ana Lúcia* e *Holm Tiesen*, que formaram durante este período o Comitê de Acompanhamento, sempre ajudando na orientação e na melhoria deste trabalho. Estendo este agradecimento a todos os *professores do DEN* e a Professora *Lucilene Antunes* da Engenharia Cartográfica que ajudaram através de suas disciplinas a ampliar o meu pequeno leque de conhecimentos.
- ✓ A minha grande amiga e colega *Sandra Regina da Silva Galvão*, fiel parceira no trabalho e na luta, pois sem essa ajuda e sem essa amizade, certamente esse trabalho não seria o mesmo.
- ✓ Ao amigo *José Romualdo*, meu irmão, meu colega e amigo desde o curso de Agronomia, de mestrado e também agora de Doutorado, o nosso obrigado pela amizade e força. Estendo este agradecimento para lembrar os colegas de república (*Orieudo*, *Aldrin*, *Fábio*, *Antônio* e *Tácio*).
- ✓ A *Eduardo Medeiros*, meu irmão e amigo paraibano, que sempre ajudou nas análises e na luta do dia a dia. A *Regina Aguiar*, grande colega de Doutorado do Laboratório de Radioagronomia e aos funcionários e amigos de laboratório (*Claudenice*, *Clarindo*, *Gilberto* e *Pedrinho*) que sempre fizeram o seu papel e além disso formaram uma grande família durante esse tempo. Carmem e Marcos, além da Professora *Vânia Fraga*, que sempre demonstrou a alegria e despertou no nosso ambiente de trabalho, um ambiente de alegria e de paz.
- ✓ Ao Professor *Ângelo* da UFRPE, grande amigo que formei durante este período que estive em Recife, os nossos agradecimentos.
- ✓ Ao Professor *Ivandro de França da Silva*, meu amigo, meu orientador, meu obrigado. Também quero agradecer ao Professor *Albericio*, a *Universidade Federal da Paraíba*, especialmente o *Campus de Ciências Agrárias*, que foi sempre parceiro nas análises de solos, sem esquecer *Roberval Diniz Santiago*, que nunca se negou a ajudar e apoiar essa parceria.
- ✓ A *Universidade Federal do Tocantins*, especificamente o *Campus de Araguaína*, no qual sou professor, pela liberação e apoio na reta final deste curso. Aos meus *estagiários* e *alunos* da UFT, os quais compreenderam as minhas saídas da Universidade antes de terminarem os períodos letivos do ano 2003.
- ✓ A *Universidade Federal de Pernambuco*, especialmente o *Departamento de Energia Nuclear*. Agradeço pela oportunidade de realizar esse curso e sem dúvida é um Programa de pós Graduação a quem devo grande parte dos meus conhecimentos.
- ✓ Ao InterAmerican Institute (IAI) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pelo financiamento e bolsa concedida.
- ✓ Enfim, termino esses agradecimentos lembrando a minha *família*, meus pais (*Joaquim* e *Nininha*), meus *irmãos* e *irmãs*, meus *sobrinhos*, *sobrinhas* e *amigos*, a quem agradeço o carinho, o apoio e o amor que sempre doaram. No mais agradeço, a quem eu esqueci de lembrar e a todos que direta e indiretamente ajudaram na realização deste trabalho e na conclusão deste curso. **Obrigado.....**

## SUMÁRIO

	Pag.
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>x</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>01</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>03</b>
<b>1 – Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB</b> .....	<b>03</b>
1.1 Introdução .....	04
1.2 Material e Métodos .....	05
1.2.1 Caracterização da área .....	05
1.2.2 Metodologia .....	07
1.3 Resultados e Discussão .....	10
1.4 Conclusões .....	15
1.5 Referências Bibliográficas .....	15
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>18</b>
<b>2 – Influência do uso e posição do relevo na fertilidade de solos nas áreas de encosta</b> .	<b>18</b>
2.1 Introdução .....	19
2.2 Material e Métodos .....	20
2.3 Resultados e Discussão .....	22
2.3.1 Análise descritiva .....	22
2.3.2 Uso do solo .....	24
2.3.3 Classes texturais .....	26
2.3.4 Níveis de fertilidade do solo .....	28
2.4 Conclusões .....	28
2.5 Referências Bibliográficas .....	30

	<b>Pág.</b>
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>32</b>
<b>3 – Influência do uso e posição do relevo na fertilidade de solos nas áreas de topo e várzea</b> .....	<b>32</b>
3.1 Introdução .....	33
3.2 Material e Métodos .....	34
3.3 Resultados e Discussão .....	37
3.3.1 Análise descritiva .....	37
3.3.2 Uso do solo .....	37
3.3.3 Classes texturais .....	40
3.3.4 Níveis de fertilidade do solo .....	42
3.4 Conclusões .....	42
3.5 Referências Bibliográficas .....	44
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>47</b>
<b>4 – Redistribuição de <sup>137</sup>Cs em distintas profundidades posições topográficas em solo sob vegetação nativa e sob exploração antrópica</b> .....	<b>47</b>
4.1 Introdução .....	48
4.2 Material e Métodos .....	49
4.2.1 Histórico da área .....	49
4.2.2 Amostragem .....	50
4.2.3 Metodologia de análises .....	50
4.3 Resultados e Discussão .....	53
4.3.1 Topossequências com vegetação nativa .....	53
4.3.2 Topossequências com pastagens .....	59
4.3.3 Estimativas de perdas por erosão .....	61
4.4 Conclusões .....	63
4.5 Referências Bibliográficas .....	63
<b>Considerações finais</b> .....	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

No.	Título	Pag.
1.1.	Localização da Microbacia Vaca Brava, PB . . . . .	06
1.2.	Esquema da subdivisão do relevo para amostragens de solos (topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea) e tipos de solos dominantes na microbacia de Vaca Brava, PB . . . . .	07
1.3.	Curvas de nível (com equidistância de 5m) da microbacia Vaca Brava, PB . . . . .	08
1.4.	Distribuição das diferentes faces do relevo em áreas sob uso agrícolas na microbacia . . . . .	09
1.5.	Representação tridimensional da área agrícola da microbacia Vaca Brava, PB . . . . .	10
1.6.	Localização das amostras nas áreas sob atividade agropecuária . . . . .	12
1.7.	Teores de areia na meia-encosta em função da declividade do relevo . . . . .	12
2.1.	Esquema da subdivisão das encostas para amostragens de solos (ombro, meia encosta e pedimento) e tipos de solos dominantes na microbacia de Vaca Brava, PB. . . . .	21
2.2.	Proporção de solos das posições da encosta (a, b), uso da terra (c, d) e classe textural (e, f) em relação aos níveis de fertilidade do solo para fósforo e potássio . . . . .	29
3.1.	Esquema da subdivisão para amostragens de solos (várzea ou vale e topo ou crista) e tipos de solos dominantes na microbacia de Vaca Brava, PB . . . . .	36
3.2.	Proporção de solos da microbacia relacionados com a posição no relevo (a, b), uso da terra (c, d) e classe textural (e, f) em relação aos níveis de fertilidade do solo para fósforo e potássio . . . . .	43
4.1.	Modelo esquemático de amostragem de solos nas diferentes posições das topossequências . . . . .	51
4.2.	Localização das topossequências utilizadas e intervalos de camadas de solos para determinação da atividade do $^{137}\text{Cs}$ . . . . .	52
4.3.	Perfil de distribuição de $^{137}\text{Cs}$ em duas topossequência sob vegetação nativa – Mata . . . . .	54
4.4.	Relação entre classes texturais e a concentração de $^{137}\text{Cs}$ no solo (Ar: areia; ArFr: areia franca; FrAr: franco arenosa; FrArgAr: franco argilo arenosa; ArgAr: argilo arenosa; FrArg: franco argilosa; Arg: argilosa; Marg: muito argilosa . . . . .	57
4.5.	Perfil de distribuição de $^{137}\text{Cs}$ em três topossequências sob pastagem . . . . .	60

## LISTA DE TABELAS

No.	Título	Pag.
1.1.	Ocupação antrópica da microbacia de Vaca Brava, PB . . . . .	05
1.2.	Área e porcentagem por classe temática da microbacia de Vaca Brava, PB . . . . .	09
1.3.	Características físicas do solo (0 – 20 cm de profundidade) das áreas de uso antrópico da microbacia . . . . .	14
2.1.	Número de amostras compostas de solo, por estrato, em áreas de encosta pedimento, encosta linear e encosta ombro na microbacia de Vaca Brava, PB . . . . .	21
2.2.	Estatística descritiva para as variáveis analisadas em amostras de solo de áreas de ombro (n=24), meia encosta (n=189) e pedimento (n=41) . . . . .	23
2.3.	Médias geométricas de atributos determinado em amostras classificadas pela posição no relevo e uso da terra . . . . .	25
2.4.	Médias geométricas de atributos determinado em amostras classificadas pela posição no relevo e pela classe textural na microbacia Vaca Brava, PB . . . . .	27
3.1.	Resumo do número de amostras de solo por estrato de várzeas na microbacia de Vaca Brava . . . . .	36
3.2.	Estatística descritiva para as variáveis analisadas em amostras de solo de áreas de várzea (n=65) e de topo (n=41) . . . . .	38
3.3.	Médias geométricas de atributos determinado em amostras classificadas pela posição no relevo e o uso da terra . . . . .	39
3.4.	Médias geométricas de atributos determinado em amostras classificadas pela posição no relevo e pela classe textural na microbacia Vaca Brava, PB . . . . .	41
4.1.	Argila e carbono total em amostras retiradas de várias profundidades de topossequências com vegetação de Mata Atlântica de altitude ou com pastagens, nas quais foram determinadas as atividades de <sup>137</sup> Cs . . . . .	56
4.2.	Estoque de <sup>137</sup> Cs nas topossequências sob mata e pastagem nas diferentes posições de coleta . . . . .	57

**FERTILIDADE DO SOLO E REDISTRIBUIÇÃO DE  $^{137}\text{Cs}$  EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, RELEVO E CLASSES TEXTURAIS, EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ESTADO DA PARAÍBA.**

**Antonio Clementino dos Santos**

**RESUMO**

O aumento da intensidade do uso do solo e diminuição da cobertura vegetal nativa no nordeste brasileiro tem levado à degradação dos recursos naturais e, em especial, à diminuição da fertilidade do solo. Isto tem resultado na perda de biodiversidade e na diminuição da capacidade dos ecossistemas de recuperar-se após perturbações. A perda da fertilidade é ainda maior em áreas de relevo ondulado, nas quais se acentuam os processos erosivos quando a vegetação nativa é substituída por culturas agrícolas ou pastagens. Embora os sinais ambientais e socioeconômicos destes processos de degradação sejam evidentes, não há informação quantitativa que relacione esses sinais com níveis de fertilidade e erosão de solos. Por esses motivos, foi escolhida a microbacia de Vaca Brava (1404 ha = 14,04 km<sup>2</sup>), no Agreste Paraibano, para estudar as inter-relações entre o uso do solo, as posições na paisagem e a textura, nos níveis de fertilidade e de erosão de solo utilizando a redistribuição de  $^{137}\text{Cs}$ . Esta bacia exemplifica uma situação de áreas de minifúndio sob intensa exploração agropecuária de subsistência, comum na região, junto de uma área de preservação ambiental para servir de referência. Em uma primeira etapa foi realizado o levantamento planialtimétrico georreferenciado da microbacia. A partir dos dados topográficos foi realizada a digitalização da microbacia, em escala 1:5000, e posteriormente foram gerados mapas de curva de nível. A partir destes, foram calculadas as áreas absolutas e relativas para cada face do relevo. As áreas de encosta (ombro, meia encosta e pedimento) representaram 83% da área sob exploração agropecuária da microbacia. Posteriormente, foi constituída uma base de dados a partir de 360 amostras de solo (0-20 cm), obtidas em pontos amostrais georreferenciados e estratificados pela posição no relevo (topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea) e por cobertura vegetal (agricultura, pastagens, capineira – *Pennisetum purpureum*, sabiá – *Mimosa caesalpiniaefolia*, capoeira, e mata nativa). As amostras foram analisadas quanto às propriedades físicas (granulometria e densidade do solo) e químicas (C e N totais, P extraível

com Mehlich-1, pH em água, acidez e bases trocáveis). Os solos da microbacia, em geral, apresentaram baixa fertilidade. O nível de fertilidade não foi afetado pela posição das amostras no relevo ( $p < 0,05$ ). No entanto o uso e as classes texturais apresentaram efeito significativo na fertilidade do solo ( $p < 0,05$ ). Em relação ao uso, as amostras sob vegetação de mata nativa apresentaram teores significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) de C, N, Ca, Mg e CTCE, enquanto as amostras provenientes da área sob exploração agropecuária apresentaram maiores teores ( $p < 0,05$ ) de P, K e acidez trocável. Em relação à textura, a maioria das amostras nesta última área foram classificadas como areia-franca (ArFr) e franco-arenosa (FrAr) (64%), enquanto sob mata, 65% das amostras foram argilo-arenosa (ArgAr) e franco argilo-arenosa (FrArgAr). A relação entre textura e relevo foi verificada pela diminuição dos teores de areia com o aumento na declividade do terreno. De forma geral, os níveis de fertilidade foram sempre maiores para as amostras de texturas mais finas, independentemente da posição no relevo. Com base nesses resultados, não foi possível determinar diferenças significativas nos teores de nutrientes que definissem as várzeas como áreas de ganho líquido de nutrientes. Foi constatada uma deficiência generalizada de P, independentemente da posição no relevo, uso da terra ou classe textural. A utilização da segmentação da topossequência por posições no relevo, uso e profundidades, visando a determinação da erosão/sedimentação com a metodologia do  $^{137}\text{Cs}$ , mostrou-se eficiente. Foram amostradas duas topossequências sob vegetação de mata e três sob pastagem. Verificou-se correlação significativa ( $p < 0,01$ ) entre o teor de argila e a atividade de  $^{137}\text{Cs}$  no solo ( $r = 0,75$ ). O maior estoque sob mata nativa, na posição de topo, foi  $38,7 \text{ Bq m}^{-2}$  até 28 cm de profundidade, e na encosta foi muito semelhante e até a mesma profundidade. Por outro lado, o maior estoque sob pastagem foi de  $74,9 \text{ Bq m}^{-2}$ , mas já no ombro e na encosta os estoques ficaram abaixo do nível de detecção ( $0,03 \text{ Bq kg}^{-1}$ ). No ombro, isto resultou numa perda estimada de  $219,7 \text{ kg solo m}^{-2}$ , equivalente à uma camada de 20,0 cm de solo. Para a encosta a perda foi maior, chegando a  $268 \text{ kg m}^{-2}$ , equivalentes a 24,5 cm de solo. Admitindo-se a representatividade das áreas amostradas, fica evidente a intensa redistribuição de sedimentos que têm acontecido nesta microbacia, com o conseqüente transporte de matéria orgânica e nutrientes, a maioria dos quais, associados a fração argila, foram perdidos para o sistema fluvial.

SOIL FERTILITY AND  $^{137}\text{Cs}$  REDISTRIBUTION AS RELATED TO LAND USE,  
LANDSCAPE AND TEXTURE IN A WATERSHED OF PARAÍBA STATE.

Antonio Clementino dos Santos

**ABSTRACT**

Intensive land use and growing deforestation of the natural vegetation in Northeastern Brazil have contributed to the degradation of resources, particularly the decrease of soil fertility. As a result, biodiversity and ecosystem capacity to restore its resources after disturbances have been diminished. The decrease in soil fertility is more substantial in areas dominated by an undulating topography. In these areas, erosion is intensified when crops or pasture replaces natural vegetation. Even though degradation processes are reflected in environmental, social, and economical changes, there is a lack of information regarding the interrelationship between these changes and soil fertility and erosion. Thus, the “Vaca Brava” watershed (14,04 km<sup>2</sup>), located in the “Agreste” region of Paraíba State, was selected to study the interrelationships between land use, landscape, particle size distribution, soil fertility and erosion using  $^{137}\text{Cs}$  redistribution. Small farms, where subsistence agriculture is intensive, are common in this watershed, as well as areas for environmental protection. A georeferenced survey of the watershed topography was initially carried out. Based on the survey data, the watershed was digitalized using a scale of 1:5000, and a 3-D map was created. Each landform element had its area determined on a area (absolute value) and percentage (relative value) basis. Shoulder, backslope and footslope positions represented 83% of the cultivated area in the watershed. A data base of 360 georeferenced soil samples (0 – 20 cm), collected using a stratified sampling scheme, was further created. Sites were stratified based on their landscape position (summit, shoulder, backslope, footslope, and toeslope) in factorial combination with land use (annual crops, pasture, *Pennisetum purpureum*, *Mimosa caesalpiniaefolia*, bush-fallow, and native forest). Physical analyses of the soil samples included particle size distribution and bulk density, whereas soil chemical analyses were total C and N, extractable P (Mehlich-1), pH (water), exchangeable acidity and cations). The soils of the watershed generally exhibited low fertility, regardless of their landscape position ( $p < 0.05$ ). However, land use and texture contributed significantly to the soil fertility ( $p < 0.05$ ). The contents of C, N, Ca, Mg, and ECEC were significantly higher ( $p < 0.05$ ) for the forest soils, whereas P, K, and exchangeable acidity were higher ( $p < 0.05$ ) in the cultivated soils. Forest soils were

classified as sandy clay and sandy clay loam (65%), whereas cultivated soils were identified as sand and sandy loam (64%). Particle size distribution and topography were interrelated as sand contents decreased with the increase in slope. Overall, soils with finer texture showed higher fertility levels, regardless of the landscape position. Catchment sites were not discriminated as areas of significant gain of nutrients. It was observed a strong P deficiency, regardless of the landscape position, land use or particle size distribution. The catena segmentation, based on landform elements, land use and soil depths, was an efficient tool to understand the erosion/sedimentation processes by using the  $^{137}\text{Cs}$  redistribution approach. Soils of the topossequences under native forest ( $n = 2$ ) and pasture ( $n = 3$ ) were sampled for this purpose. It was observed a significant correlation between clay content and  $^{137}\text{Cs}$  activity in the soil ( $r = 0.75$ ,  $p < 0.01$ ). At the summit positions of the forest soil, the average  $^{137}\text{Cs}$  stock down to a depth of 28 cm was  $38,7 \text{ Bq m}^{-2}$ . At the backslope positions the  $^{137}\text{Cs}$  stock was similar for the same depth range. On the other hand, the average  $^{137}\text{Cs}$  stock in soils under pasture at the summit landscape position was  $58,0 \text{ Bq m}^{-2}$ , with a maximum of  $74,9 \text{ Bq m}^{-2}$ . Levels of  $^{137}\text{Cs}$  were below detection limit ( $0,03 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) on soils under pasture from the shoulder and backslope positions. The redistribution of  $^{137}\text{Cs}$  within the shoulder landscape position resulted in an estimated loss of  $219,7 \text{ kg soil m}^{-2}$ , which is equivalent to a soil layer of 20,0 cm. Soil losses were higher on the backslope position, which reached a value of  $268 \text{ kg m}^{-2}$ . This loss corresponds to the removal of a 24,5 cm soil layer. Given that the topossequences were representative of the area, these results indicate intense sediment redistribution within the watershed, which probably caused the transport of organic matter and nutrients associated with the clay fraction into the fluvial system.

## INTRODUÇÃO

A integração dos recursos naturais primários (água, solo e vegetação) é vital para manter a funcionalidade, biodiversidade e produtividade dos ecossistemas terrestres. A rápida degradação dos solos sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola. Desde então, vários conceitos de qualidade do solo foram propostos; um deles, porém, define a qualidade do solo como sendo a sua “capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra”.

É necessário definir atributos de solo e do ambiente sensíveis ao manejo e de fácil determinação, que permitam acompanhar as mudanças nessa qualidade do solo. Esta informação poderá então ser utilizada para sugerir modificações nos sistemas de manejo em uso pelos agricultores, a tempo de evitar a degradação do solo pela erosão e queda da fertilidade. Para que essa informação se traduza em uma preservação ambiental significativa, as pesquisas devem ser desenvolvidas em uma escala comunitária ou de microbacia. Tradicionalmente, avaliações e mapeamento de solos eram baseados em diversos fatores de formação do solo, particularmente material de origem, relevo, clima, organismos e tempo, mas, com o aumento na intensidade no uso do solo, é necessário incluir também a influência desta variável na sua degradação. Há dificuldades para definir a diminuição da fertilidade de um solo em termos absolutos e, por esse motivo, geralmente se recorre a estudos comparativos, nos quais uma área de preservação é utilizada como referência.

A matéria orgânica é uma das principais variáveis associadas à qualidade do solo, exercendo influência sobre a disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions do solo, agregação, infiltração, retenção de água no solo e atividade biológica. Sua interação com outras variáveis físicas, químicas, biológicas e ambientais determinam a capacidade produtiva dos solos. Na atual situação da agricultura nordestina, a utilização de fertilizante é praticamente inexistente e a produtividade depende dos níveis de fertilidade natural dos solos e da ciclagem de nutrientes, que estão associados aos teores de matéria orgânica.

Em relação aos fatores ambientais, o mais significativo na região semi-árida tropical é a disponibilidade de água, controlada principalmente pelas chuvas. Entretanto, o relevo também pode afetar o balanço de água no solo e aeração, em função da declividade,

orientação e curvatura, influenciando significativamente os níveis de matéria orgânica do solo e conseqüentemente na paisagem.

Para definir o alcance do trabalho foram formuladas as seguintes hipóteses: a) a fertilidade do solo diminui com o aumento da declividade, devido ao aumento das perdas por erosão; b) a diminuição da fertilidade aumenta com a intensidade do uso de solo; c) na interação desses dois fatores, o empobrecimento do solo será maior naquelas combinações de elevada declividade e uso intensivo do solo, e d) a erosão do solo, avaliada com a técnica do  $^{137}\text{Cs}$  será maior nas áreas sob pastagem que naquelas sob mata nativa.

Estes temas foram apresentados em quatro capítulos: 1) Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB; 2) Influência do uso e posição do relevo na fertilidade de solos nas áreas de encosta; 3) Influência do uso e posição do relevo na fertilidade de solos nas áreas de topo e várzea; e, 4) Redistribuição de  $^{137}\text{Cs}$  em distintas profundidades e posições topográficas em solos sob pastagem e sob vegetação nativa.

## **CAPÍTULO 1**

### **1 - RELAÇÃO ENTRE O RELEVO E AS CLASSES TEXTURAIS DO SOLO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DE VACA BRAVA, PB**

# **1 - RELAÇÃO ENTRE O RELEVO E AS CLASSES TEXTURAIS DO SOLO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DE VACA BRAVA, PB**

## **1.1 – INTRODUÇÃO**

A rápida degradação dos ecossistemas sob exploração antrópica, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou nas últimas décadas, a preocupação com a preservação e a sustentabilidade da exploração agrícola (Doran & Parkin, 1994). No nordeste do Brasil existem numerosos exemplos de degradação ambiental, associada à exploração intensiva de áreas com agricultura familiar, onde predominam minifúndios, que se reflete no assoreamento e na poluição dos cursos d'água, na redução da produtividade dos solos e na perda de biodiversidade da fauna e da flora (Lal & Pirce, 1991).

A caracterização do relevo em uma microbacia é a base fundamental para o delineamento do manejo sustentável da terra em áreas com características semelhantes. O conhecimento da heterogeneidade da paisagem também é importante para desenvolver esquemas de amostragem de solo e definir práticas de manejo. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) demonstraram sua viabilidade para esse tipo de estudos ambientais (Assad, 1995; Brown et al., 2000; Burrough, 1986; Burrough et al., 1996; Formaggio et al., 1992; Rodrigues et al., 2001; Valério Filho, 1992).

Além do relevo, o conhecimento da forma de ocupação da terra, quanto à sua natureza e localização, são de grande valia para programar o desenvolvimento agrícola, econômico e social de uma região (Mielniczuk, 1999; Politano et al., 1980). Para que essas informações se traduzam em uma preservação ambiental significativa, as pesquisas desenvolvidas em uma escala comunitária ou de microbacia precisam ser priorizadas (Castro Filho, 1994).

Por esses motivos, esta técnica foi utilizada para tematizar a microbacia de Vaca Brava, localizada no agreste Paraibano, a qual, devido ao uso intensivo da terra, demonstra sinais de degradação. Neste trabalho, o objetivo foi realizar o levantamento tridimensional da bacia e tematizá-la em relação às declividades e, ainda, caracterizar a relação espacial entre o relevo, as propriedades físicas do solo e o uso da terra.

## 1.2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 - Caracterização da área

A microbacia de Vaca Brava (192000 – 198000 m E e 9225300 – 9231000 m N de coordenadas UTM) tem uma área de 14,04 km<sup>2</sup> (Figura 1.1). Parte desta área (6,1 km<sup>2</sup>) constitui uma reserva de Mata Atlântica de altitude, a qual preserva a área de captação da barragem Vaca Brava, PB. Esta é a única reserva florestal deste tipo no Agreste da Paraíba.

A barragem abastece três municípios no agreste paraibano, que perfazem uma população de aproximadamente 92.000 pessoas. O restante da área da microbacia se caracteriza por ser predominante o minifúndio (IBGE, 1998). Por esses motivos, é uma microbacia que tem grande importância sócio-econômica e ambiental.

Na caracterização da microbacia foi considerada apenas a área sob exploração agropecuária, de subsistência. Nesta área há predominância de pastagens, seguida de agricultura de subsistência (milho, feijão, mandioca) e os solos apresentam sinais evidentes de degradação física.

Embora inserida no semi-árido nordestino (Reddy, 1983), a bacia tem um microclima favorável (clima quente e úmido e precipitação média anual de 1200 mm) e por isso, é uma área de atividade agropecuária intensa. O relevo é fortemente ondulado.

A densidade populacional nas propriedades da microbacia (Tabela 1.1) varia em função do tamanho da gleba; os minifúndios são predominantes, uma vez que aproximadamente 76% das propriedades têm áreas menores que 5 ha (69,7% da população), enquanto que as demais glebas são maiores que 5 ha, com 30,3% da população. Entende-se com estes dados, a predominância da agropecuária de subsistência, já que a grande maioria das propriedades não atinge o módulo familiar, que para a região de brejo de altitude no Estado da Paraíba é de 5ha (IBGE, 1998).

**Tabela 1.1.** Ocupação antrópica da microbacia de Vaca Brava, PB.

Área	Nº de Propriedades	Nº de Residências	Nº de Habitantes
< 1 ha	55	59	212
1 – 2 ha	20	27	115
2 – 5 ha	28	38	156
5 – 10 ha	24	38	161
10 - 20 ha	9	16	49
> 20 ha	7	19	62

Considerando tratar-se de uma área na zona rural e inserida numa região semi-árida (Reddy, 1983) a densidade populacional é alta, com 95 hab km<sup>-2</sup> de área, distribuídas em 143 propriedades. As informações dos tipos de solos e área de ocupação de toda microbacia (reserva florestal e agropecuária) se encontram na figura 1.2.

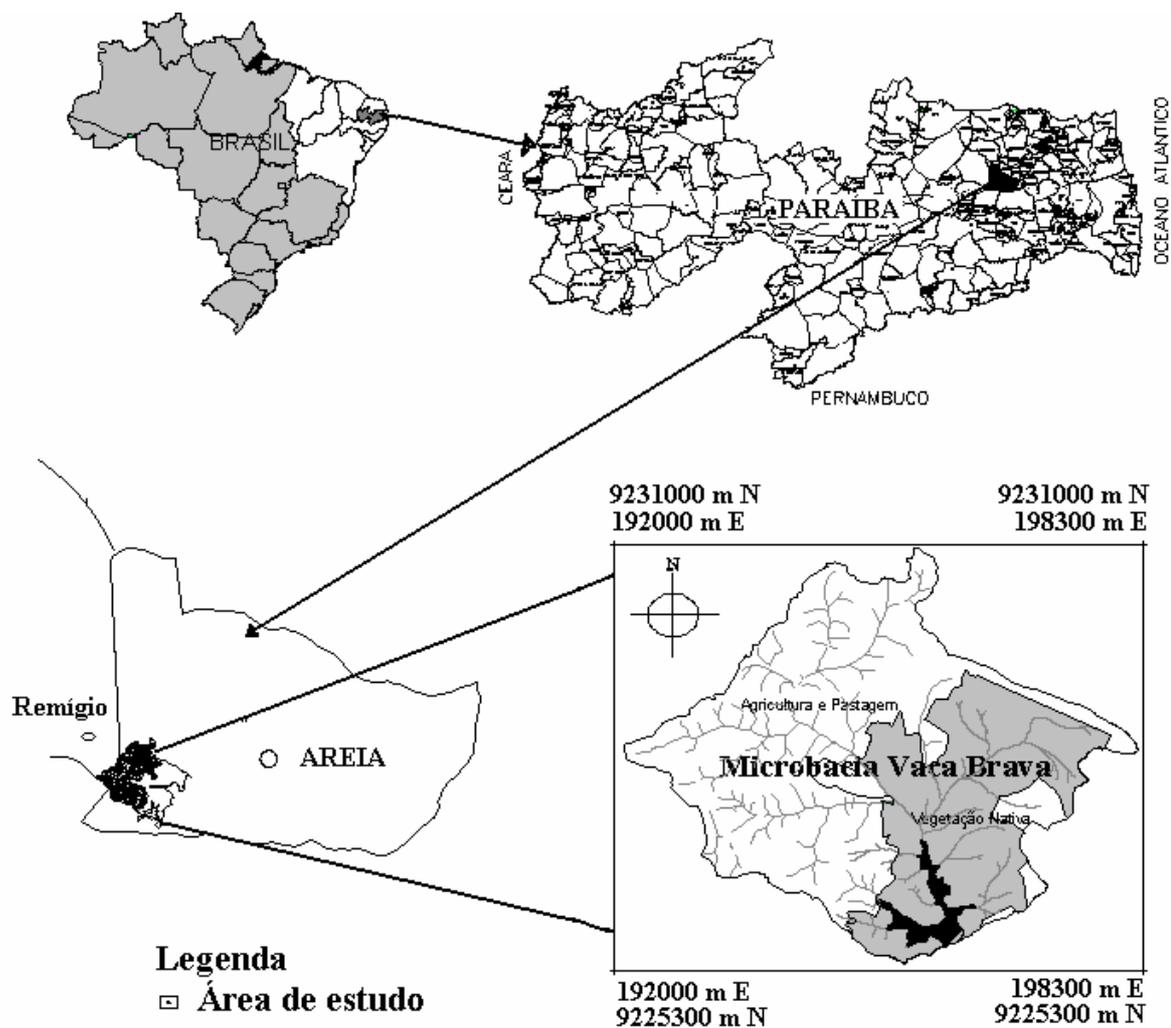


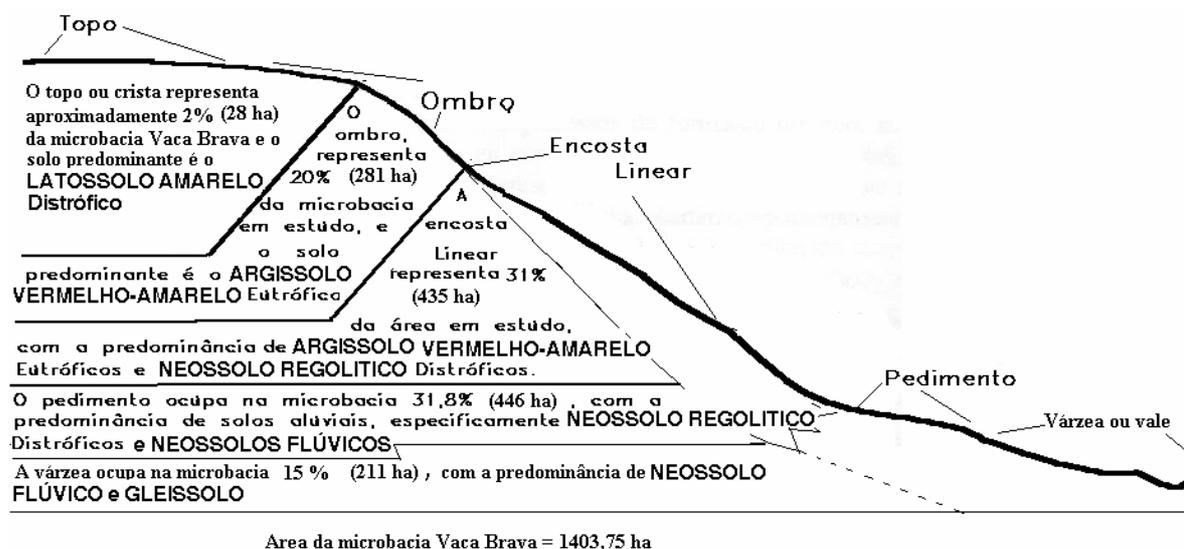
Figura 1.1. Localização da Microbacia Vaca Brava, PB.

### 1.2.2 – Metodologia

Para se obter os dados base da microbacia, foi realizado um levantamento planialtimétrico georreferenciado. A partir de aproximadamente 300 pontos de apoio foram realizadas cerca de 12.000 visadas de toda a microbacia. A maioria dos pontos foi nas

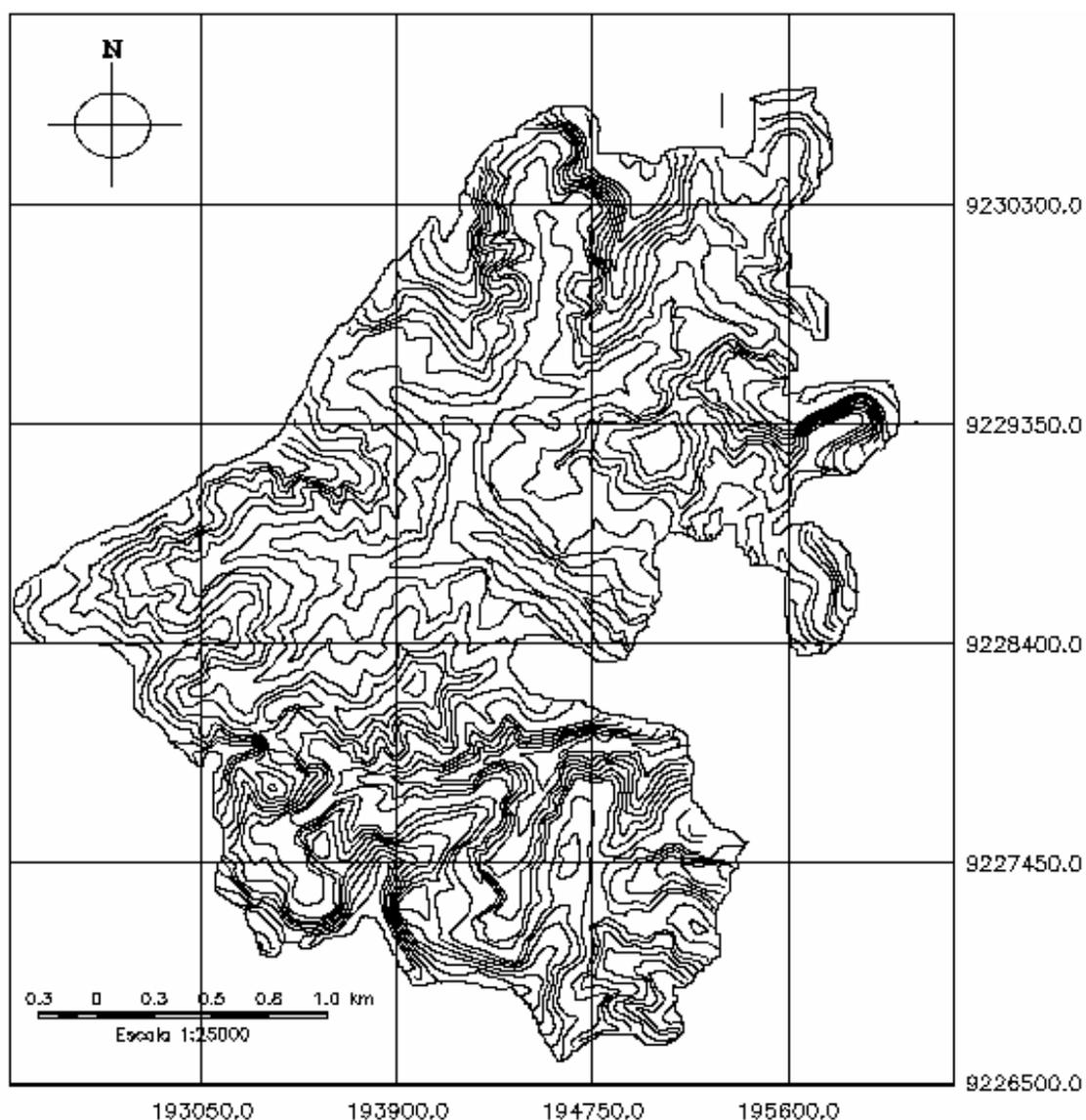
áreas sob atividade agropecuária, devido às áreas sob vegetação nativa apresentarem limitações ao trabalho com GPS topográfico (Global Positioning System) e Estação Total.

Simultaneamente com as leituras mencionadas, foram levantadas informações adicionais (presença de pontes, casa, estábulos, estradas, etc.). A partir dos dados topográficos foi realizada a digitalização da microbacia, em escala de 1:5000.



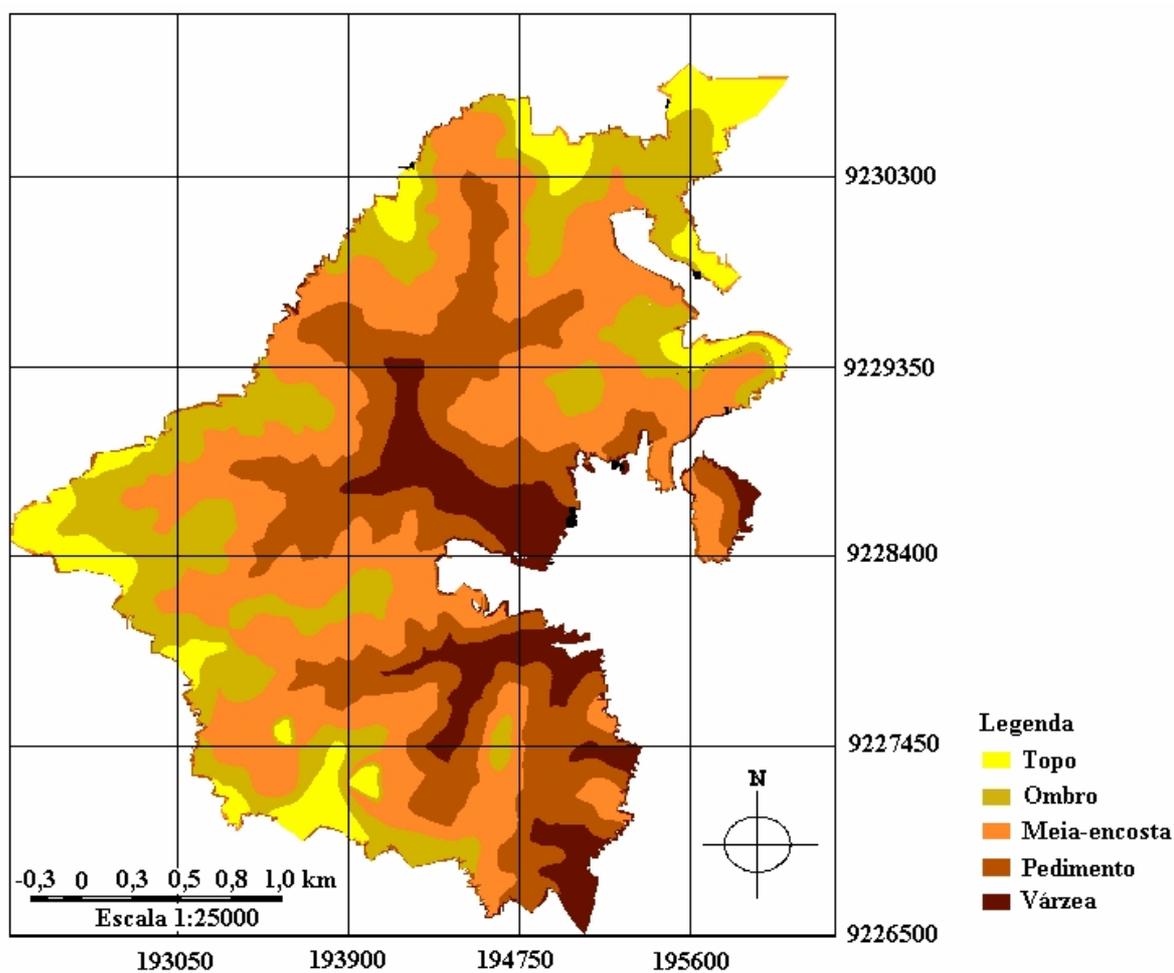
**Figura 1.2.** Esquema da subdivisão do relevo para amostragens de solos (topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea) e tipos de solos dominantes na microbacia de Vaca Brava, PB.

Os dados das curvas de nível (equidistância entre curvas de nível de 5 m) em extensão *dx* (*Drawing Interchange File*) foram então importados para o SPRING 3.6 (INPE, 2002) e o SURFER7 (1999). A digitalização das curvas de nível gerou uma série de arquivos vetoriais e a partir daí foram colocadas as cotas das curvas de nível, (Figura 1.3) e gerada uma grade retangular com resolução de 30 por 30 m e interpolador de média ponderada / cota quadrática. Em seguida, esses arquivos vetoriais foram convertidos para o formato raster, gerando-se uma imagem sintética de níveis de cinza. Sobre esta imagem basearam-se todos os procedimentos de interpolação dos valores de altitude e cálculo de declividade, que culminaram com a obtenção do mapa da distribuição espacial do relevo. Com os dados de declividade e curvas de nível foi realizado o fatiamento que é apresentado na figura 1.4. Finalmente, geraram-se as isolinhas e depois a visualização tridimensional (Figura 1.5).



**Figura 1.3.** Curvas de nível (com equidistância de 5 m) da microbacia hidrográfica Vaca Brava, PB.

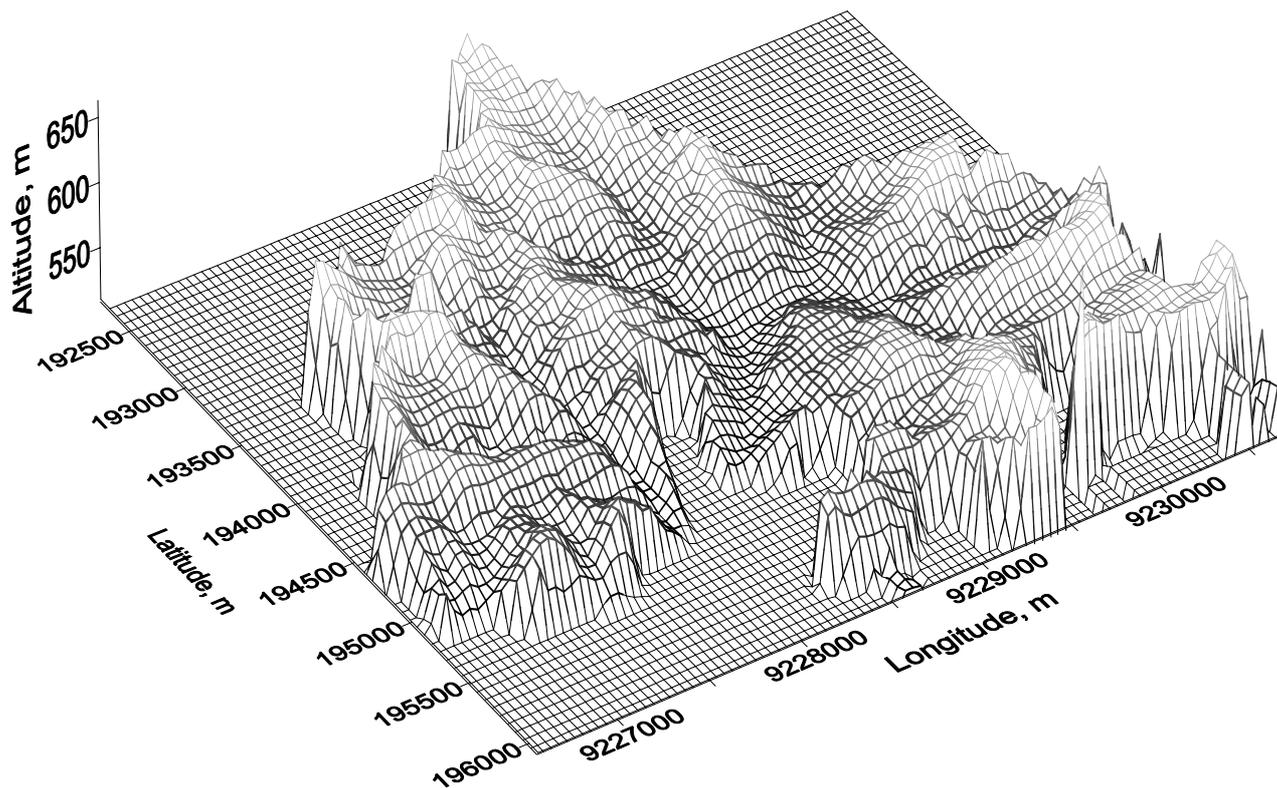
Para descrever as características do solo, coletaram-se 300 amostras de solo em diversas posições do relevo (várzea, topo, pedimento e encosta) na profundidade de 0-20 cm (Figura 1.5). As amostras foram analisadas quanto à textura (distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas de que se compõe o solo), (EMBRAPA, 1997).



**Figura 1.4.** Distribuição das diferentes faces do relevo em áreas sob uso agropecuário na microbacia

**Tabela 1.2.** Área e porcentagem por classe temática da microbacia de Vaca Brava, PB.

RELEVO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	%
<i>Várzea</i>	1,225	15,43
<i>Pedimento</i>	2,467	31,80
<i>Meia-encosta</i>	2,457	30,95
<i>Ombro</i>	1,606	20,24
<i>Topo</i>	0,158	1,99
<i>Não Classificados</i>	0,025	0,31
<b>Total</b>	<b>7,937</b>	<b>100</b>



**Figura 1.5.** Representação tridimensional da área agrícola da microbacia Vaca Brava, PB (Sistema de projeção: SAD-69)

### **1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A microbacia Vaca Brava apresenta cerca de 1.162 ha de solos de encostas (ombro, meia encosta e pedimento), ou seja, em aproximadamente 83% da área predominam encostas (Figura 1.2). O solo que predomina nos ombros e meia encosta é o ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico, enquanto que no pedimento encontram-se os ARGISSOLOS VERMELHO AMARELO Eutróficos e NEOSSOLOS FLÚVICOS (BRASIL, 1972; EMBRAPA, 1999). No entanto, as encostas são caracterizadas por uma grande heterogeneidade (Fanning e Fanning, 1989; Silva et al., 2001).

As planícies (várzeas e topo) representaram apenas 17% das áreas sob exploração agropecuária e foram resumidas a diversas pequenas glebas, distribuídas na área da bacia. No entanto, são as áreas preferidas pelos produtores para uso agrícola devido à facilidade de manejo (planas) e acúmulo de água no solo. As áreas de encostas foram as predominantes (82%) o que caracteriza a região como de relevo forte a fortemente ondulado. A declividade

mediana foi em torno de 17%. A predominância de áreas de encosta com esse declive acentuado, em relação às áreas de planície, apontam para a necessidade de um manejo adequado do solo, visando minimizar os processos erosivos, que resultam na degradação da qualidade do solo (Figuras 1.3, 1.4, e tabela 1.2).

Atualmente, as áreas se encontram bastante erodidas pelo processo de vertentes (escoamento superficial, rastejamento e deslizamento), processos fluviais e ainda pela interferência antrópica que acelera os processos erosivos naturais. O material é movimentado vertente abaixo, propiciando a formação de depósitos de pé de vertente ou talude de detritos, alguns retrabalhados de modo acentuado. Estes depósitos camuflam até certo ponto o contato angular com a baixada (Carvalho, 1982).

Na figura 1.4, observa-se a representação 3D do relevo do setor da bacia sob exploração agropecuária (sem a vegetação nativa). O sistema de drenagem da bacia passa pela área de reserva florestal (Figura 1.1) antes de atingir as cotas mais baixas, onde se encontra o reservatório. Esse sistema conta, na área agrícola, com duas várzeas principais (Figura 1.4) que convergem num canal único, já dentro da mata (Figura 1.1). Os locais de retiradas de amostras de solo para análises estão indicados na figura 1.6.

As classes texturais encontradas foram: Areia (Ar), Areia-franca (ArFr), Franco-arenosa (FrAr), Franco-argilo-arenosa (FrArgAr), Areno-argilosa (ArArg), Argilo-arenosa (ArgAr) e Argila (Arg). As texturas mais grosseiras (ArFr, FrAr) foram, de forma geral, encontradas em áreas menos declivosas (< 8%); os produtores preferem estas áreas para o cultivo de culturas anuais (milho, feijão e mandioca) e formação de capineiras (capim elefante). Esta preferência não é só pela menor declividade e sim também por serem áreas de acúmulo de sedimento (solos mais férteis), pela facilidade de preparo do solo e por manterem a umidade por períodos de tempo mais longos. Mesmo nas áreas planas (várzeas) os produtores utilizam os solos de textura fina para pastagens e capineiras e não para agricultura.

As culturas plantadas em solos arenosos, desde que os fatores de produção estejam em níveis adequados (umidade, temperatura, etc), são comumente mais produtivas que em solo argilosos, mesmo que uma análise química revele níveis de fertilidade semelhantes (Assis & Bahia, 1998). Talvez a textura seja um dos fatores mais importantes na determinação do uso do solo nesta região.

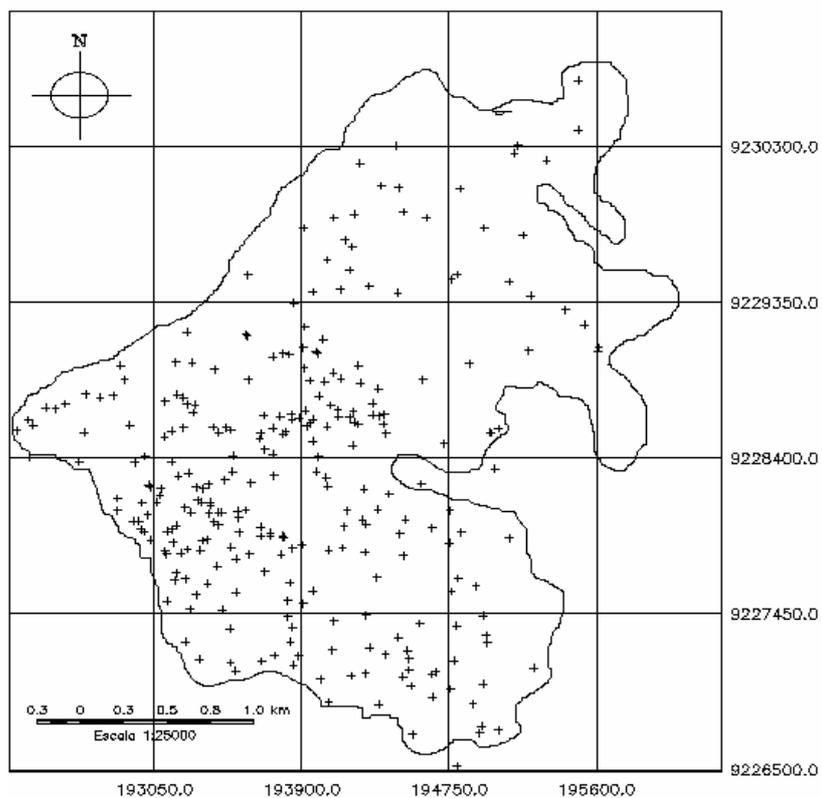


Figura 1.6. Localização das amostras nas áreas sob atividade agropecuária.

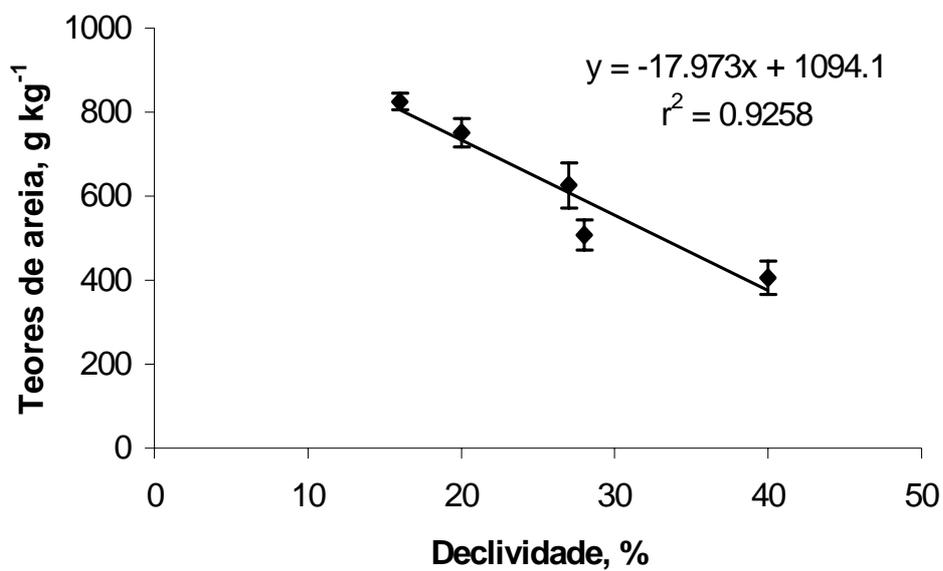


Figura 1.7. Teores de areia na meia-encosta em função da declividade do relevo

Nas áreas com declividade mais acentuada as texturas predominantes foram mais finas. A relação entre textura e declividade foi indicada na figura 1.7, onde se observa que quanto maiores as declividades menores foram os teores de areia na camada de 0-20 cm do solo. Este gradiente provavelmente decorre de processos erosivos; de forma geral, é esperada uma relação estreita entre a susceptibilidade à erosão e a declividade do terreno. O solo que predomina nesta região é o Argissolo Vermelho-Amarelo equivalente Eutrófico (EMBRAPA, 1999), com a camada superficial de textura predominantemente arenosa e logo abaixo segue uma camada argilosa (transição abrupta). Desta forma, amostras de 0-20 cm em encostas erodidas terão teores decrescentes de areia (e conseqüente aumento de silte + argila) quanto maior tenha sido a erosão. Portanto, a diminuição de areia com o aumento da declividade (Figura 1.6) foi interpretada como um aumento da erosão. Porque a erosão tende a ser maior em solos com maiores teores de silte e areia e menor nos solos argilosos (Resende, 1985). Os solos de textura mais grosseira, devido à baixa agregação de suas partículas, são facilmente erodíveis. Entretanto, solos com elevados teores de silte, têm certa agregação quando secos, mas quando umedecidos apresentam agregados com baixa estabilidade, sendo facilmente dispersos e transportados (Ferreira, 1992).

Quando uma topossequência é cultivada sem um manejo adequado, todos os solos ao longo do declive perdem sedimentos por arrastamento, principalmente nas primeiras chuvas que nestas regiões ocorrem com alta intensidade favorecendo a erosão. Com a continuação do cultivo e erosão, as áreas convexas das encostas apresentam perdas progressivas de sedimentos, enquanto que as áreas côncavas atuam inicialmente como áreas de deposição.

Entretanto, com a continuidade da erosão, as áreas côncavas também sofrem perdas de sedimentos para outros locais (Gregorich et al. 1998). Geralmente, estes sedimentos que se perdem das áreas declivosas são acumulados nas menores cotas, que geralmente são áreas de várzeas. Encontrou-se uma relação direta entre as classes texturais e a densidade do solo, com o aumento desta última à medida que a textura do solo foi ficando mais grosseira (Tabela 1.3).

**Tabela 1.3.** Características físicas do solo (0 – 20 cm de profundidade) das áreas de uso antrópico da microbacia.

TEXTURA		ds	Areia	Silte	Argila	D $\hat{y}$	Uso
		g cm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>			%	Predominante
Várzeas (n. 53)	ArFr (n.22)	1,38 ± 0,02	812 ± 7,12	113 ± 7,49	75,0 ± 4,41	0 – 5	Agricultura/capineira
	FrAr (n.27)	1,28 ± 0,01	721 ± 10,8	139 ± 7,85	140 ± 5,05	0 – 5	Agr./cap./pastagem
	FrArgAr (n.04)	1,15 ± 0,02	562 ± 22,9	168 ± 12,6	270 ± 20,6	0 – 5	Pastagem/capineira
Pedimento (n.39)	ArFr (n.19)	1,32 ± 0,01	835 ± 5,65	76,2 ± 5,47	89,0 ± 2,63	10,0 ± 0,99	Agri./past./capineira
	FrAr (n.15)	1,25 ± 0,01	776 ± 6,16	84,5 ± 4,93	139 ± 3,04	9,40 ± 1,22	Pastagem/agricultura
	FrArgAr (n.05)	1,13 ± 0,04	677 ± 13,8	101 ± 9,33	222 ± 5,88	10,0 ± 0,85	Pastagem
Meia Encosta (n.152)	ArFr (n.29)	1,32 ± 0,01	825 ± 3,76	79,0 ± 2,99	95,9 ± 2,47	16,0 ± 0,89	Agricultura/Pastagem
	FrAr (n.54)	1,24 ± 0,01	751 ± 4,73	95,9 ± 2,28	153 ± 3,81	20,0 ± 0,89	Pastagem
	FrArgAr (n.47)	1,10 ± 0,01	626 ± 7,88	103 ± 3,41	271 ± 6,59	27,0 ± 1,59	Pastagem
	ArgAr (n.16)	1,01 ± 0,02	508 ± 8,98	86,2 ± 5,80	406 ± 8,58	28,0 ± 2,81	Pastagem
	Arg (n.06)	0,95 ± 0,01	406 ± 16,1	114 ± 6,31	480 ± 20,8	40,0 ± 3,44	Pastagem
Ombro (n.23)	ArFr (n.07)	1,36 ± 0,01	823 ± 7,00	89,0 ± 6,50	87,6 ± 5,27	12,7 ± 1,45	Agricultura
	FrAr (n.02)	1,27 ± 0,01	791 ± 8,13	92,0 ± 12,7	116 ± 4,60	21,0 ± 0,71	Agricultura/Pastagem
	FrArgAr (n.10)	1,12 ± 0,01	655 ± 20,9	94,6 ± 11,71	260 ± 16,1	13,6 ± 1,36	Pastagem/Capoeira
	ArgAr (n.04)	0,96 ± 0,02	523 ± 8,25	93,7 ± 8,88	381 ± 3,54	16,2 ± 3,65	Pastagem/Capoeira
Topo (n.29)	ArFr (n.07)	1,30 ± 0,03	830 ± 9,06	72,4 ± 8,72	98,0 ± 7,24	0 – 5	Pastagem
	FrAr (n.10)	1,25 ± 0,01	782 ± 5,83	65,7 ± 3,94	152 ± 7,46	0 – 5	Agricultura
	FrArgAr (n.08)	1,12 ± 0,02	663 ± 16,7	80,2 ± 6,4	256 ± 13,9	0 – 5	Pastagem
	ArgAr (n.04)	1,01 ± 0,04	514 ± 23,1	66,5 ± 8,67	419 ± 18,1	0 – 5	Pastagem/Agricultura

**ArFr:** Areia Franca; **FrAr:** Franco Arenosa; **FrArgAr:** Franco Argilo arenosa; **FrArg:** Franco Argilosa; **ArgAr:** Argilo Arenosa, **Arg:** Argilosa; **n.:** número de amostras; **ds:** densidade do solo; **d $\hat{y}$ :** declividade média, média ± erro padrão.

## 1.4 - CONCLUSÕES

A microbacia de Vaca Brava é caracterizada por um relevo ondulado, onde predominam (82%) as encostas (ombro, meia-encosta e pedimento). Com base nas classes texturais, densidade do solo e uso predominante, conclui-se que a variabilidade dessas propriedades está na dependência do relevo. Não obstante as diferenças topográficas, a utilização do solo foi principalmente definida conforme a textura.

## 1.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, M. L. L. Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. **R. Bras. Ci. Solo, Viçosa**. v.19, p.133-139, 1995.
- ASSIS, R. L.; BAHIA, V. G.; Práticas mecânicas e culturais de recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.191, p.71-78, 1998.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo. Divisão de Agrologia – SUDENE. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTAP, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15).
- BROWN, S., SCHREIER, H., SHAH, P. B. Soil phosphorus fertility degradation: a Geographic Information System – based assessment. **J. Environ. Qual.** v.29, p.1152-1160, 2000.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resource assessment**. Oxford University Press, New York. 194p, 1986.
- BURROUGH, P. A.; VAREKAMP, C.; SKIDMORE, A. K. Using public domain Geostatistical and GIS Software for spatial interpolation. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.62, n.7, p.845-854, 1996
- CASTRO FILHO, C. A experiência em microbacias no arenito caiuá. In: PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. UNEP/SBCS, Jaboticabal, p.159-168, 1994.
- CARVALHO, M. G. R. F. de “Estado da Paraíba”; **classificação geomorfológica**. João Pessoa, Editora Universitária/UFPb, 72p, 1982.

- DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; ETEWART, B. A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA. p.3-21, 1994. (SSSA Special Publication, 35)
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análises de solos**. 2.Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p, 1999.
- FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil morphology, gênesis and classification**. New York, John Wiley & Sons, 1989, 395p.
- FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia**. Lavras: ESAL, 82p, 1992, (Tese de Mestrado).
- FORMAGGIO, A. R.; ALVES, S. D.; EPIPHANIO, J. C. N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa. v.16, p.249-256, 1992.
- GREGORICH, E. G.; GREER, K.J.; ANDERSON, D. W., LIANG, B. C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil & Tillage Research**, v.47, p.291-302, 1998.
- IBGE. Censo agropecuário do Estado da Paraíba, 1998
- INPE. **SPRING 3.6**. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. INPE, São Paulo, 2002.
- LAL, R. & PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F.J. (Eds.) **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.1-5, 1991.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas Agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, p.1-8, 1999.
- POLITANO, W.; CORSINI, P. C.; VASQUES, J. G. Ocupação do solo no município de Jaboticabal, SP. **Científica**, São Paulo, SP, v.8, n.1/2, p.27-34, 1980.
- REDDY, S.J. Climatic classification: the semi-arid tropics and its environment – a review. **Pesq. Agropec. Bras.** n.18, p.823-847, 1983.

RESENDE, M. N. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos.

**Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.128, p.3-18, 1985.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C.R.L.; PIROLI, E. L. Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). **R. Bras. Ci. Solo**,

Viçosa. v.25, p.675-681, 2001.

SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, R.A.M. Estudo de topossequência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição

topográfica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, n.4, p.965-976, 2001.

SURFER 7. **Golden Software, Inc.** Contouring and 3D surface mapping for Scientists and Engineers, 1999.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado ao estudo integrado de bacias hidrográficas. **In: Solos altamente suscetíveis à erosão.** SBCS,

p.223-242, 1992.

## **CAPÍTULO 2**

### **2 - INFLUÊNCIA DO USO E POSIÇÃO DO RELEVO NA FERTILIDADE DE SOLOS NAS ÁREAS DE ENCOSTA**

## **2 - INFLUÊNCIA DO USO E POSIÇÃO DO RELEVO NA FERTILIDADE DE SOLOS NAS ÁREAS DE ENCOSTA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

O relevo é considerado um fator que modifica o efeito dos demais fatores de formação do solo (Jenny, 1941). Entre eles destacam-se a distribuição da umidade na paisagem, as diferenças na temperatura dos solos causadas pela altitude e exposição ao sol, a intensidade dos processos de remoção de sedimentos e solutos (erosão e lixiviação), e as variações no nível de lençol freático (Silva et al., 2001; Fanning e Fanning, 1989).

Quando se trabalha na escala de propriedades rurais ou microbacia hidrográfica, observa-se que a atividade exploratória (agrícola ou pecuária) baseia-se no relevo, ou seja, o uso é função da posição topográfica. Até porque em função da variação da topografia (declividade) variam o tipo de solo e a capacidade de armazenamento de água; conseqüentemente, o manejo tem que ser diferenciado.

Além da topografia, outros fatores contribuem para afetar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Dentre eles, podem ser citados: o tipo ou ausência de cobertura vegetal, principalmente nos topos e nas encostas íngremes; a falta de organização no uso das pastagens, que normalmente resulta em sobrepastejo; a falta de adubação e correção do solo; a escolha de plantas forrageiras não bem adaptadas ao meio; incompatibilidade das espécies associadas; falta de controle de ervas daninhas, pragas e doenças (Costa, 1980; Nascimento Jr. et al., 1995; Pupo, 1979).

A degradação do solo surge quando se interfere na sua cobertura natural, eliminando-a simplesmente ou substituindo-a por outra cultura. No primeiro caso, o solo fica exposto à erosão, sendo os efeitos dos agentes erosivos mais ou menos intensos, conforme a resistência do solo e a erosividade das chuvas e dos ventos do local. No segundo caso, a degradação do solo pode ser causada tanto pela erosão quanto pela deterioração de suas propriedades por uso e manejo indevidos. O solo, desprovido de cobertura vegetal nas áreas agrícolas preparadas para o plantio, ou com a cobertura vegetal diminuída nos casos de sobrepastejo, sem a ação fixadora das raízes e com o impacto direto da chuva ou do vento, fica exposto aos processos erosivos (EMBRAPA, 1980). Esses processos são mais marcantes nas encostas e aumentam de intensidade com o aumento da declividade.

O detalhamento dos atributos do solo que são influenciados pelo manejo, precisa de estudo complementar no sentido de conhecer-se como varia a fertilidade com a posição que o solo ocupa no relevo. Por esse motivo, o presente trabalho teve por objetivo estudar simultaneamente o efeito da posição nas encostas e do uso da terra na fertilidade do solo, levando-se em conta também as diferentes classes texturais, por meio de uma amostragem estratificada em uma microbacia hidrográfica.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

As áreas de encostas estudadas localizam-se na microbacia Vaca Brava, PB, que se encontra descrita no Capítulo 1 (item: 1.2.1 - Caracterização da área).

Nas áreas sob encosta (ombro, meia encosta e pedimento) encontraram-se os seguintes usos: pastagem, agricultura, capineira (*Pennisetum purpureum*, schum.), sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), capoeira e mata nativa (representa um reduto da Mata Atlântica de altitude). Após a localização, de cada área amostral, foi obtida uma amostra composta de solo da camada de 0-20 cm, constituída de 10 amostras simples retiradas ao acaso para cada uso do solo, e que representava uma área oscilando entre 0,5 e 3 ha.

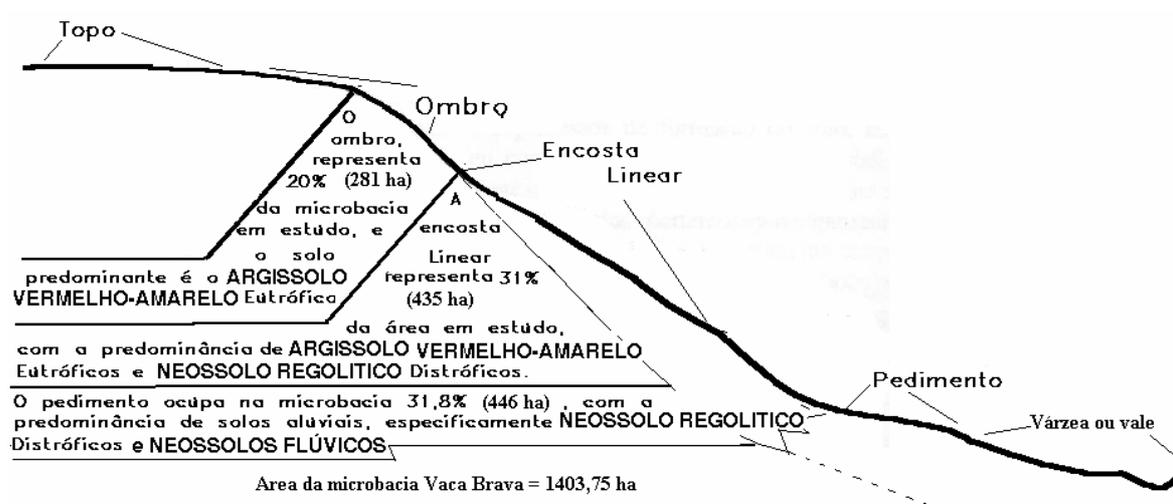
As amostras compostas foram secas ao ar e passadas por peneira de 2 mm, e analisadas quanto às propriedades físicas e químicas. As determinações físicas constaram de: análise granulométrica do solo e densidade do solo. As determinações químicas constaram de: pH, bases trocáveis, acidez trocável, carbono orgânico, nitrogênio total e fósforo extraível por Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997). O número de amostras em cada tipo de uso do solo encontrado na microbacia, encontra-se na tabela 2.1. A caracterização da área experimental, que envolveu área de abrangência das subdivisões do relevo em estudo e os tipos de solos dominantes, encontra-se na figura 2.1.

Os atributos do solo foram avaliados, inicialmente, por meio de estatística descritiva: média, valores máximo e mínimo, e desvio padrão. Também foi verificado que as variáveis tinham distribuição lognormal, motivo pelo qual nas tabelas foi indicada a média geométrica (Parkin e Robinson, 1993). No caso do P, a distribuição não foi normal nem log normal, motivo pelo qual foram indicados os valores das medianas. Em seguida foi realizada a ANOVA e depois aplicado o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para as variáveis qualitativas naqueles atributos nos quais o teste-F foi significativo. A análise foi realizada com os dados transformados (logaritmo natural). Para descrever os níveis de fertilidade do

solo, foi utilizado o Manual de sugestões de adubação para o estado da Paraíba (1979), onde os níveis de P e K são classificados como baixos (P entre 0 – 7,7 mg kg<sup>-1</sup>, K entre 0 – 0,09 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), médios (P entre 7,8 – 23 mg kg<sup>-1</sup>, K entre 0,10 – 0,29 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) ou altos (P > 23 mg kg<sup>-1</sup>, K > 0,30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 2.1.** Número de amostras compostas de solo, por estrato, em áreas de encosta pedimento, encosta linear e encosta ombro na microbacia de Vaca Brava, PB.

Cobertura do Solo	Encosta		
	Ombro	Meia encosta	Pedimento
Agricultura Anual	9	36	13
Pastagem	10	74	17
Capineira	0	19	6
Mata	1	37	2
Sabiá	0	12	2
Capoeira	4	11	1
Total	24	189	41



**Figura 2.1** Esquema da subdivisão das encostas para amostragens de solos (ombro, meia encosta e pedimento) e tipos de solos dominantes na microbacia de Vaca Brava, PB.

## **2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A microbacia Vaca Brava apresenta cerca de 11,62 km<sup>2</sup> de solos de encostas (ombro, meia encosta e pedimento), ou seja, em aproximadamente 83% da área predominam encostas (Figura 2.1). O solo que predomina nas posições de ombro e meia encosta são o ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico, enquanto que no pedimento encontram-se os ARGISSOLOS VERMELHO AMARELO Eutróficos e NEOSSOLOS FLÚVICOS (Brasil, 1972; EMBRAPA, 1999). No entanto, as encostas são geralmente caracterizadas por uma grande heterogeneidade (Fanning e Fanning, 1989; Silva et al., 2001).

### **2.3.1 Análise descritiva**

As médias geométricas gerais dos atributos de fertilidade das amostras dos solos, resumidas na tabela 2.2, foram bastante semelhantes para o ombro, meia encosta e pedimento, confirmando que essa subdivisão é mais determinada pelo manejo do que pelos caracteres morfológicos e genéticos do solo.

O carbono do solo, por exemplo, apresentou o menor valor no pedimento (9,61 g kg<sup>-1</sup>) e o maior na meia-encosta (16,0 g kg<sup>-1</sup>) mas sem atingir nível de significância, por conta do elevado desvio das médias gerais. É possível que essa variação no C (e no N) fique por conta da predominância de texturas mais grossas no pedimento (Capítulo 1). A concentração menor de matéria orgânica na região do pedimento pareceu influenciar também a CTCE, que apresentou o menor valor nessa mesma posição (Tabela 2.2).

Em geral, esses valores médios retratam a baixa concentração de nutrientes dessas encostas. É possível que isso seja em função do uso intensivo nas áreas agrícolas sem reposição dos elementos retirados pela colheita e ainda com a contribuição de processos erosivos, que são mais intensos nas áreas sob encostas com reduzida cobertura vegetal.

**Tabela 2.2.** Estatística descritiva para as variáveis analisadas em amostras de solo de áreas de ombro (n=24), meia encosta (n=189) e pedimento (n=41) na microbacia Vaca Brava, PB.

Variáveis	Ombro				Meia encosta				Pedimento			
	M.G*	D.P.	Min.	Max.	M.G*	D.P.	Min.	Max.	M.G*	D.P.	Min.	Max.
C (g kg <sup>-1</sup> )	13,1	6,51	5,36	27,5	16,0	8,66	4,30	46,7	9,61	3,46	4,94	20,4
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,08	0,51	0,45	2,26	1,33	0,74	0,40	3,83	0,80	0,31	0,43	1,73
P (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	2,07	-	0,43	12,8	2,82	-	0,40	3,83	2,22	-	0,96	34,9
pH (H <sub>2</sub> O)	5,25	0,42	4,60	6,12	5,32	0,62	4,13	8,40	5,64	0,52	4,54	7,39
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,85	0,95	0,44	4,12	1,80	1,05	0,28	5,99	1,56	0,80	0,69	4,69
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,10	0,68	0,38	3,34	1,15	0,80	0,19	4,54	0,74	0,38	0,26	2,16
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,18	0,11	0,02	0,51	0,22	0,17	0,01	0,89	0,14	0,09	0,03	0,49
Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,04	0,05	0,01	0,25	0,07	0,09	0,002	0,75	0,05	0,07	0,01	0,35
S (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,21	1,41	1,02	5,85	3,25	1,83	0,64	9,23	2,49	1,07	1,07	5,98
H+Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,30	0,36	0,03	1,58	0,39	0,47	0,02	2,90	0,16	0,18	0,02	0,68
CTCE (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,51	1,52	1,07	7,43	3,63	1,94	1,04	10,8	2,65	1,08	1,12	6,03
ds (g mL <sup>-1</sup> )	1,17	0,15	0,88	1,44	1,14	0,14	0,86	1,40	1,26	0,09	0,95	1,43

<sup>CTCE</sup> Capacidade de troca de cátion efetiva; <sup>S</sup> Soma de bases; <sup>ds</sup> densidade do solo. \*Média geométrica (M.G) para todas as variáveis exceto P<sup>1</sup>, para o qual foi indicada a mediana; D.P.: desvio padrão.

### 2.3.2 Uso do solo

Os teores médios dos atributos do solo em diferentes posições no relevo, em função do uso encontram-se na tabela 2.3. Na posição do ombro apenas os teores de Ca e Mg foram maiores nas amostras de áreas agrícolas que nas de pastagem, os quais acabaram elevando a CTCE e o valor S. Para os demais atributos não houve diferenças estatísticas entre áreas agrícolas e sob pastagem, que foram as únicas comparadas nesta posição das encostas.

Com relação à meia encosta, todos os atributos foram maiores nas amostras sob mata, com exceção do P, que foi maior nas amostras de áreas agrícolas, fato que pode ser justificado por conta de adubação orgânica utilizada pelos produtores (Peterson et al., 2002). A concentração de P extraído com Mehlich-1 ficou na faixa de deficiência, independentemente do tipo de uso da terra, o que está de acordo com Fraga (2002) e Fraga e Salcedo (2004), que em áreas cultivadas determinaram entre 1,5 a 2,3 mg kg<sup>-1</sup> e em áreas de vegetação nativa (caatinga) entre 2,0 a 3,9 mg kg<sup>-1</sup>.

A densidade do solo foi menor na área sob mata em função dos maiores teores de matéria orgânica. É interessante destacar que as áreas sob capoeira e sabiá tiveram teores de matéria orgânica significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) que as áreas sob uso agropecuário. Menezes e Salcedo (1999), avaliando as diferenças na fertilidade do solo no semi-árido paraibano entre áreas abaixo do estrato arbóreo e sob pastagens, verificaram níveis mais elevados de C, P, N, Ca, Mg, K e Na embaixo do estrato arbóreo.

A substituição das matas nativas pelo uso agropecuário levou a um empobrecimento generalizado dos solos, particularmente em relação aos teores de C e N, tendência observada também por outros autores (Tiessen et al., 1992; Fraga & Salcedo, 2004). Isto pode resultar na perda de biodiversidade e na diminuição da capacidade dos ecossistemas de recuperar-se após perturbações. O risco de perda da fertilidade do solo é ainda maior em áreas de encostas, como as amostradas, onde há acentuação dos processos erosivos (Sampaio e Salcedo, 1997; Santos et al., 2002), principalmente quando a vegetação nativa é substituída por culturas agrícolas ou pastagens.

**Tabela 2.3.** Médias geométricas de atributos determinados em amostras classificadas pela posição no relevo e uso da terra.

Uso do Solo	ds	C	N	P*	pH <sub>H2O</sub>	Ca	Mg	K	Na	S	H+Al	CTC
	g dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						
<b>Ombro</b>												
Mata (n: 01)#	1,05	24,5	1,84	1,32	4,70	2,09	1,57	0,19	0,04	3,90	0,08	3,98
Pastagem (n: 10)	1,16 a	11,6 a	0,98 a	1,87	5,17 a	1,31 b	0,70 b	0,19 a	0,04 a	2,25 b	0,26 a	2,51 b
Agricultura (n: 09)	1,26 a	11,0 a	0,88 a	2,07	5,48 a	2,41 a	1,38 a	0,14 a	0,02 a	4,05 a	0,41 a	4,46 a
Capoeira (n: 04)#	1,06	18,7	1,62	1,92	5,10	1,87	1,36	0,26	0,09	3,58	0,18	3,76
<b>Meia encosta</b>												
Mata (n: 37)	0,99 dc	28,8 a	2,48 a	2,14	4,95 bc	2,82 a	1,88 a	0,26 ab	0,12 ab	5,11 a	0,68 a	5,79 a
Pastagem (n: 74)	1,16 bc	12,8 bc	1,05 bc	2,18	5,42 ac	1,36 cd	0,87 b	0,23 ab	0,05 c	2,52 b	0,26 b	2,78 b
Agricultura (n: 36)	1,24 a	11,2 c	0,92 c	2,24	5,62 a	1,90 bd	1,00 b	0,15 b	0,06 bc	3,11 b	0,29 b	3,41 b
Capineira (n: 19)	1,20 ab	11,3 c	0,95 bc	2,09	5,52 ac	1,73 bcd	1,24 b	0,14 ab	0,05 abc	3,17 b	0,39 ab	3,56 b
Sabiá (n: 12)	1,16 ab	16,4 b	1,31 bc	2,18	5,09 abc	1,80 bcd	0,95 b	0,29 a	0,12 abc	3,15 b	0,48 ab	3,63 b
Capoeira (n: 11)	1,08 c	18,0 b	1,44 b	2,03	4,91 c	1,24 d	1,09 b	0,23 ab	0,08 abc	2,64 b	0,48 ab	3,12 b
<b>Pedimento</b>												
Mata (n: 02)#	1,17	16,4	1,49	1,99	5,18	3,11	1,11	0,11	0,16	4,49	0,08	4,56
Pastagem (n: 17)	1,26 a	9,11 a	0,77 a	2,18	5,62 a	1,18 b	0,61 a	0,12 a	0,05 a	1,96 b	0,18 a	2,13 b
Agricultura (n: 13)	1,29 a	9,20 a	0,75 a	2,26	5,78 a	1,95 a	0,81 a	0,18 a	0,05 a	2,99 a	0,15 a	3,14 a
Capineira (n: 06)	1,28 a	8,02 a	0,65 a	1,95	5,86 a	1,39 ab	0,87 a	0,11 a	0,03 a	2,40 ab	0,19 a	2,59 ab
Sabiá (n: 02)#	1,22	14,8	1,25	2,19	4,98	1,59	0,80	0,18	0,03	2,60	0,07	2,68
Capoeira (n: 01)#	1,21	8,92	0,73	1,13	5,06	0,79	0,25	0,18	0,03	1,24	0,38	1,62

# Estes usos não foram incluídos na análise estatística devido ao reduzido número de observações; \* mediana  
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente (p<0,05) entre si pelo teste de Tukey.

Com relação ao pedimento, somente foram comparadas estatisticamente amostras provenientes de áreas com uso agropecuário (pastagem, agricultura e capineira), devido ao número insuficiente de áreas com os outros usos encontradas nesta posição. Com poucas exceções (Ca, S e CTCE), onde as amostras provenientes de áreas agrícolas foram um pouco maiores, os atributos analisados não diferiram entre si quanto ao uso da terra. O pedimento é uma área caracterizada por ganhos e perdas de sedimentos, o que acaba contribuindo para essa uniformidade das propriedades químicas entre os usos do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

### 2.3.3 Classes texturais

Com relação à textura do solo houve uma grande variabilidade nos valores dos atributos, no entanto, o C e o N foram maiores nas texturas mais finas, independentemente da posição das áreas nas encostas (Tabela 2.4). O coeficiente de correlação entre os teores de C orgânico e de argila foi 0,79 ( $p < 0,05$ ,  $n = 254$ ). Na posição de meia encosta a saturação por bases diminuiu ao passar da classe FrArgAr para a Arg, ocorrendo o inverso com H+Al. Isto manteve a CTCE relativamente inalterada enquanto o pH ficou mais ácido.

Os atributos de solo variaram significativamente ( $p < 0,05$ ) nas encostas em função da classe textural (Tabela 2.4). Com relação ao ombro, as texturas mais finas (franco-argilo-arenosa e argilo arenosa) apresentaram-se com maiores teores de C, N, Ca, Mg, e K. Na meia encosta, além das classes FrArgAr, ArgAr foram encontradas amostras Arg, que foram então as que apresentaram os maiores níveis de C, N, Ca, Mg, e CTCE. No pedimento essa tendência continua, porém, a predominância nestas áreas é de classes texturais grosseiras, ou seja, das 47 amostras analisadas, 34 são de classes texturais ArFr (19) e FrAr (15) e apenas 7 apresentaram-se como FrArgAr (que foi a classe mais fina encontrada) as quais, no entanto foram as mais férteis.

Os valores médios de CTCE foram de forma geral baixos, oscilando entre 3,99 e 2,52  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para o ombro; 4,54 e 2,51  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para a meia encosta; e 3,56 a 2,46  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para amostras de pedimento. A maior parte da contribuição da CTCE em todas as posições das encostas correspondeu ao Ca + Mg, sendo a grande maioria das amostras de solos eutróficos. A CTCE teve uma correlação significativa ( $p < 0,05$ ) com os teores de C orgânico das amostras ( $r = 0,64$ ;  $n = 254$ ).

**Tabela 2.4.** Médias geométricas de atributos determinado em amostras classificadas pela posição no relevo e pela classe textural na microbacia Vaca Brava, PB.

Classe Textural	ds	C	N	P*	pH <sub>H2O</sub>	Ca	Mg	K	Na	S	H+Al	CTCE
	g dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						
<b>Ombro</b>												
ArFr (n: 07)	1,36 a	6,59 c	0,58 c	2,02	5,63 a	1,48 a	0,77 a	0,13 b	0,02 a	2,54 a	0,26 a	2,80 a
FrAr (n: 02)#	1,28	8,68	0,72	2,02	5,46	1,44	0,77	0,13	0,02	2,36	0,16	2,52
FrArgAr (n: 11)	1,11 b	14,7 b	1,22 b	1,95	5,07 b	2,05 a	1,39 a	0,16 b	0,05 a	3,65 a	0,34 a	3,99 a
ArgAr (n: 04)	0,96 c	22,1 a	1,78 a	2,08	5,01 b	2,13 a	1,05 a	0,37 a	0,05 a	3,61 a	0,33 a	3,94 a
<b>Meia encosta</b>												
ArFr (n: 29)	1,32 a	7,23 d	0,62 c	2,18	5,75 a	1,33 b	0,65 c	0,15 a	0,04 a	2,18 c	0,33 b	2,51 c
FrAr (n: 57)	1,23 b	11,1 c	0,92 c	2,22	5,52 ab	1,65 ab	0,91 bc	0,17 a	0,07 a	2,80 bc	0,29 b	3,09 bc
FrArgAr (n: 63)	1,08 c	18,2 b	1,52 b	2,18	5,28 b	2,15 a	1,39 ab	0,25 a	0,10 a	3,89 a	0,38 b	4,27 ab
ArgAr (n: 28)	0,98 d	25,6 a	2,12 a	2,16	4,82 c	1,90 ab	1,43 ab	0,26 a	0,08 a	3,72 ab	0,44 b	4,16 ab
Arg (n: 12)	0,92 d	26,8 a	2,16 a	2,18	4,80 c	1,75 ab	1,53 ab	0,25 a	0,06 a	3,60 abc	0,94 a	4,54 a
<b>Pedimento</b>												
ArFr (n: 19)	1,32 a	7,47 c	0,61 c	2,18	5,70 a	1,35 b	0,73 ab	0,14 a	0,02 b	2,25 b	0,21 a	2,46 b
FrAr (n: 15)	1,25 b	9,58 b	0,79 b	2,12	5,70 a	1,55 ab	0,61 b	0,11 a	0,08 a	2,35 ab	0,12 a	2,47 ab
FrArgAr (n: 07)	1,14 c	15,5 a	1,34 a	2,29	5,34 a	2,14 a	1,02 a	0,19 a	0,08 a	3,43 a	0,13 a	3,56 a

**ArFr:** Areia Franca; **FrAr:** Franco Arenosa; **FrArgAr:** Franco Argilo arenosa; **FrArg:** Franco Argilosa; **ArgAr:** Argilo-Arenosa, **Arg:** Argilosa; **ds:** densidade do solo; **n.:** número de amostras; **P:** fósforo; **N:** nitrogênio; **CTCE:** capacidade de troca de cátion efetiva; \* mediana; e # Esta classe textural não foi incluída na análise estatística devido ao reduzido número de observações.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

### 2.3.4 Níveis de fertilidade do solo

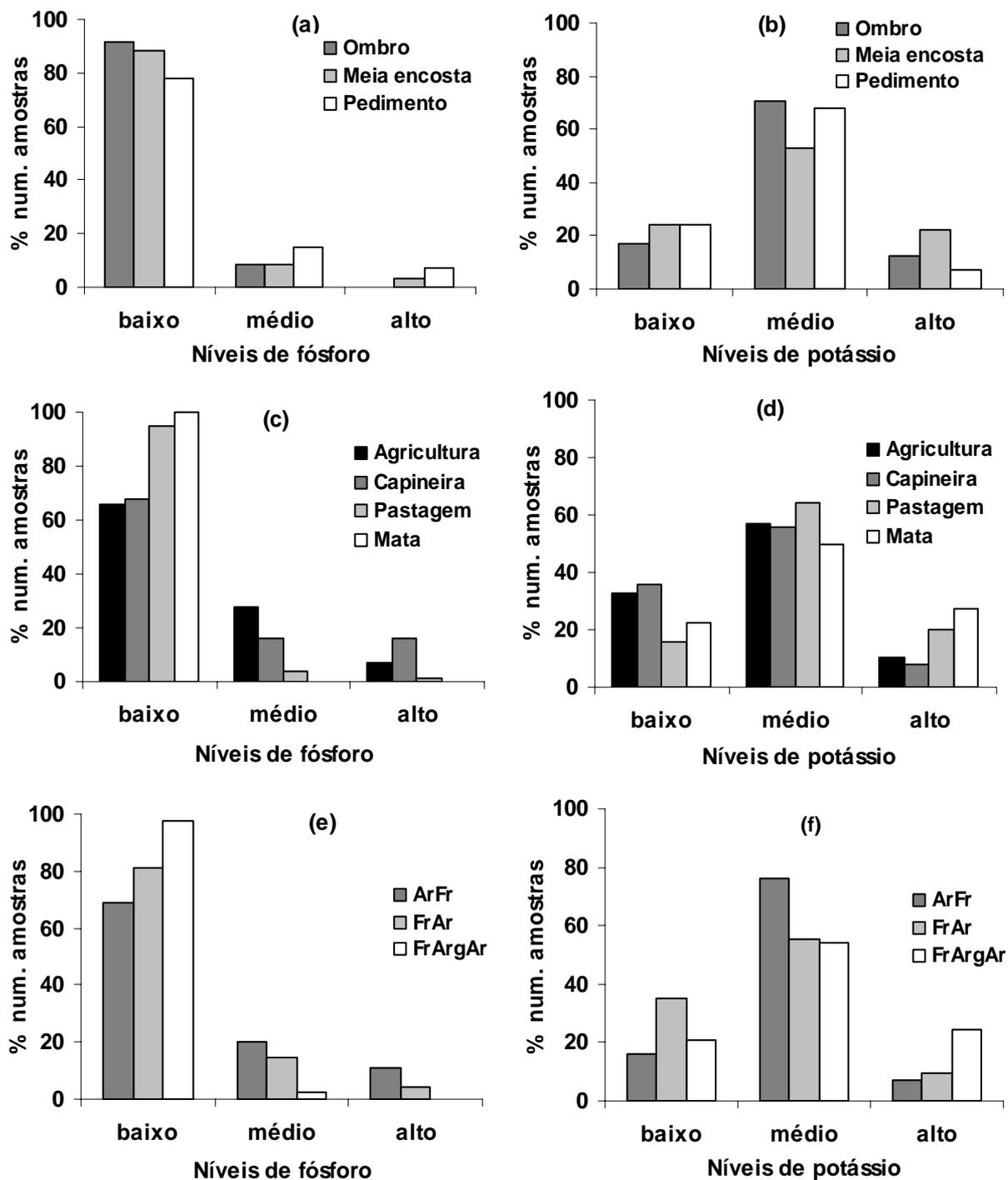
Para se obter uma idéia geral sobre a proporção de amostras com níveis baixos, médios e altos de P e K nas encostas, foi utilizado o Manual de sugestão de adubação para o estado da Paraíba (1979). As amostras foram identificadas em função das posições no relevo, usos da terra e classes texturais (Figura 2.2). Mais de 90% das amostras no ombro e 88% de meia encosta apresentaram baixos níveis de P (entre 0 – 7,7 mg kg<sup>-1</sup>), fato também relatado por outros autores (Fraga e Salcedo, 2004; Sampaio et al. 1995).

No pedimento, essa proporção foi de 78%, ainda bastante significativa (Figura 2.2a e 2.2b). No entanto, com relação ao potássio, tanto no ombro (71%), quanto na meia encosta (53%) e no pedimento (68%), o maior número de amostras apresentaram níveis médios de potássio (0,10 – 0,29 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Poucas amostras foram encontradas com níveis médios (entre 7,8 e 23 mg kg<sup>-1</sup>) e altos (>23 mg kg<sup>-1</sup>) de fósforo. Para o potássio as proporções menores de amostras foram encontradas para níveis baixos (entre 0 – 0,09 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e altos (>0,30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>).

Em termos do uso do solo (Figura 2.2c e 2.2d), 66% das amostras sob agricultura apresentaram teores deficientes de P. Ainda, 68% das amostras sob capineira e 95% das amostras sob pastagens ficaram na mesma condição de deficiência, enquanto que, a totalidade das amostras sob mata foi deficiente em P. Em relação ao K, as amostras sob agricultura (57%), capineira (56%), pastagem (64%) e mata (50%), apresentaram teores médios deste elemento. Com relação às classes texturais (Figura 2.2e e 2.2f), 69% das amostras com classe textural ArFr, 81% das FrAr e 97% das FrArgAr apresentaram baixos níveis de P.

## 2.4 CONCLUSÕES

As classes texturais influenciaram os níveis dos atributos das amostras de solo com maior intensidade que os distintos tipos de uso. As posições na encosta não influenciaram diretamente os atributos de solo, entretanto esta ficou expressada nas variações texturais. As encostas com uso agropecuário apresentaram menores teores de C e N em relação àquelas com mata. A análise da proporção de amostras nos diferentes níveis de suficiência de P e K, com base nos diferentes usos da terra, classes texturais e posições no relevo, indicou uma deficiência generalizada de P, que foi mais intensa que a de K.



**Figura 2.2.** Proporção de solos das posições da encosta (a, b), uso da terra (c, d) e classe textural (e, f) em relação aos níveis de fertilidade do solo para fósforo e potássio.

## **2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999, 335p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo. Divisão de Agrologia – SUDENE. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTAP, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15).
- COSTA, B.M. Degradação das pastagens. **In:** Simpósio sobre manejo da pastagem, 5 Fundação Cargil. Anais. Campinas, 1980, p.5-7.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p, 1999.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Práticas de conservação de solos. EMBRAPA, Rio de Janeiro, 1980. 85p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análises de solos**. 2.Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.
- FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. Soil morphology, gênesis and classification. New York, John Wiley & Sons, 1989, 395p.
- FRAGA, S. S. **Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência**. UFPE, 2002. 70p. (Tese de Doutorado).
- FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi arid soils under subsistence farming. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.68, n.215, p.215-224, 2004
- JENNY, H. Factores of soil formation. New York, McGraw-Hill, 1941. 281p.
- Manual de sugestão de adubação para o Estado da Paraíba. Primeira Aproximação. EMATER-PB, João Pessoa, 1979, 105p.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I. H. Influence of tree species on the herbaceous understory and soil chemical characteristics in a silvopastoral system in semi-arid northeastern Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**. v.23, p.817-826, 1999.
- NASCIMENTO, Jr., D.; QUEIROZ, D.S.; SANTOS, M.V.F. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. **In:** Simpósio sobre manejo da pastagem, 11., Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. Anais. Piracicaba, 1995. p.107-151.
- PARKIN, T. B.; ROBINSON, J. A. Statistical evaluation of median estimators for lognormally distributed variables. **Soil Sci. Soc. Am. J.** n.57, p.317-323, 1993.

- PETERSON, P.; SILVEIRA, L.; ALMEIDA, P. Ecosystemas naturais e agroecosistemas tradicionais no Agreste da Paraíba: uma analogia socialmente construída e uma oportunidade para a conversão agroecológica.. **In:** Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido. AS-PTA, p.13-119, 2002.
- PUPO, N.I.H. Manual de pastagens forrageiras: formação, conservação, utilização. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, 1979, 343p.
- SANTOS, A.C.; SALCEDO, I.H.; CANDEIAS, A.L.B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Rev. Bras. Cartografia**, n.54, p.86-94, 2002.
- SAMPAIO, E. V. S. B., SALCEDO, I. H., SILVA, F. B. R. Fertilidade de solos do semi-árido do nordeste. **In:** XXI REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. EMBRAPA – CPATSA – SBCS, Petrolina, 1995. p.51-72.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. **In:** XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro, 1997. (Mesa Redonda).
- SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, R.A.M. Estudo de topossequência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. *R. Bras. Ci. Solo*, v.25, n.4, p.965-976, 2001.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agric. Ecosys. Environ.**, n.38, p.139-151, 1992.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, n.371, p.783-785, 1994.

## **CAPITULO 3**

### **3 - INFLUÊNCIA DO USO E POSIÇÃO DO RELEVO NA FERTILIDADE DE SOLOS NAS ÁREAS DE TOPO E VÁRZEA**

### **3 - INFLUÊNCIA DO USO E POSIÇÃO DO RELEVO NA FERTILIDADE DE SOLOS NAS ÁREAS DE TOPO E VÁRZEA**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Os solos de várzea e de topo, pelo relevo plano, oferecem melhores condições para a agricultura que as encostas. As áreas de várzea, ainda, apresentam melhor suprimento de água e são zonas de acúmulo de sedimentos provenientes das partes elevadas do relevo e de outras várzeas à montante do sistema de drenagem da bacia. Nas várzeas podem ser encontradas diferentes classes de solos, alguns deles derivados do material de origem e outros consistindo de camadas de sedimentos. Os solos de topo são geralmente mais homogêneos, uma vez que não recebem aporte de sedimentos carregados pela água (Bertoni e Lombardi, 1999; Silva et al., 2001).

O tipo de solo, o relevo, os sistemas de cultivo e os fatores climáticos também influenciam na fertilidade do solo (Gregorich et al. 1998). Quando uma topossequência de vegetação nativa é convertida para cultivada, pode haver uma perda líquida de nutrientes por mineralização ao longo do declive, em decorrência de práticas agrícolas inadequadas, sem planejamento e conhecimento das reais possibilidades de uso do solo. Com a continuação do cultivo, o solo encontra-se susceptível aos processos erosivos, de modo que as áreas convexas das encostas apresentam perdas progressivas de materiais, enquanto que as áreas côncavas atuam inicialmente como áreas de deposição. Entretanto, com a continuidade da erosão, as áreas côncavas também sofrem perdas líquidas de nutrientes para outros locais (Gregorich et al. 1998). Pesquisas recentes têm enfatizado a importância do transporte de água e de materiais removidos pela erosão, que resulta na mudança da qualidade do solo (Pennock et al., 1994).

O aumento da intensidade do uso do solo e diminuição da cobertura vegetal nativa na região nordeste tem levado à degradação dos recursos naturais e, em especial, à diminuição da fertilidade do solo (Sampaio et al, 1995). Isto tem resultado na perda de biodiversidade e na diminuição da capacidade dos ecossistemas de recuperar-se após perturbações. O risco de degradação do solo é ainda maior nas áreas de relevo ondulado, onde há acentuação dos processos erosivos, principalmente quando a vegetação nativa é substituída por culturas agrícolas ou pastagens.

Estudos conduzidos por Alvarenga e Davide (1999), demonstraram que agroecossistemas de culturas anuais apresentaram maior alteração em relação à vegetação nativa, e, sob os aspectos químicos, houve aumento nos teores de nutrientes e diminuição do alumínio. Em relação aos aspectos físicos, os agroecossistemas de culturas anuais apresentaram maior degradação da estrutura, com aumento na densidade do solo e microporosidade e diminuição na percentagem de agregados maiores que 2 mm.

A maior parte do solo e nutrientes removidos das encostas, é redistribuída para as várzeas, que são principalmente áreas de deposição. Entretanto também há redistribuição de água e nutrientes através das várzeas, para as áreas com menor cota da bacia, normalmente ocupada por açudes ou barragens. Não há estudos na região do Brejo Paraibano constatando este enriquecimento relativo das várzeas e de como o uso da terra, tanto das encostas quanto das várzeas, influenciam nestas modificações e as comparações com o topo que também são áreas planas, onde a erosão é quase nula e não são zonas de acumulação. A caracterização dessas áreas quanto às classes texturais, níveis de fertilidade e uso atual é a primeira etapa para compreender a dinâmica das transferências, solo e nutrientes na microbacia. O objetivo foi determinar o efeito do uso do solo e classes texturais sobre a fertilidade do solo em áreas de várzea e de topo na microbacia Vaca Brava, PB. Neste trabalho são apresentados os dados referentes às amostras das 22 várzeas e dos 20 topos amostrados.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo corresponde a uma microbacia que está localizada no Agreste (sub-úmido) do Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, compreendida entre os paralelos 192000 e 198000 m de latitude sul e os meridianos 9225300 e 9231000 m de longitude a oeste de Greenwich, ocupando uma superfície de 14,04 km<sup>2</sup> e altitude variando de 510 – 610 m. Apesar da microbacia em estudo estar localizada na região do Agreste (Planalto da Borborema) caracterizada por clima seco, muito quente e semi-árido (Silva et al., 1993), no entanto, o município onde se encontra a microbacia (Areia, PB) apresenta um microclima, com clima tropical chuvoso e com chuvas de outono – inverno. A precipitação média anual é de 1.200 mm, ocorrendo um déficit hídrico que se estende entre os meses de outubro a fevereiro. A temperatura média anual é de 24°C apresentando baixa amplitude de variação.

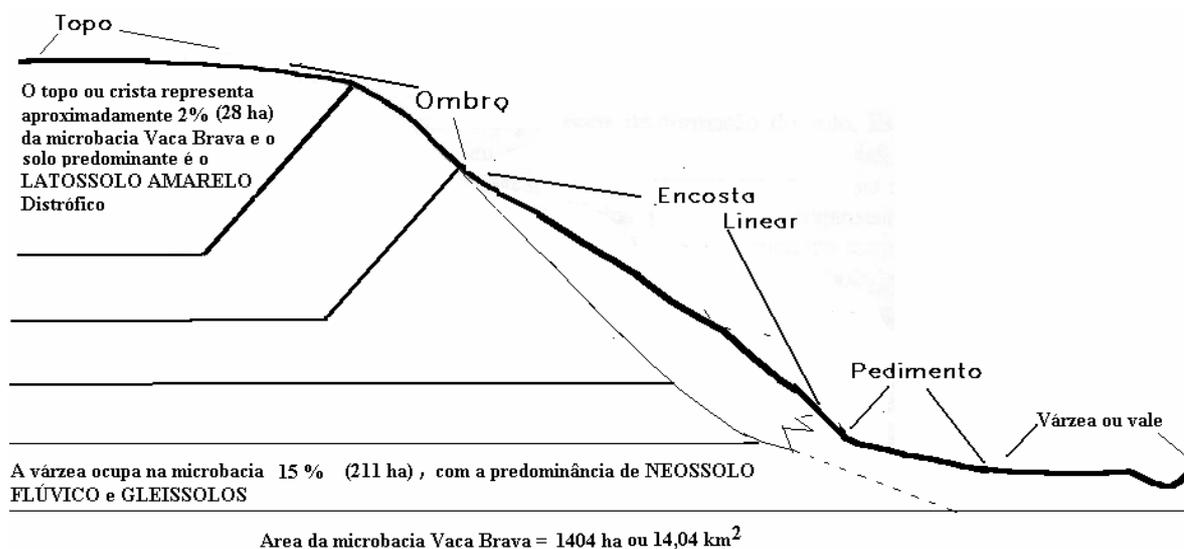
Os solos que predominam na bacia são: ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico, NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico e o LATOSSOLO AMARELO Distrófico (BRASIL, 1972; EMBRAPA, 1999). O relevo é ondulado a forte ondulado e se acentua à medida que a drenagem vai dissecando o terreno, na parte mais baixa da bacia. Com relação aos solos predominantes nas várzeas ou vale e no topo ou crista e a sua área de ocupação na microbacia, encontra-se caracterizado na figura 3.1.

Na microbacia de Vaca Brava nas áreas de várzea e de topo encontraram-se os seguintes usos: pastagem, agricultura, capineira (*Pennisetum purpureum*, schum.), mata nativa (representando um reduto da Mata Atlântica de altitude), capoeira e sabiá (*Mimosa caesalpineafolia* L.). Foram amostrados 22 várzeas e 20 topos, estratificando-se por agricultura, pastagem, capineira, sabiá e vegetação nativa. Após identificar cada área amostral, foi obtida uma amostra composta de solo da camada de 0-20 cm, constituída de 10 amostras simples retiradas ao acaso para cada uso do solo.

As amostras compostas foram secas ao ar e passadas por peneira de 2mm, e analisadas quanto às propriedades químicas. A determinação das classes texturais foi realizada no laboratório de física do solo do CCA/UFPB, pelo método do densímetro. As determinações químicas constaram de: pH, bases trocáveis, acidez trocável, carbono e nitrogênio total e fósforo extraível por Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997). O número de amostras em cada uso encontrados na microbacia, encontra-se no tabela 3.1.

Os atributos do solo foram avaliados, inicialmente, por meio de estatística descritiva: média, valores máximo e mínimo, e desvio padrão. Também foi verificado que as variáveis tinham distribuição lognormal, motivo pelo qual nas tabelas foi indicada a média geométrica (Parkin e Robinson, 1993). No caso do P, a distribuição não foi normal nem log normal, motivo pelo qual foram indicados os valores medianos. Em seguida foi realizado a ANOVA e depois aplicado o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para as variáveis qualitativas naqueles atributos nos quais o teste-F foi significativo.

Para compreender melhor os níveis de fertilidade do solo, especificamente para fósforo e potássio, utilizou-se o Manual de Sugestão de adubação para o estado da Paraíba (1979), o qual classifica os níveis dos elementos em baixo (P entre 0 – 7,7 mg kg<sup>-1</sup>, K entre 0 – 0,09 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), médio (P entre 7,8 – 23 mg kg<sup>-1</sup>, K entre 0,10 – 0,29 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e alto (P > 23 mg kg<sup>-1</sup>, K > 0,30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>).



**Figura 3.1.** Esquema da subdivisão para amostragens de solos (várzea ou vale e topo ou crista) e tipos de solos dominantes na microbacia de Vaca Brava, PB.

**Tabela 3.1.** Resumo do número de amostras de solo por estrato de várzeas na microbacia de Vaca Brava.

Cobertura do solo	Número de amostras	
	Várzea	Topo
Agricultura	19	10
Pastagem	16	13
Capineira	16	02
Mata	12	14
Sabiá	02	02
Total	65	41

### **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.3.1 Análise descritiva**

Os valores médios das propriedades químicas das amostras de várzeas e de topos da microbacia Vaca Brava, independentemente de uso e textura, são apresentados na tabela 3.2. É possível constatar que os dados de C, N, P, pH, Ca, Mg, K, e Na em ambas posições do relevo são muito semelhantes. A distribuição das variáveis foi lognormal pelo teste de Kolmogorof-Smirnof (Sokal & Rohlf, 1998), motivo pelo qual o valor de tendência central apresentado foi a média geométrica (Parkin & Robinson, 1993).

#### **3.3.2 Uso do solo**

No caso do uso do solo (Tabela 3.3), observou-se que os valores de C, N, Ca, Mg, soma de bases (S) e CTCE foram mais elevados ( $p < 0,05$ ) nas áreas cobertas com vegetação nativa (mata) enquanto que para K os valores foram maiores ( $p < 0,05$ ) nas áreas agrícolas.

Os maiores teores de matéria orgânica foram encontrados em solos sob vegetação de mata ( $26,7 \text{ g C kg}^{-1}$  solo) em relação às áreas agrícolas ( $14,1 \text{ g C kg}^{-1}$ ). O sistema agropecuário produziu um declínio significativo na concentração de C e N (Tabela 3.3). Esta constatação é freqüente na literatura (Tiessen et al., 1992) e resultam de maiores taxas de aporte de resíduos orgânicos ao solo e menores taxas de decomposição pela ausência de revolvimento em relação às áreas agrícolas (Alvarenga e Davide, 1999). Fraga e Salcedo (2004) estudando as concentrações de C e N em áreas cultivadas verificou que esses elementos foram 50% menores ( $p < 0,05$ ) do que as encontradas nos solos sob caatinga preservada.

Os maiores teores de Ca e Mg e de CTCE ressaltaram a contribuição da matéria orgânica à capacidade de troca destes solos, fato constatado em outros trabalhos (Menezes e Salcedo, 1999; Menezes et al. 2002). Os processos mais importantes responsáveis pela perda da fertilidade do solo são a erosão e a retirada de nutrientes pela colheita dos produtos agropecuários (Menezes e Sampaio, 2000).

Os valores mais elevados de K nas áreas agrícolas podem ser justificados em função de alguns produtores usarem adubação orgânica (Petersen et al., 2002), principalmente esterco bovino, que é uma fonte desses nutrientes (Sampaio et al., 1985).

**Tabela 3.2.** Estatística descritiva para as variáveis analisadas em amostras de solo de áreas de várzea (n=65) e de topo (n=41).

Variáveis	Várzea				Topo			
	M.G. <sup>(1)</sup>	D.P.	Min.	Max.	M.G.	D.P.	Min.	Max.
C (g kg <sup>-1</sup> )	15,4	8,38	5,65	40,8	15,8	8,17	4,93	34,3
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,28	0,71	0,48	3,41	1,28	0,68	0,46	2,90
P (mg kg <sup>-1</sup> )	5,80	-	1,66	43,7	2,42	-	0,96	33,9
pH (H <sub>2</sub> O)	5,33	0,46	4,58	7,15	5,24	0,60	4,08	6,68
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,94	0,85	0,51	4,98	1,59	0,80	0,36	3,68
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,43	0,73	0,32	3,49	0,95	0,53	0,26	2,47
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,13	0,08	0,02	0,41	0,18	0,13	0,02	0,70
Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,18	0,18	0,02	0,97	0,06	0,06	0,01	0,33
S <sup>(2)</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,68	1,52	1,04	8,58	2,78	1,21	1,19	5,74
H+Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,18	0,18	0,03	1,12	0,36	0,44	0,02	1,56
CTCE <sup>(3)</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,86	1,55	1,10	8,63	3,14	1,39	1,32	7,31

<sup>(1)</sup> Média geométrica para todas as variáveis exceto P, para o qual foi indicada a mediana; <sup>(2)</sup> Soma de bases; <sup>(3)</sup> Capacidade de troca de cátions.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

**Tabela 3.3.** Médias geométricas de atributos determinado em amostras classificadas pela posição no relevo e o uso da terra.

Uso do Solo	C	N	P*	pH <sub>H2O</sub>	Ca	Mg	K	Na	S	H+Al	CTCE
	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>					cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
<b>Várzea</b>											
Mata (n: 12)	29,8 a	2,54 a	3,48	5,15 a	2,99 a	2,45 a	0,05 b	0,04 c	5,53 a	0,22 a	5,75 a
Pastagem (n: 19)	13,4 b	1,06 b	6,81	5,19 a	1,49 b	1,01 b	0,16 a	0,24 ab	2,90 b	0,16 a	3,06 b
Agricultura (n: 16)	10,4 b	0,85 b	6,91	5,48 a	1,84 b	1,31 b	0,17 a	0,12 bc	3,45 b	0,15 a	3,59 b
Capineira (n: 16)	12,5 b	1,06 b	7,05	5,53 a	1,82 b	1,38 b	0,12 a	0,28 a	3,59 b	0,20 a	3,80 b
Sabiá (n: 02) <sup>#</sup>	12,1	1,00	2,33	4,94	1,58	0,73	0,11	0,11	2,53	0,24	2,77
<b>Topo</b>											
Mata (n: 14)	23,6 a	1,96 a	1,97	4,77 b	1,54 a	1,08 a	0,18 a	0,09 a	2,88 a	0,53 a	3,41 a
Pastagem (n: 13)	12,2 b	1,01 b	2,19	5,49 a	1,36 a	0,81 a	0,20 a	0,03 b	2,40 a	0,32 b	2,72 a
Agricultura (n: 10)	12,3 b	0,92 b	2,20	5,48 a	2,00 a	0,84 a	0,20 a	0,05 ab	3,09 a	0,28 b	3,37 a
Capineira (n: 02) <sup>#</sup>	9,55	0,74	1,90	5,52	1,20	0,76	0,06	0,02	2,04	0,18	2,22
Sabiá (n: 02) <sup>#</sup>	12,3	1,08	1,99	5,46	1,71	1,08	0,21	0,04	3,03	0,12	3,16

<sup>#</sup> Estes usos não foram incluídos na análise estatística devido ao reduzido numero de observações; \*mediana  
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente (p<0,05) entre si pelo teste de Tukey.

É interessante o fato das áreas de pastagem e capineira, mas não as áreas de roçado, terem teores de Na maiores que a mata. Em relação ao uso agropecuário, nas áreas de várzea (pastagens, agricultura e capineira) verificou-se que os resultados para os distintos atributos não diferiram entre os três usos. Vale salientar que o que predomina na região é uma agropecuária de subsistência, onde não se utilizam fertilizantes comerciais, e os teores dos elementos no solo dependem dos níveis de fertilidade natural, da adubação orgânica, e da ciclagem de nutrientes.

Talvez este seja o motivo de não terem sido encontradas diferenças marcantes de fertilidade nas amostras de várzea, que recebem aportes de sedimentos das partes mais elevadas da paisagem, em relação às amostras de topo. Geralmente se observa que, nas propriedades rurais, consideram-se as áreas de várzea e de topo como sendo as melhores áreas, por possuírem condições topográficas mais planas e, no caso específico das várzeas, de maior disponibilidade hídrica.

### **3.3.3 Classes texturais**

Nas áreas em estudo foram encontradas quatro classes texturais, porém as mais freqüentes foram areia-franca e franco-arenosa, tanto nas várzeas quanto nos topos (Tabela 3.4). A relação entre o relevo e as classes texturais foram analisadas no Capítulo 1.

O coeficiente de correlação entre os teores de C orgânico e de argila em várzeas foi 0,84 ( $p < 0,05$ ,  $n=65$ ) e no topo foi 0,85 ( $p < 0,05$ ,  $n=43$ ). Os atributos de solo variaram significativamente ( $p < 0,05$ ) em função da classe textural (Tabela 3.4). As texturas mais finas (argilosas e franco-argilo-arenosa) apresentaram-se com maiores teores de C, N, Ca, Mg, CTCE e acidez, tanto nas amostras de várzea quanto nas de topo. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (Galvão, 2003; Needelman et al., 1999; Campbell et al., 1994; Rhoades, 1997). Em relação ao P e K, nas áreas de várzea, as amostras de textura areia-franca apresentaram os maiores níveis, refletindo a preferência por esses solos para fins de cultivo, pois os mesmos normalmente recebem esterco. No topo essa tendência não é mais observada para K e Na, e as concentrações maiores correspondem as texturas mais finas. Os maiores níveis de P extraível foram determinados em amostras de textura FrAr.

**Tabela 3.4.** Médias geométricas de atributos determinado em amostras classificadas pela posição no relevo e pela classe textural na microbacia Vaca Brava, PB.

Classe Textural	C	N	P*	pH <sub>H2O</sub>	Ca	Mg	K	Na	S	H+Al	CTCE
	— g kg <sup>-1</sup> —		mg kg <sup>-1</sup>		————— cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> —————						
<b>Várzea</b>											
ArFr (n: 22)	9,46 c	0,79 c	6,91	5,56 a	1,39 c	1,01 b	0,16 ab	0,14 a	2,70 c	0,18 a	2,88 c
FrAr (n: 30)	14,5 b	1,15 b	3,01	5,24 b	1,89 b	1,35 b	0,13 b	0,22 a	3,59 b	0,15 a	3,74 b
FrArgAr (n: 10)	26,2 a	2,27 a	5,18	5,28 ab	3,15 a	2,34 a	0,07 c	0,19 a	5,75 a	0,22 a	5,97 a
Arg (n: 03)	32,6	2,88	3,91	4,72	2,35	2,39	0,05	0,06	4,84	0,44	5,28
<b>Topo</b>											
ArFr (n: 09)	9,00 c	0,74 c	2,07	5,40 ab	0,96 b	0,47 b	0,14 a	0,04 b	1,61 b	0,12 c	1,73 b
FrAr (n: 11)	11,1 c	0,84 c	2,21	5,53 a	2,03 a	0,94 ab	0,18 a	0,04 b	3,19 a	0,24 b	3,43 a
FrArgAr (n: 13)	16,4 b	1,36 b	2,19	5,17 ab	1,61 ab	1,04 a	0,20 a	0,03 b	2,89 a	0,55 a	3,44 a
ArgAr (n: 10)	26,4 a	2,16 a	2,17	4,87 a	1,65 ab	1,26 a	0,20 a	0,11 a	3,22 a	0,47 a	3,69 a

<sup>CTCE</sup> Capacidade de troca de cátions efetiva; \* mediana

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

Os valores médios de CTCE foram de forma geral baixos, oscilando entre 2,88 e 5,28  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para amostras de várzea e entre 1,73 e 3,96  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  em áreas de topo. É importante destacar que a maior parte da contribuição da CTCE corresponde ao Ca + Mg, sendo todas amostras de solos eutróficos.

### 3.3.4 Níveis de fertilidade do solo

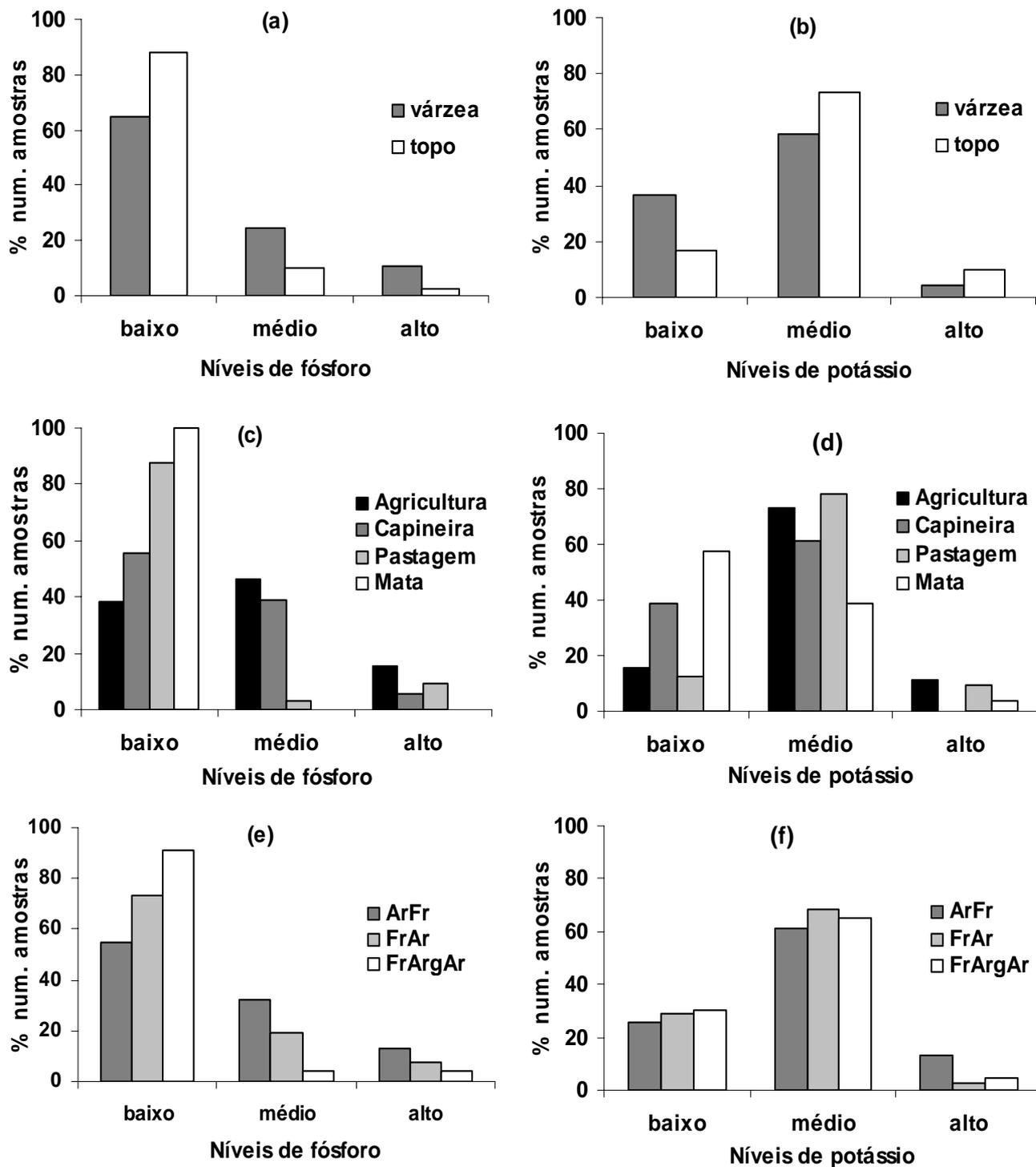
Para se obter uma idéia geral sobre a proporção de amostras com níveis baixos, médio e altos de P e K, foi utilizado o Manual de sugestão de adubação para o estado da Paraíba (1979). As amostras foram identificadas em função das posições no relevo, usos da terra e classes texturais (Figura 3.2). Mais de 80% das amostras no topo apresentaram baixos níveis de P (entre 0 – 7,7  $\text{mg kg}^{-1}$ ). Na várzea, essa proporção foi um pouco menor, mais ainda significativa, de forma semelhante ao encontrado para as amostras de encosta (Capítulo 2). No entanto, com relação ao potássio, tanto no topo quanto na várzea, o maior número de amostras apresentaram níveis médios de potássio (0,10 – 0,29  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Poucas amostras foram encontradas com níveis altos de fósforo ( $>23 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e potássio ( $>0,30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

Em termos do uso do solo, a totalidade das amostras sob mata apresentaram teores baixos de P. Ainda, 85% das amostras sob pastagem e 40% daquelas obtidas em áreas de agricultura estão na mesma condição de deficiência. Em relação ao K, a maior parte dos solos sob uso agropecuário, apresentam teores médios deste elemento.

Independentemente da classe textural, a maioria das amostras ( $>50\%$ ) apresentam teores deficientes de P e médios de K. Em geral, independente do uso, e da textura, ou até mesmo de se é várzea ou topo, as dominâncias foram de níveis baixos de P. Estudos com P nos solos tem confirmado que 61% dos solos tropicais são fortemente deficientes em P e 26,6% o são, ainda, medianamente deficientes (Roche et al., 1980).

## 3.4 CONCLUSÕES

A fertilidade dos solos nas áreas de várzea e de topo foi mais influenciada pelas diferentes classes texturais do que pelos usos da terra. A substituição das matas nativas por outros usos da terra, resultou em um enriquecimento nos teores de P e K e um empobrecimento nos teores de Ca, Mg e, matéria orgânica (C e N), esta última particularmente nas áreas agrícolas.



**Figura 3.2.** Proporção de solos da microbacia relacionados com a posição no relevo (a, b), uso da terra (c, d) e classe textural (e, f) em relação aos níveis de fertilidade do solo para fósforo e potássio.

Não foi possível determinar diferenças significativas nos teores de nutrientes que definissem as várzeas como áreas de ganho líquido de nutrientes.

Foi constatada uma deficiência generalizada de P, independentemente da posição no relevo, uso da terra ou classe textural.

### **3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALVARENGA, M.I.N.; DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO e a sustentabilidade de agroecossistemas. **R. Bras. Ci. Solo**, n.23, p.933-942, 1999.
- ASSIS, R. L.; BAHIA, V. G.; Práticas mecânicas e culturais de recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.191, p.71-78, 1998.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999, 335p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo. Divisão de Agrologia – SUDENE. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTAP, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15).
- CAMPBELL, B.M.; FROST, P.; KING, J.A.; MAWANZA, M.; MHLANGA, L. The influence of trees on soil fertility of two contrasting semi-arid soil types at Matopos, Zimbabwe. **Agrofor. Syst.**, v.28, p.159-172, 1994.
- COUTO, E.G.; STEIN, A.; KLAMT, E. Large area spatial variability of soil chemical properties in central Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.66. p.139-152, 1997.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análises de solos**. 2.Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.
- FRAGA, V. S. **Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência**. UFPE, 2002. 70p. (Tese de Doutorado).
- GALVÃO, S.R.S. **Frações de carbono e de nitrogênio em uma microbacia com diferentes usos do solo**. UFPE, 2003. 45p. (Dissertação de Mestrado).

- GREGORICH, E. G.; GREER, K.J.; ANDERSON, D. W., LIANG, B. C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil & Tillage Research**, v.47, p.291-302, 1998.
- Manual de sugestões de adubação para o estado da Paraíba. 1º Aproximação. EMATER-PB, João Pessoa, PB. 105p.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO. I.H.; ELLIOTT, E.T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v.56, p.27-38, 2002.
- MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO; E.V.S.B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. **In:** Oliveira, T.S., Romero, R.E., Assis Jr., R.N., Silva, J.R.C.S. (eds.). Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza, SBCS, DCS-UFC. P.20-46, 2000.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I. H. Influence of tree species on the herbaceous understory and soil chemical characteristics in a silvopastoral system in semi-arid northeastern Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**. n.23, p.817-826, 1999.
- NEEDELMAN, B.A.; WANDER, M.M.; BOLLERO, G.A.; BOAST, C.W.; SIMS, G.K.; BULLOCK, D.G. Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. **Soil Science Society American Journal**, v.63, p.1326-1334, 1999.
- PARKIN, T.B.; ROBINSON, J.A. Statistical evaluation of median estimators for lognormally distributed variables. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.57, p.317-323, 1993.
- PENNOCK, D.J.; ANDERSON, D.W; DE JONG, E. Landscape-scale changes in indicators of soil quality due to cultivation in Saskatchewan. Canadá. **Geoderma**. v.64, p.1-19, 1994.
- PETERSON, P.; SILVEIRA, L.; ALMEIDA, P. Ecosystemas naturais e agroecosistemas tradicionais no Agreste da Paraíba: uma analogia socialmente construída e uma oportunidade para a conversão agroecológica.. **In:** Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido. AS-PTA, p.13-119, 2002.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. NEPUT, Viçosa, 1997. 367p.
- RHOADES, C.C. Single tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural Forest and savanna ecosystems. **Agrofor. Syst.**, v.35, p.71-94, 1997.
- ROCHE, R.; GRIERE, L.; BABLE, C.; CALDA, H.; FALLAVIER, R. **O fósforo nos solos tropicais: apreciação dos níveis de carência e das necessidades de fósforo**. Paris, Institut Mundial du Phosphate, 1980, 48p.

- SAMPAIO, E. V. S. B., SALCEDO, I. H., SILVA, F. B. R. Fertilidade de solos do semi-árido do nordeste. **In:** XXI REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. EMBRAPA – CPATSA – SBCS, Petrolina, 1995. p.51-72.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; ALVES, G.D.; COLAÇO, W. Comparação entre estrume curtido e estrume biodigerido como fonte de nutrientes para o milho. **R. Bras. Ci. Solo.** v.9, p.27-31, 1985.
- SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, R.A.M. Estudo de topossequência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, n.4, p.965-976, 2001.
- SILVA, F.B.R.; RICÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUSA NETO, N.C. de; BRITO, L.T. de L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B. DA; SILVA, A.B. DA; ARAÚJO FILHO, J.C. de. **Zoneamento agroecológico do Nordeste:** diagnóstico do Tabela natural e agrossocioeconômico. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA/Recife: EMBRAPA-CNPS. Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2v. il.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry:** the principles and practice of statistics in biological research. 3ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 1998, 887p.
- WILLETT, I.R. Causes and prediction of changes in extractable phosphorus during flooding. **Aust. J. Soil Res.**, n.27, p.45-54, 1989
- WOODS, L. E.; SCHUMAN, G. E. Cultivation and slope position effects on soil organic matter. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.52. p.1371-1376, 1988.

## **CAPITULO 4**

### **4 - REDISTRIBUIÇÃO DE $^{137}\text{Cs}$ EM DISTINTAS PROFUNDIDADES E POSIÇÕES TOPOGRÁFICAS EM SOLO SOB PASTAGEM E VEGETAÇÃO NATIVA**

## 4 - REDISTRIBUIÇÃO DE $^{137}\text{Cs}$ EM DISTINTAS PROFUNDIDADES E POSIÇÕES TOPOGRÁFICAS EM SOLO SOB PASTAGEM E VEGETAÇÃO NATIVA

### 4.1 INTRODUÇÃO

O processo erosivo é um dos maiores problemas na agricultura atual. Sua ação é muitas vezes imperceptível e vem causando o empobrecimento e a degradação de grandes áreas agricultáveis (Bertoni & Lombardi Neto, 1999). O solo desprovido de cobertura vegetal e da ação fixadora das raízes, exposto ao impacto direto da chuva ou do vento, sofre desagregação e remoção de suas partículas. Além disso, o transporte das partículas desagregadas arrastam também matéria orgânica e nutrientes, deixando os solos empobrecidos (Costa et al., 2000). O desmatamento descontrolado, sobretudo em áreas de relevo ondulado e atividades agrícolas que não providenciam uma cobertura adequada da superfície dos solos, são os principais fatores que contribuem para esta degradação.

A medição da radioatividade do  $^{137}\text{Cs}$  artificial no solo pode gerar informações relacionadas com a circulação deste elemento na atmosfera e também com a redistribuição (erosão) de sedimentos na paisagem. O  $^{137}\text{Cs}$ , introduzido no meio ambiente pelo “fallout” radioativo de explosões e acidentes nucleares, é um emissor beta com meia-vida de 30,17 anos que decai para o  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  que é um emissor gama com energia de 661,65 keV e uma meia-vida de 2,552 minutos (Brown et al., 1991). Este radionuclídeo, proveniente principalmente do hemisfério norte, foi transportado através da circulação inter-hemisférica para o hemisfério sul (Schuch et al., 1994).

Após sua deposição na superfície do solo e adsorção pelos minerais de argila e matéria orgânica, o  $^{137}\text{Cs}$  não é mais facilmente removido (Nishita et al., 1956; Hão et al., 2001). Através dos processos de erosão e sedimentação, o  $^{137}\text{Cs}$  é transportado com o solo, tornando possível realizar balanços de perdas ou ganhos de sedimento em um determinado local, em função de variações na atividade de  $^{137}\text{Cs}$  (Branca e Voltaggio, 1993; Lobb et al., 1995). As variações de  $^{137}\text{Cs}$  nas diferentes posições de um relevo, podem ser explicadas como consequência da sua migração com o sedimento e acúmulo em outro local, uma vez que se admite uma relativa uniformidade na deposição do  $^{137}\text{Cs}$  em uma determinada área (Bernard e Laverdière, 1992).

A bibliografia disponível sobre o  $^{137}\text{Cs}$  é considerável, havendo inclusive site na Internet que mantém uma lista atualizada de todas as publicações mundiais relacionadas com este radionuclídeo (<http://hydrolab.arsusda.gov/cesium137bib.htm>).

A radioatividade nos solos devida ao  $^{137}\text{Cs}$  é variável nas diferentes regiões do planeta, mas normalmente é mais elevada em solos do hemisfério Norte. No Brasil, apesar de já terem sido iniciados alguns estudos nesta linha, são poucas as regiões onde se realizaram trabalhos (Schuch et al., 1994). De forma geral, foi observado um padrão de diminuição dos estoques de  $^{137}\text{Cs}$  com a diminuição da latitude no Brasil (Schuch et al., 1994). Esses autores reportaram estoques de  $^{137}\text{Cs}$  de 329, 159, 150 e 107 Bq m<sup>-2</sup> para latitudes de 28°, 26°, 22° e 13° S, respectivamente. No nordeste do Brasil, na latitude de 8° S Fraga e Salcedo (2004) determinaram um estoque de 118 Bq m<sup>-2</sup> como valor médio para seis áreas de caatinga preservada, na posição de meia encosta, o que coincide razoavelmente bem com a seqüência de atividade decrescente com a latitude mencionada anteriormente. Por esse motivo, e na ausência de outros valores de referência para a região, Fraga e Salcedo (2004) utilizaram esse estoque como referência para obter estimativas de erosão em áreas mais degradadas. Entretanto, pelo fato das amostras terem sido retiradas em posição de meia encosta, ainda que com vegetação preservada, e de unicamente terem sido encontradas atividades mensuráveis de  $^{137}\text{Cs}$  na camada de 0-7,5 cm, há a possibilidade de uma certa subestimação para o estoque nessa latitude.

No presente trabalho, foi escolhida como área de referência uma reserva de mata atlântica de altitude, preservada durante os últimos 65 anos, isto é, antes do principal fallout de  $^{137}\text{Cs}$  (Ritchie e McHenry, 1990), aproximadamente na latitude de 8° S. Os objetivos do trabalho foram: caracterizar a distribuição do  $^{137}\text{Cs}$  no relevo, utilizando toposseqüências, e, finalmente, comparar as atividades na mata com aquelas determinadas em toposseqüências com pastagens de regiões vizinhas, para avaliar a intensidade da erosão destas últimas.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Histórico da área

A área de estudo está localizada no Agreste (sub-úmido) do Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, e compreendida entre os paralelos 192000 e 198000 m S e os meridianos 9225300 e 9231000 m O, com altitude variando de 510 – 610 m. As 5

topossequências estudadas se localizam na microbacia Vaca Brava, PB, que tem uma área de 14,04 km<sup>2</sup>, sendo que 6,05 km<sup>2</sup> sob vegetação nativa. Os solos das topossequências estudadas são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico, para o pedimento, encosta, ombro e topo, enquanto que nas áreas de várzeas predomina os Gleissolos (EMBRAPA, 1999). As topossequências 1 (T1m) e 2 (T2m) estão na área da mata de Pau-Ferro, que é uma reserva de Mata Atlântica de altitude que protege a bacia hidrográfica da barragem Vaca Brava, enquanto as topossequências 3 (T3p), 4 (T4p) e 5 (T5p) estão em áreas de pastagem (*Brachiaria Decumbens*). A barragem foi construída em 1939 e para a preservação do manancial, 7 km<sup>2</sup> foram desapropriados e criada a reserva florestal, que já tem 65 anos de idade. As áreas de pastagem, por outro lado, vêm com o mesmo tipo de cobertura vegetal por, pelo menos, 30 anos.

#### 4.2.2 Amostragem

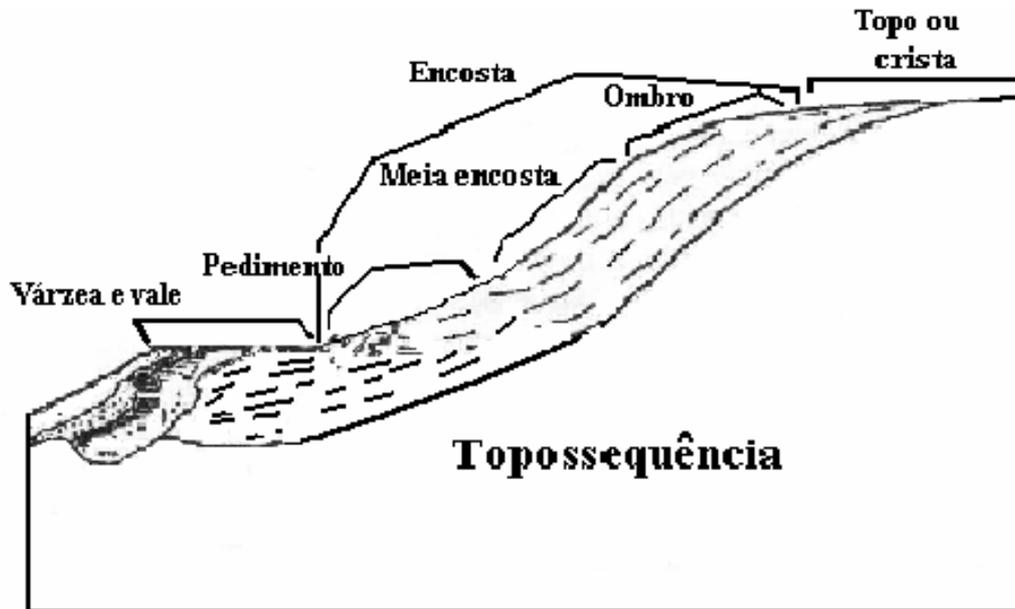
As amostras foram coletadas em duas situações distintas: vegetação nativa - representada pelas topossequências 1 (T1m) e 2 (T2m); e exploração com pastagem, nas topossequências 3 (T3p), 4 (T4p) e 5 (T5p).

A figura 4.1, ilustra esquematicamente as distintas posições na topossequência onde foram retiradas amostras de solo, enquanto que na figura 4.2 mostra as localizações das topossequências onde a amostragem foi realizada na microbacia Vaca Brava, PB.

As profundidades amostradas foram variáveis em função das variações esperadas na atividade do <sup>137</sup>Cs entre as áreas nativas e sob pastagem e ainda entre as posições numa mesma topossequência (Figura 4.2). Foram obtidas amostras compostas a partir de seis amostras simples coletadas distante entre si 5-10 m. Nas áreas sob mata nativa não foram retiradas amostras no ombro da encosta, uma vez que devido a vegetação ser muito densa, não havia condições de delimitar essa região de transição.

#### 4.2.3 Metodologia de análises

As amostras de solo foram inicialmente secas ao ar (TFSA), destorroadas e passadas pela peneira de 2 mm. Para as medidas da atividade do <sup>137</sup>Cs foi utilizada a espectrometria gama com detector germânio intrínseco, acoplado a um analisador multicanal. O solo foi acondicionado, a volume constante, em um béquer tipo Marinelli de 3 L de capacidade e as contagens foram acumuladas durante 80.000 segundos (Bajracharya et al., 1998).



**Figura 4.1.** Modelo esquemático de amostragem de solos nas diferentes posições

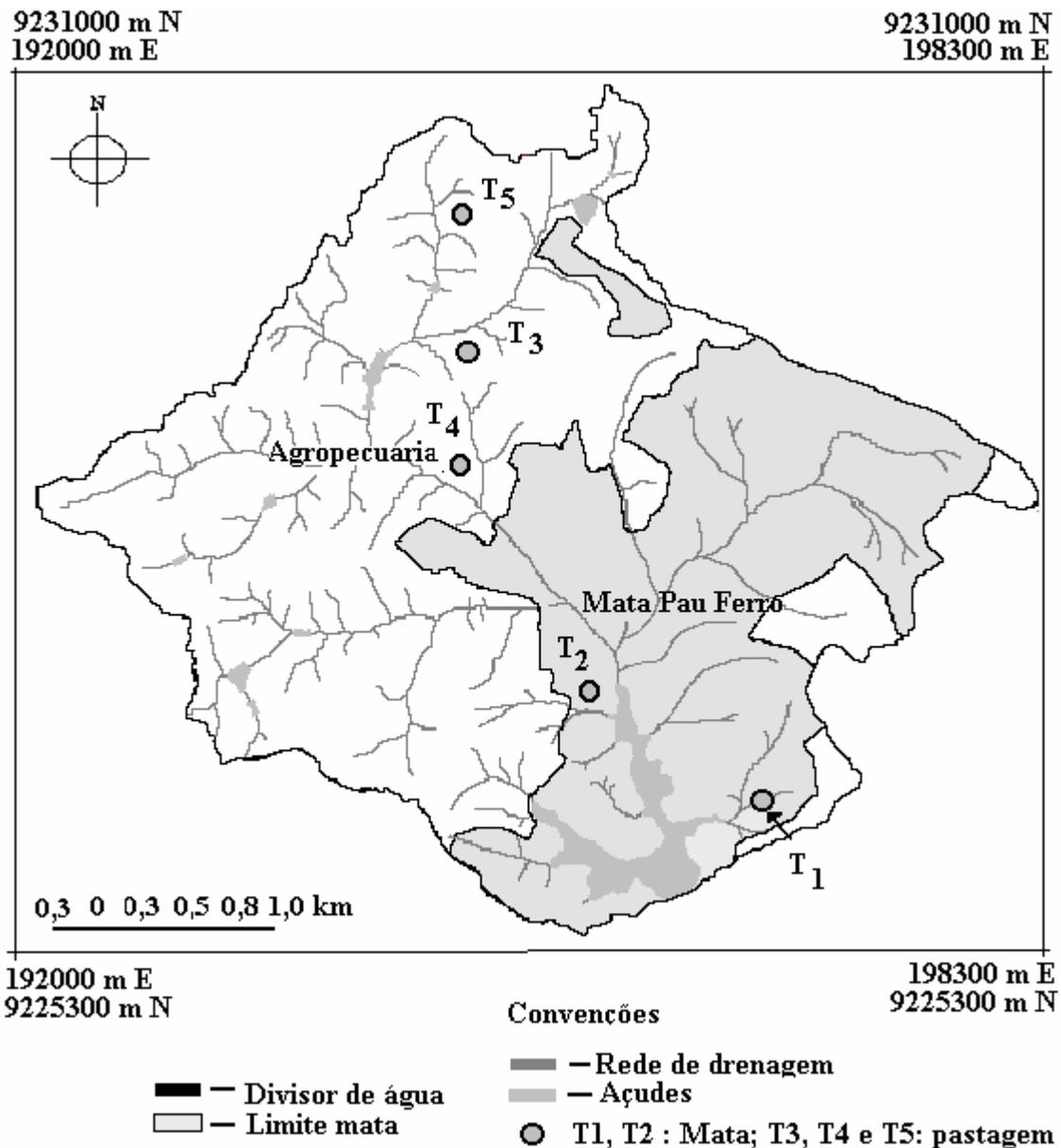
As determinações de C total no solo foram realizadas no Laboratório de Radiagronomia - Fertilidade do Solo do Departamento de Energia Nuclear – UFPE, utilizando o método de Snyder e Trofymow (1984). As análises físicas (granulometria e densidade do solo TFSA) foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solo e Engenharia Rural-UFPB, utilizando metodologia de EMBRAPA (1997).

Para determinar a atividade do  $^{137}\text{Cs}$ , foi necessário o cálculo da eficiência de contagem, relacionando a taxa de contagem obtida do espectro gama do  $^{137}\text{Cs}$  com sua atividade. Para o cálculo da eficiência foi utilizada uma amostra de água de atividade conhecida (IRD,1999), que foi adicionada a uma amostra de solo cuja taxa de contagem tinha sido previamente determinada. Após seca ao ar, a amostra de solo foi homogeneizada e novamente contada. A eficiência de detecção foi determinada a partir da seguinte expressão (Kachanoski e De Jong, 1984):

$$Ef = \frac{(cgs_{solo+padr\tilde{a}o} - cgs_{solo})}{(Bq_{padr\tilde{a}o} * 0,84 \text{ cgs } Bq^{-1})} \quad [1]$$

Onde, cgs = contagem gama por segundo, e

Ef = Eficiência de contagem



#### Amostragem

T1m e T2m 1	Vale (0-4, 4-8, 8-12, 12-16, 16-20, 20-28, 28-36, 36-44 e 44-52 cm) Pedimento (0-4, 4-8, 8-12, 12-16, 16-20, 20-28, 28-36, 36-44 e 44-52 cm) Meia-encosta (0-4, 4-8, 8-12, 12-16, 16-20 e 20-28 cm) Topo (0-4, 4-8, 8-12, 12-16, 16-20 e 20-28 cm)
T3p, T4p e T5p	Vale (0-8, 8-16, 16-20, 20-28, 28-36, 36-44 e 44-52 cm) Pedimento (0-8, 8-16, 16-20, 20-28 e 28-36 cm) Meia-encosta (0-8, 8-16, 16-20 e 20-28 cm) Ombro (0-8, 8-16, 16-20 e 20-28 cm) Topo (0-8, 8-16, 16-20 e 20-28 cm)

**Figura 4.2.** Localização das topossequências utilizadas e intervalos de camadas de solos para determinação da atividade do  $^{137}\text{Cs}$

Por causa da distribuição homogênea do “fallout” do  $^{137}\text{Cs}$  a nível regional e pela sua elevada retenção pelos constituintes do solo, mudanças nas concentrações de  $^{137}\text{Cs}$  no solo entre diferentes locais, têm sido interpretadas como uma redistribuição do material do solo na paisagem (Ritchie e Mc Henry, 1990). Várias equações empíricas ou modelos de complexidade variável têm sido usados para relacionar as diminuições da atividade de  $^{137}\text{Cs}$  no solo com as taxas de erosão (Ritchie et al., 1971, Kachanoski & de Jong, 1984; Yang et al., 1998). Quase a metade do fallout total de  $^{137}\text{Cs}$  até 1982, ocorreu em 1963 (Ritchie & McHenry, 1990). Estimativas da erosão do solo baseado nos dados do  $^{137}\text{Cs}$  foram calculados assumindo uma taxa linear de perda no intervalo de 1963-2001 (38 anos) e uma distribuição homogênea do  $^{137}\text{Cs}$  dentro de cada camada coletada. A densidade do solo foi usada para converter as concentrações do  $^{137}\text{Cs}$  para estoques ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) em cada camada usando a seguinte equação:

$$\text{Estoque de } ^{137}\text{Cs} = (\rho * z * \text{atividade do } ^{137}\text{Cs} * 1000) \quad [2]$$

onde o estoque do  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) é o elemento total em cada camada;  $\rho$  é a densidade do solo de cada camada ( $\text{Mg m}^{-3}$ );  $z$  (m) é a espessura da camada; a atividade do  $^{137}\text{Cs}$  é a concentração do elemento em  $\text{Bq kg}^{-1}$  e 1000 é fator de conversão (Fraga & Salcedo, 2004). O estoque total de  $^{137}\text{Cs}$  até a profundidade amostrada é o somatório dos estoques de todas as camadas do ponto amostral.

Para calcular as perdas de solo ( $\text{kg m}^{-2}$ ) foi usada a seguinte expressão:

$$\text{Perdas} = \frac{[\text{estoque de } ^{137}\text{Cs} (\text{ref}) - \text{estoque de } ^{137}\text{Cs} (i)]}{\text{Estoque de } ^{137}\text{Cs} (\text{ref})} * (\rho(i) * z * 1000) \quad [3]$$

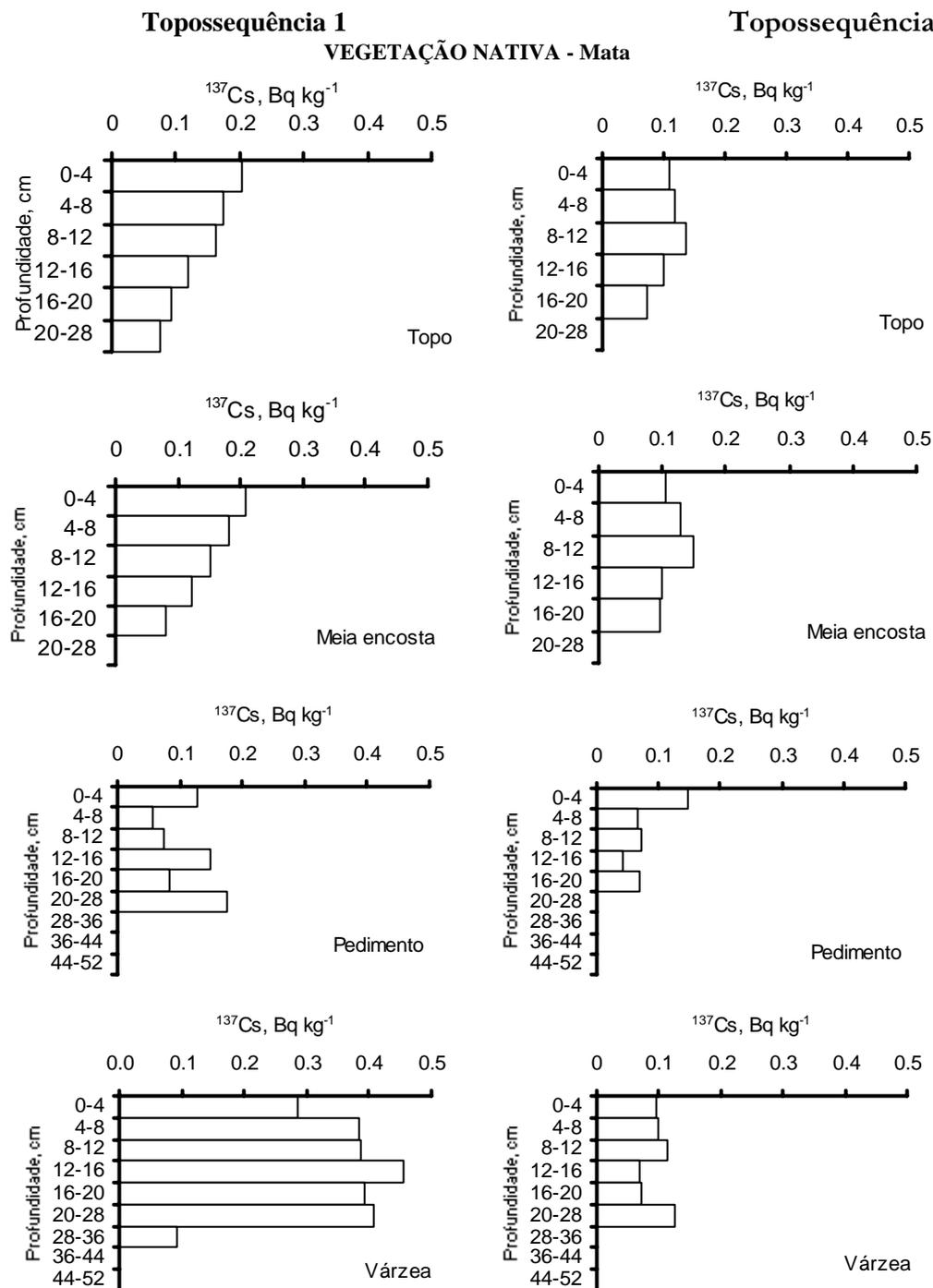
onde (ref) representa área de referência e (i) representa área de interesse.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Topossequências com vegetação nativa

No topo e meia encosta das duas topossequências de mata (T1m e T2m) foram encontradas atividades detectáveis de  $^{137}\text{Cs}$  até a camada de 16-20 cm (Figura 4.3). Na

T1m a maior atividade,  $0,2 \text{ Bq kg}^{-1}$  foi encontrada na primeira camada (0-4 cm) e decresceu nas camadas seguintes, mostrando um perfil bastante típico de distribuição de  $^{137}\text{Cs}$  em profundidade (Wallbrik et al. (1999). Na T2m a atividade em superfície foi menor,  $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ , e a distribuição foi semelhante em todas as camadas, mas com uma pequena acumulação na camada de 8-12 cm, indicando que pode ter havido um maior deslocamento do nuclídeo em profundidade nesta toposequência em relação a T1m.



**Figura 4.3.** Perfil de distribuição de  $^{137}\text{Cs}$  em duas toposequência sob vegetação nativa – Mata

Esta tendência é coerente com a textura mais grossa de T2m (franco arenosa) em relação a T1m (franco argilosa) (Tabela 4.1). Consideradas todas as amostras, foi encontrada uma correlação positiva e significativa ( $p < 0,01$ ) entre o teor de argila e a atividade de  $^{137}\text{Cs}$  ( $r = 0,75$ ). A relação da atividade com as classes texturais é mostrada na Figura 4.4. O  $^{137}\text{Cs}$  pode ser fixado por alguns tipos de minerais de argila, tais como illita ou, com menor intensidade, por óxidos de Fe (Cook et al., 1984; Cremers et al., 1988). Na sua interação com a matéria orgânica, o  $^{137}\text{Cs}$  é retido por um simples processo de troca de íons, podendo ser deslocado por cátions com constantes de seletividade maior ou que estejam presentes em maiores concentrações (Hilton e Spezzano, 1994; Hird et al., 1995; e Livens et al., 1988). Os complexos orgânicos com argilas preservam as posições para retenção do  $^{137}\text{Cs}$  com baixa hidratação (Livens et al., 1996; Maes et al., 1998, e Shans et al., 1994;).

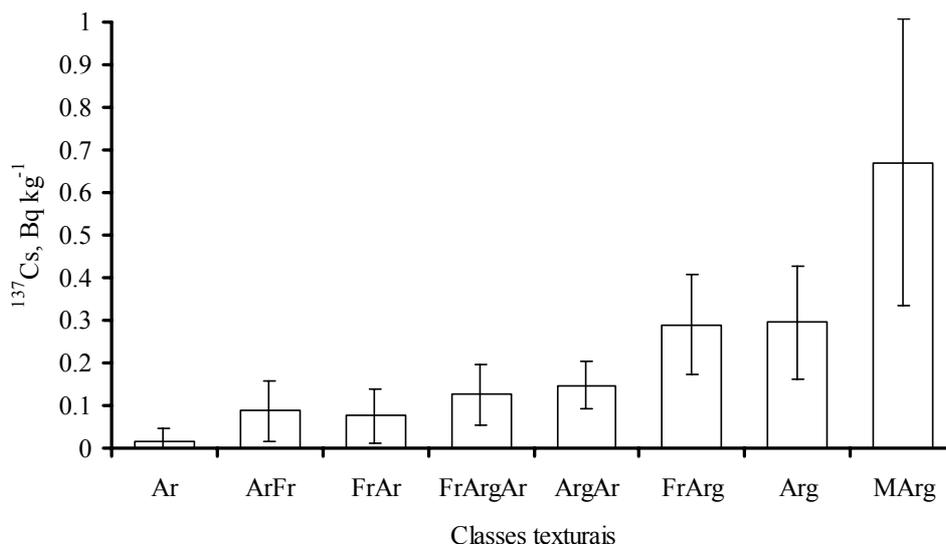
Os estoques de  $^{137}\text{Cs}$  resultantes das distribuições em profundidade, mostradas na figura 4.3, foram maiores para T1m ( $38,7 \text{ Bq m}^{-2}$ ) que para T2m ( $27,4 \text{ Bq m}^{-2}$ ) (Tabela 4.2). Entretanto, na comparação entre as posições topo e meia encosta, dentro de cada toposseqüência, os estoques foram quase idênticos (Tabela 4.2), indicando que não houve perdas de solos significativas na posição de meia encosta de nenhuma das duas toposseqüências.

Na posição de pedimento, T1m apresentou descontinuidades nas concentrações de  $^{137}\text{Cs}$  em profundidade, que atingiu a maior concentração,  $0,16 \text{ Bq kg}^{-1}$ , na profundidade de 20-28 cm (Figura 4.3). É possível que isto seja reflexo de eventos erosivos ou de inundação em diferentes anos, com aportes de outras áreas. Esses aportes devem ter sido limitados, uma vez que o estoque aumentou pouco em relação à posição de meia encosta (Tabela 4.2). Nesta toposseqüência o  $^{137}\text{Cs}$  teve tendência a acumular-se na várzea, com atividades ao redor de  $0,4 \text{ Bq kg}^{-1}$  em cinco camadas e atingindo uma profundidade de 36 cm. Vale destacar que as camadas na várzea que apresentaram as maiores concentrações de  $^{137}\text{Cs}$  coincidiram com as do pedimento, reforçando a idéia que houve dois eventos erosivos ou de inundação mais intensos em anos distintos. O estoque na área de várzea foi quase o dobro do encontrado no topo ou meia encosta. (Tabela 4.2). É interessante assinalar que enquanto a área de pedimento tinha textura franco arenosa, o canal da várzea apresentou textura argilosa a muito argilosa, exceto nas três camadas mais profundas, que eram franco arenosas e continham baixa ou nenhuma concentração de  $^{137}\text{Cs}$  (Tabela 4.1 e Figura 4.3).

**Tabela 4.1.** Argila e carbono total em amostras retiradas de várias profundidades de toposseqüências com vegetação de Mata Atlântica de altitude ou com pastagens, nas quais foram determinadas as atividades de  $^{137}\text{Cs}$ .

Prof Cm	Teor de argila					Teor de carbono total				
	Topo	Ombro	M. enc.	Pedim.	Várzea	Topo	Ombro	M. enc.	Pedim.	Várzea
	g kg <sup>-1</sup> solo					g kg <sup>-1</sup> solo				
Toposseqüência 1 - Mata										
0-4	392	n.a	246	170	536	28,7	n.a	32,5	11,9	29,3
4-8	410	n.a	269	170	660	27,3	n.a	23,6	10,0	28,4
8-12	418	n.a	267	188	604	24,4	n.a	19,9	8,5	24,4
12-16	407	n.a	307	176	519	21,6	n.a	18,2	7,7	24,2
16-20	427	n.a	278	163	393	21,6	n.a	17,0	7,8	21,6
20-28	153	n.a	319	125	213	26,1	n.a	15,4	7,6	14,5
Toposseqüência 2 - Mata										
0-4	122	n.a	236	124	318	14,8	n.a	29,2	18,2	31,3
4-8	119	n.a	232	163	341	10,6	n.a	20,9	18,4	28,1
8-12	166	n.a	251	162	257	10,8	n.a	16,0	17,3	24,4
12-16	174	n.a	233	143	220	9,3	n.a	14,2	14,9	17,3
16-20	172	n.a	240	149	176	8,5	n.a	13,7	16,0	13,3
20-28	344	n.a	457	191	281	7,9	n.a	12,9	12,2	12,3
Toposseqüência 3 – Pastagem										
0-8	73	95	123	128	195	16,1	7,1	7,32	14,2	17,7
8-16	69	87	155	115	134	7,6	6,5	8,52	9,7	7,7
16-20	52	57	312	110	101	4,7	8,0	17,1	8,6	12,1
20-28	99	176	100	111	99	5,5	6,3	15,0	7,8	6,7
28-36	n.a	n.a	n.a	111	111	n.a	n.a	n.a	8,3	4,9
36-44	n.a	n.a	n.a	n.a	94	n.a	n.a	n.a	n.a	4,7
44-52	n.a	n.a	n.a	n.a	140	n.a	n.a	n.a	n.a	7,3
Toposseqüência 4 – Pastagem										
0-8	87	142	185	170	252	6,4	9,1	7,8	14,1	14,4
8-16	172	203	190	166	124	9,1	10,0	6,72	10,9	14,0
16-20	119	224	160	179	114	9,6	12	7,98	10,1	1,6
20-28	126	231	160	107	103	8,8	11,0	7,14	5,3	7,3
28-36	n.a	n.a	n.a	143	47	n.a	n.a	n.a	5,5	5,3
36-44	n.a	n.a	n.a	n.a	73	n.a	n.a	n.a	n.a	5,6
44-52	n.a	n.a	n.a	n.a	60	n.a	n.a	n.a	n.a	6,9
Toposseqüência 5 - Pastagem										
0-8	215	243	173	186	503	20,6	26,7	18,3	18,5	14,8
8-16	196	327	244	214	376	4,7	11,1	17,2	19,8	21,7
16-20	221	259	218	239	322	18,6	16,0	7,88	18,9	15,8
20-28	546	309	193	185	424	12,4	11,0	7,17	17,1	8,6
28-36	n.a	n.a	n.a	172	243	n.a	n.a	n.a	15,0	15,0
36-44	n.a	n.a	n.a	n.a	276	n.a	n.a	n.a	n.a	16,9
44-52	n.a	n.a	n.a	n.a	271	n.a	n.a	n.a	n.a	16,9

n.a.: não amostrada; M. enc.: meia-encosta; Pedim.: pedimento.



**Figura 4.4.** Relação entre classes texturais e a concentração de  $^{137}\text{Cs}$  no solo (Ar: areia; ArFr: areia franca; FrAr: franco arenosa; FrArgAr: franco argilo arenosa; ArgAr: argilo arenosa; FrArg: franco argilosa; Arg: argilosa; MArg: muito argilosa).

**Tabela 4.2.** Estoque de  $^{137}\text{Cs}$  nas topossequências sob mata e pastagem nas diferentes posições de coleta .

Posição	Mata			Pastagem			
	T1m	T2m	Média	T3p	T4p	T5p	Média
				Bq m <sup>-2</sup>			
Topo	38,7	27,4	33,1	66,8	32,4	74,9	58,0
Ombro	na <sup>(1)</sup>	na	na	9,0	11,8	20,2	13,7
Meia encosta	31,6	26,6	29,1	nd <sup>(2)</sup>	nd	nd	nd
Pedimento	43,4	19,7	31,6	61,7	41,3	36,3	46,4
Várzea	73,8	31,0	52,4	97,03	42,1	184,6	107,9

<sup>(1)</sup> Não amostrado; <sup>(2)</sup> Estoque menor que o nível de detecção.

A topossequência T2m apresentou resultados contrastantes nas áreas de pedimento e várzea em relação a T1m. As concentrações de  $^{137}\text{Cs}$  nas camadas amostradas no pedimento foram baixas, somente superando  $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$  na profundidade de 0-4 cm, e sem ultrapassar a camada de 16-20 cm. Na região de várzea o contraste entre T2m e T1m foi ainda maior. Embora o  $^{137}\text{Cs}$  tenha sido concentrado até na camada de 20-28 cm, as concentrações sempre oscilaram ao redor de  $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ , semelhantes às determinadas nas áreas de topo e meia encosta. Até os 28 cm a classe textural foi franco argilo-arenosa e passou para arenosa nas três camadas mais profundas nas quais não foi detectada presença de  $^{137}\text{Cs}$ . Em termos de estoque, as áreas de várzea, meia encosta e topo da T2m apresentaram estoques muito semelhantes (Tabela 4.2).

As diferenças na distribuição do  $^{137}\text{Cs}$  nas posições de pedimento e várzea de T1m e T2m podem ser atribuídas às diferenças nas dimensões desses dois vales. A largura do vale em T1m era de aproximadamente 200 m, sendo o pedimento uma área um pouco mais elevada que a várzea, que praticamente consistia de um canal de drenagem que oscilava entre 10 e 20 m de largura. No pedimento predominava uma vegetação de gramíneas, com muito poucas árvores, enquanto no canal da várzea a vegetação era uma mistura de gramíneas e dicotiledôneas, também sem árvores. O local da amostragem ficou aproximadamente 250m antes do início da lâmina de água livre do açude e, pela sua localização, esta várzea parecia não ter conexão direta com a rede de drenagem da microbacia (Figura 4.2) É provável, portanto, que essas maiores acumulações de  $^{137}\text{Cs}$  observadas em duas camadas do pedimento e da várzea (Figura 4.4) tenham se originado da entrada de sedimentos (principalmente argila e silte fino) em suspensão na água do açude, inundando esse pequeno vale, e não do carreamento de sedimentos de outras regiões da bacia. A presença de abundante vegetação favorece um sistema de baixa energia, permitindo a lenta sedimentação de partículas de menor diâmetro, que normalmente são as que retêm maiores concentrações de  $^{137}\text{Cs}$ .

A área de pedimento e várzea de T2m era bem mais larga e sua conexão com o sistema de drenagem geral da bacia mais direto (Figura 4.2). Isto, aliado a uma textura principalmente franca arenosa a arenosa deve ter contribuído para uma menor retenção de  $^{137}\text{Cs}$ . É possível que a diferença entre os estoques de T1m e T2m tenha-se originado da variabilidade espacial no processo de deposição do  $^{137}\text{Cs}$ , mas, por outro lado, a textura mais grossa e a presença das maiores concentrações de  $^{137}\text{Cs}$  na profundidade de 8-12 cm, tanto no topo quanto na meia encosta, sugerem o deslocamento vertical deste radionuclídeo, resultando em concentrações abaixo do limite de detecção.

Na região de pedimento e várzea de Tm2, a maior superfície desta área resultou em estoques menores por  $m^2$ ; teores menores de argila podem ter contribuído para reduzir mais ainda os estoques por  $m^2$ .

#### 4.3.2 Topossequências com pastagens

O maior contraste entre as concentrações de  $^{137}\text{Cs}$  encontradas nas topossequências com pastagens (T3p, T4p e T5p, Figura 4.5) e aquelas com mata, foi a ausência de níveis detectáveis desse nuclídeo nas posições de encosta e em três das camadas da área do ombro das pastagens. Mencionou-se anteriormente que não foi possível amostrar a área do ombro das topossequências com mata, mas a semelhança nas distribuições e estoques de  $^{137}\text{Cs}$  nas posições de topo e meia encosta, permitem inferir que a posição intermediária do ombro teria também um estoque semelhante. Desta forma, os resultados das pastagens indicam erosão severa das encostas e também do ombro das três topossequências (Figura 4.5).

O perfil de distribuição do  $^{137}\text{Cs}$  em profundidade na posição de topo em T3p sugere ter havido movimentação vertical do  $^{137}\text{Cs}$  (comparar com distribuição em T1m), eliminando o gradiente em atividade com a profundidade, típico deste nuclídeo (Andrello et al. 2002). Em T5p também houve esse deslocamento vertical, inclusive com uma certa acumulação na camada de 16-20 cm, onde a atividade atingiu valor de  $0,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ . É possível que esse deslocamento vertical do nuclídeo seja o motivo de não se ter detectado  $^{137}\text{Cs}$  além dos 16 cm de profundidade em T4p (Figura 4.5). As maiores atividades encontradas em T5p em relação às outras duas áreas com pastagem, provavelmente decorreram das maiores concentrações de argila em T5p (Tabela 4.1). Entretanto, essas maiores atividades resultaram em um estoque de  $^{137}\text{Cs}$  somente um pouco maior no topo de T5p ( $74,9 \text{ Bq m}^{-2}$ ) do que em T3p ( $66,8 \text{ Bq m}^{-2}$ ) (Tabela 4.2), uma vez que as camadas mais argilosas (Tabela 4.1) tiveram uma densidade de solo menor.

Somente uma das topossequências com pastagens apresentou pedimento com atividade detectável de  $^{137}\text{Cs}$  até a camada de 28-36 cm (Figura 4.5), o que resultou em estoques de  $61,7 \text{ Bq m}^{-2} \text{ }^{137}\text{Cs}$  (Tabela 4.2), bastante maiores que nas outras duas.

Em duas das várzeas o  $^{137}\text{Cs}$  foi encontrado nas camadas mais profundas amostradas (44-52 cm), sendo que na várzea com maiores teores de argila (T5p, Tabela 4.1) o estoque foi de  $185 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tabela 4.2) enquanto na menos argilosa (T3p) o estoque foi menor ( $97 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Contrariamente ao esperado, na várzea da T4p não foram encontradas atividades detectáveis de  $^{137}\text{Cs}$  além dos 36 cm, talvez por causa de uma mudança textural abrupta (Tabela 4.1).



Ainda, na camada de 16-20 cm de T4p e T5p a atividade de  $^{137}\text{Cs}$  ficou abaixo do limite de detecção, não havendo uma explicação clara para essa descontinuidade. As áreas de várzea amostradas formam parte da rede de drenagem da microbacia que desemboca no açude (Figura 4.2). Por esse motivo, não é possível inferir que o excesso de estoque de  $^{137}\text{Cs}$  nas várzeas, sobretudo de T3p e T5p (Tabela 4.2), seja originário das posições mais altas do relevo da topossequência correspondente. De toda forma, e de acordo com o esperado, as várzeas desta microbacia foram áreas de acumulação preferencial do nuclídeo.

### 4.3.3 Estimativas de perdas por erosão

Os cálculos de erosão de solo utilizando a marcação com  $^{137}\text{Cs}$  pressupõem a comparação da área de interesse, com outra área ou áreas na mesma região utilizada como referência (Andrello et al, 1997; Fraga, 2002; Fraga e Salcedo, 2004). Nesse sentido, a área de mata preservada em T1m e T2m pareceria ser a mais adequada para servir como referência na estimativa de perdas de solo nas posições de ombro e encosta das topossequências com pastagens. Entretanto, os estoques de  $^{137}\text{Cs}$  que mais se aproximaram dos  $108 \text{ Bq m}^{-2}$  encontrados na região semi-árida numa latitude semelhante (Fraga e Salcedo, 2004), foram os das posições de topo em T3p e T5p (Tabela 4.2), e não nas posições de topo da mata, como era esperado.

É pouco provável que estas diferenças sejam devidas à variabilidade espacial na deposição do  $^{137}\text{Cs}$ , dada a relativa proximidade das áreas amostradas. O estoque médio obtido por Fraga e Salcedo (2004) foi proveniente de seis áreas bem mais distantes entre si que às do presente trabalho e obtido em posição de meia-encosta. Os valores mínimos e máximos determinados por esses autores nessas áreas de referência foram  $0,964$  e  $1,37 \text{ Bq kg}^{-1}$ , respectivamente (Fraga e Salcedo, 2004). Assim, até que sejam coletados mais dados nessas áreas, deve-se concluir que houve perdas de  $^{137}\text{Cs}$  nas topossequências com mata. Estas perdas devem ter sido causadas mais por lixiviação em profundidade do que por processos erosivos, uma vez que as estoques nas posições de topo e meia encosta foram semelhantes (Tabela 4.2). Este não foi o caso das topossequências sob pastagem, que já no ombro mostraram diferenças de estoque em relação ao topo (Tabela 4.2).

A conservação do  $^{137}\text{Cs}$  em duas das posições de topo sob pastagem (Tabela 4.2) pode estar relacionada com a cobertura vegetal à época do fallout mais intenso, que aconteceu no ano de 1963 (Ritchie e McHenry, 1990). Não foi possível saber se as posições amostradas com pastagem tinham mata ou não naquela época. Pelas informações obtidas, as pastagens têm entre 20 e 25 anos de idade. O desmatamento intenso nessa área

começou como resultado da implantação do Proalcool, em 1975 (ITEP, 1982), que fomentou a transformação de áreas de mata em plantios de cana-de-açúcar e que foram posteriormente substituídos pela pecuária extensiva. Assim, é possível pensar que muitas das posições de topo podiam ter vegetação arbórea à época da deposição mais intensa de  $^{137}\text{Cs}$ . A mudança de uso de mata para pastagem ou mata – cana-de-açúcar – pastagem, associado a um índice pluviométrico menor, sobretudo na T5m, permitiu a permanência do nuclídeo na posição de topo.

O contraste maior entre os resultados do presente trabalho e o da região semi-árida ficou por conta da profundidade alcançada pelo radionuclídeo; enquanto na região semi-árida esse estoque ficou concentrado na camada de 0-7,5 na região sub-úmida atingiu a camada de 20-28 cm. É provável que ainda teria sido detectado  $^{137}\text{Cs}$  se mais uma camada tivesse sido amostrada nesta posição, o que teria aproximado mais os estoques das duas regiões.

A massa de solo perdida na área do ombro foi calculada pela equação [3], utilizando o estoque médio de  $70,8 \text{ Bq m}^{-2}$  de  $^{137}\text{Cs}$  das duas áreas topo de pastagem (T3p e T5p) (Tabela 4.2). Foi assumida uma distribuição uniforme do nuclídeo na camada de 0-28 cm de profundidade e uma densidade de solo média de  $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$  para o topo da pastagem (dados não apresentados). O estoque do ombro sob pastagem para a primeira camada (0-8 cm) foi de  $13,7 \text{ Bq m}^{-2}$ . Para a camada de 8-28 cm assumiu-se uma atividade de  $^{137}\text{Cs}$  igual ao limite de detecção do sistema, definido pela contagem da amostra com menor atividade ( $0,03 \text{ Bq kg}^{-1}$  solo). Isto resultou em  $6,6 \text{ Bq m}^{-2}$  para 20 cm de solo e densidade de  $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$ , totalizando um estoque médio de  $20,3 \text{ Bq m}^{-2}$  para a camada de 0-28 cm no ombro das pastagens. Substituindo esses valores na equação [3], obteve-se uma perda estimada de  $219,7 \text{ kg solo m}^{-2}$ , equivalente à perda de uma camada de 20,0 cm de solo.

Os cálculos para a encosta foram semelhantes, uma vez que o estoque da área de referência foi o mesmo que para o ombro. Para o cálculo do estoque de  $^{137}\text{Cs}$  na meia encosta das pastagens, utilizou-se a atividade do limite de detecção mencionada anteriormente, para a camada de 0-28 cm e uma densidade de  $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$ , que resultou em um estoque residual de  $9,2 \text{ Bq m}^{-2}$ . A perda de solo estimada pela equação [3], foi neste caso bem maior,  $268 \text{ kg m}^{-2}$ , equivalente a 24,5 cm de solo, nos últimos 30 anos.

#### 4.4 CONCLUSÕES

O estoque de  $^{137}\text{Cs}$  variou com a mudança da cobertura vegetal, da classe textural, da posição e profundidade de coleta, nas topossequências. Na área sob mata Atlântica de Altitude, o nuclídeo foi encontrado em todas as posições do relevo analisado, enquanto que no ombro e na meia-encosta das topossequências sob pastagens, quase nenhuma atividade foi encontrada, indicando erosão intensa das mesmas.

As áreas de topo e meia encosta sob mata apresentaram estoques semelhantes de  $^{137}\text{Cs}$ , sugerindo que não houve erosão nessas áreas. Entretanto, esses estoques foram quase metade daqueles encontrados no topo de duas das três topossequências sob pastagem. Isto sugere que pode ter havido drenagem profunda do nuclídeo nas áreas sob mata.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRELLO, A. C.; APPOLONI, C. R.; PARIERA, P. S.; COIMBRA, M. M.; GUIMARÃES, M. F. Determinação da erosão/sedimentação do solo por meio da medida da concentração de  $^{137}\text{Cs}$ . **4<sup>th</sup> Meeting on Nuclear Application**, (ENEN, 1997). Agosto, 1997, Poços de Caldas, MG.
- ANDRELLO, A. C.; APPOLONI, C. R.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Distribuição vertical de  $^{137}\text{Cs}$  em solos de mata virgem da região de Londrina (Paraná). **Rev. Bras. Pesq. Des.** v.4, n.3, p.1546-1549, 2002.
- BAJRACHARYA, R. M.; LAL, R.; KIMBLE, J. M. Use of radioactive fallout cesium-137 to estimat soil erosion on three farms in west central Ohio. **Soil Science**, n.163, p.133-141, 1998.
- BERNARD, C.; LAVERDIÈRE, M.R. Spatial redistribution of cesium-137 and soil erosion on Orleans Island, Quebec. **Canadian Journal of Soil Science**, n.72, p.543-554, 1992.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999, 335p.
- BRANCA, M.; VOLTAGGIO, M. **Erosion rate in badlands of central Italy – estimation by radiocaesium isotope ratio from Chernobyl nuclear accident**, *Applied Geochemistry*, n.8, p.437-445, 1993.

- BROWM, R.B., CUSTRHALL, N.B., KLING, G.F. **Agricultural erosion indicated by  $^{137}\text{Cs}$  redistribution I. Levels and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  activity in soil**, Soil Sci. Soc. Am. J., n. 45, p.1184-1190, 1991.
- CREMERS, A.; ELSSEN, A.; DePRETER, P.; MAES, A. Quantitative analyses of radiocaesium retention in soils. **Nature**, v.335, p.247-249, 1988.
- COOK, G.T.; BAXTER, M.S.; DUNCAN, H. J.; TOOLE, J.; MALCOLMSON, R. Geochemical association of plutonium in the Caithness environment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v.223, p.517-522, 1984.
- COSTA, O. V.; COSTA, L. M.; FONTES, L. E. F.; ARAÚJO, Q. R.; KER, J. C.; NACIF, P. G. S. Cobertura do solo e degradação de pastagens em área de domínio de Chernossolos no sul da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, n.24, p.843-856, 2000.
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análises de solos**. 2.Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.
- FOSTER, G.R.; MEYER, L.D. Soil erosion and sedimentation by water. In: Soil erosion and sedimentation. St. Joseph, ASAE, 1977. p.1-13 (Publication, 4-77).
- FRAGA, S. S. **Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência**. UFPE, 2002. 70p. (Tese de Doutorado).
- FRAGA, S. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi arid soils under subsistence farming. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.68, n.215, p.215-224, 2004
- HAO, Y.; LAL, R.; OWENS, L.B.; IZAURRALDE, R.C. **Assessment methods for soil carbon**. Lewis Publishers, Boca Raton, Fla., 2001, 676p.
- HILTON, J.; SPEZZANO, P. An investigation of possible process of radocaesium release from organic Upland soil to Water Bodies. **Water Resources**, v.28, p.975-983, 1994.
- HIRD, A. B.; RIMMER, D. L.; LIVENS, F. R. Total cesium fixing potentials of acid organic soils. **Jounal of Environmental Radioactivity**, v.26, p.103-118, 1995.
- IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Gama em água, 1999.
- ITEP – Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco. **Industria do álcool no Nordeste**. Recife, ITEP/SUDENE, 1982, 172p.
- KACHANOSKI, R.G., E. de JONG. Predicting the temporal relationship between soil cesium-137 and erosion rate. **J. Environ. Qual.** v.13, p.301-304, 1984.

- LIVENS, F. R.; BAXTER, M. S. Chemical association of artificial radionuclides in Cambrian soils. **Journal of Environmental Radioactivity**, v.7, p.75-86, 1988.
- LIVENS, F. R.; HOWE, H. T.; HEMINGWAY, J. D.; GOULDING, K. W. T.; HOWARD, B. J. Forms and rates of release of Cs-137 in two Peat soils. **European Journal of Soil Science**, v.47, p.105-112, 1996.
- LOBB, D.A.; KACHANOSKI, R.G.; MILLER, M.H. Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using  $^{137}\text{Cs}$  as a tracer. **Can. J. Soil Sci.**, n.75, p.211-218, 1995.
- MAES, E.; DELVAUX, B.; THIRY, Y. Fixation of radiocaesium in an acid Brown Forest Soil. **European Journal of Soil Science**, v.49, p.133-140, 1988.
- NISHITA, H.; KOWALEWSKY, B.W., STEEN A.J.; LARSON, K.H. Fixation and extractability of fission products contaminating various soils and clays: I, Sr90, Y91, Ru106, Cs137, and Ce144. **Soil Sci.**, n.81, p.314-326, 1956.
- OLSON, K.R.; LAI, R.; NORTON, L.D. Evaluation of methods to study soil erosion-productivity relationships. *J. Soil Wat. Conserv.*, Ankeny, n.49, 586-590, 1994.
- RITCHIE, J. C.; MCHENRY, J. R. Application of Radioactive Fallout Cesium-137 for Measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and Patterns: A Review. **J. Environ. Qual.** n.19, p.215-233; 1990.
- RITCHIE, J. C.; MCHENRY, J. R.; GILL, A.C.; HAWKS, P.H. Distribution of cesium-137 in a small watershed in northern Mississippi. p.129-132. *In Proc. Third National Symposium on Radioecology. Conf-710-501, Oak Ridge, TN. U.S. Atomic Energy Comm., Washington, DC. 1971.*
- SCHUCH, L.A.; NORDENMANN, D.J.R.; BARRETO, W.O.; CARDOSO, A.; ZAGO, A. **Natural and artificial radionuclides in soils from Paraná, Brazil.** Elsevier Sequoia S.A., Lausanne Akademia Kiadó, Budapest, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, n.177, v.1, p39-40, 1994.
- SHAND, C. A.; CHESHIRE, M. V.; SMITH, S.; VIDAL, M.; RAURET, G. Distribution of radiocaesium in organic soils. **Journal of Environmental Radioactivity**, v.23, p.285-302, 1994.
- SNYDER, J. D. & TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. *In Comm. Soil Sci. Plant Anal.* V.15, n.5, p.587-597, 1984.

- SOILEAU, J.M.; TOUCHTON, J.T.; HAJEK, B.F.; YOO, K.H. Sediment, nitrogen, and phosphorus runoff with conventional – and conservation – tillage cotton in a small watershed. *J. Soil Wat. Conserv.*, Ankeny, n.49, p.82-89, 1994.
- WALLBRINK, J. P., MURRAY, A. S.; OLLY, J. M. Relating suspended sediment to its original soil depth using fallout radionuclides. ***Soil Sci. Soc. Am. J.***, v.63, p.369-378, 1999.
- YANG, H., O.; CHANG, M. DU, K. MINAMI ; T. HATTA. Quantitative model of soil erosion rates using <sup>137</sup>Cs for uncultivated soil. ***Soil Sci.*** n.163, p.248-257. 1988.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inclusão de elementos da paisagem, como o relevo, e a comparação de áreas com uso e vegetação contrastante permitiu, além da uma avaliação da fertilidade de solos, obter uma visão geral dos principais processos responsáveis pelo empobrecimento ou enriquecimento dos solos da microbacia.

O relevo ondulado, que determina uma predominância de encostas (82%), faz com que a redistribuição de sedimentos, com matéria orgânica e nutrientes associados, seja um tema de estudo relevante. Foram obtidas evidências diretas ( $^{137}\text{Cs}$ ) e indiretas (mudanças texturais) dessa re-distribuição. Entretanto, não foi possível determinar se essa redistribuição foi um fenômeno que ocorreu anteriormente e que no presente é de alcance limitado, ou se atualmente tem ainda uma intensidade significativa. Estudos de distribuição conjunta de água e sedimentos na bacia, com a ajuda de modelos de simulação, seriam importantes para melhor caracterizar a dinâmica atual.

Ficou evidenciada também a deficiência generalizada de P em toda a área da bacia. A mudança da cobertura vegetal, passando de mata nativa para outros usos, agrava o empobrecimento dos solos por conta da diminuição acentuada dos teores de matéria orgânica (C e N). Em alguns casos, limitados, o início de atividades agrícolas melhorou os teores de K e P, por conta de adubações orgânicas, mas sem recuperar os níveis de matéria orgânica.

Pesquisas futuras na área deviam considerar a integração das informações obtidas no presente trabalho com possíveis ações nas formas de ocupação ou de manejo, sobretudo das encostas, visando reduzir a intensidade dos processos erosivos. A recuperação dos teores de matéria orgânica do solo, que se relacionam com a disponibilidade de N, junto com a elevação dos teores de P disponível, também são temas que merecem uma atenção especial.