



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG

GAMASPECTROMETRIA APLICADA AO ESTUDO DE
ÁREAS AGRÍCOLAS.

ANDRÉA CRISTINA LIMA DOS SANTOS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 223

Brasília - DF
Março - 2007



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

GAMASPECTROMETRIA APLICADA AO ESTUDO DE
ÁREAS AGRÍCOLAS.

ANDRÉA CRISTINA LIMA DOS SANTOS

Orientadores: Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento
Prof. Dr. Paulo de Tarso Luiz Menezes

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira - UFPR
Prof. Dr. José Elói Guimarães Campos - UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**GAMAESPECTROMETRIA APLICADA AO ESTUDO
DE ÁREAS AGRÍCOLAS.**

ANDRÉA CRISTINA LIMA DOS SANTOS

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade de Brasília como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

Brasília, Março de 2007.

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Andréa Cristina Lima dos
Gamaespectrometria Aplicada ao Estudo de Áreas Agrícolas/ Andréa
Cristina Lima dos Santos; orientação de Carlos Tadeu Carvalho do
Nascimento e Paulo de Tarso Luiz Menezes. – Brasília, 2007.

112 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Instituto
de Geociências, 2007.

1. Gamaespectrometria. 2. Agricultura 3. Meio Ambiente 4. Solos
5. Fertilizantes

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autor: SANTOS, Andréa Cristina Lima dos

Título: Gamaespectrometria Aplicada ao Estudo de Áreas Agrícolas.

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade de Brasília como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

APROVADA POR:

CARLOS TADEU CARVALHO DO NASCIMENTO, Doutor
(Orientador)
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
INSTITUTO DE GEOCICÊNCIAS

PAULO DE TARSO LUIZ MENEZES, Doutor
(Orientador)
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UERJ
FACULDADE DE GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA APLICADA

JOSÉ ELÓI GUIMARÃES CAMPOS, Doutor
(Examinador Interno)
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
INSTITUTO DE GEOCICÊNCIAS

FRANCISCO JOSÉ FONSECA FERREIRA, Doutor
(Examinador Externo)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

BRASÍLIA/DF, 02 de MARÇO de 2007.

DEDICATÓRIA

“De todas as certezas que possuo, esta é a mais bela: Sou metade incompleta que só a eternidade poderá completar.” Pe Fábio de Mello

As perdas foram muito próximas e duras, mas a certeza do re-encontro me fez e me faz continuar. Tereza de Ávila nos ensina que a medida do amor divino não está naquilo que Deus nos dá, mas no que Ele nos pede.

O céu é logo!!! Amor eterno:

Meu pai (Nelson do Santos)

Minha irmã (Rose Marie Lima dos Santos)

Minha avó (Anita Rosa do Santos)

Também a vocês que tanto amo e que são meus pilares de sustentação:

Minha mãe (Odila Francisca Lima dos Santos)

Meus irmãos: Ana Cláudia Lima dos Santos

Luiz Fernando Lima dos Santos

Júlio Cezar Lima dos Santos

A verdade é o melhor solo sobre o qual a beleza pode germinar. (Christopher Morley)

AGRADECIMENTOS

Talvez eu não consiga exprimir com palavras a ajuda que muitos deram em pequenos ou durante todos os momentos. Tentarei deixar aqui aflorar minha essência e assim demonstrar minha eterna gratidão a todos.

Sei que do céu contei com o auxílio do meu Pai maior. Por isso toda a minha ação de graças a Deus, a NSJC, a Nossa Senhora e aos meus amigos intercessores.

Minha maior gratidão àqueles que foram, são e serão sempre impulso e sentido de tudo: minha pequena, mas linda família Lima Santos. Obrigada por compreenderem minhas faltas necessárias. Dedico a vocês todo o meu afeto, gratidão e carinho. Vocês são minha história de vida. Minha tia Teresa e meus primos (sempre presentes), minha mãe Odila (um exemplo de vida para mim), meus irmãos (Júlio, Nando e Dinha), meus cunhados (Léo, Joci), pelo carinho, compreensão e estímulo de todos vocês. Meus sobrinhos que souberam compreender a ausência da tia nos aniversários e dia das crianças (Lucas, Camila, Luana, Gabriel, Paulinha e Junior, tia Andréa ama vocês!).

À minha grande amiga Traute Angélica, pelo apoio incondicional em todas as horas. Te amo para sempre minha irmã. Wolfgang, querido que chegou para nos alegrar.

Às Antonias: Helô, Miúda e Cida. Nossa amizade foi selada pelo céu. Obrigada minhas amigas pelo carinho, estímulo e enorme desvelo com que sempre me trataram .

Aos presentes de Deus que ganhei nesta cidade, Loiane, Meire, Luquinhas, Fred, Poliana, Juliana e Nascimento. Sou grata pela dedicação, amizade e carinho de vocês.

Ao meu grande amigo Emilson Balmanth, seu carinho e amizade me nutriram mais que todas as comidinhas gostosas que fez. Obrigada por tudo.

Ao Valmir e Bia; Edvaldo e Sirlene; Rogério e Cleide, e claro, as crianças. Obrigada pela presença sempre amiga. Jamais esquecerei o carinho de vocês.

À amizade, paciência e apoio dos meus amigos de todas as horas: Ualace, Emile, Ana, Valéria, Marcela, Odélio e Diego. Obrigada pelo cuidado, mesmo que à distância.

Aos funcionários do IG (Valdeci, Francisca, Fátima, Tião “Flamengo”, Osmar e Jonny) e sr Miguelinho, por sempre estarem disponíveis a me ajudar. Muito obrigada.

À minha amiga Viviane Vidal pelo apoio e esforço nas atividades de pesquisa à campo. Aos “meninos” do LabGis-UERJ e do Laboratório de Geotecnia-UnB, pela ajuda, esforços e todos os “galhos quebrados”.

Aqueles que me sustentaram espiritualmente: Pe Edson (você é um grande amigo. Obrigada por tudo!), Pes. João e Miguel (Obrigada por fazerem de Barra do Garças um refúgio acolhedor), Pes. Marcos, Stephan e Cosme; Kadu, Dedé e Demétrio (por tantas vezes me consolarem pelo skype). Ao Dom João Braz de Aviz, pelo cuidado de pai.

Aos padres da POM e ao meu amigo Fabrício, que me acolheram assim que cheguei na cidade. Serei sempre grata pelo carinho com que me trataram.

Ao Jamis, agradeço pelo apoio em todos os momentos da minha vida aqui em Brasília. Aos amigos do GOP, tudo ficou muito mais fácil depois que conheci vocês.

Agradeço com carinho a todos os meus colegas do IG e professores, em especial a Glorinha, Verônica, Leila, Cris Moura, Luciano Xuxa, Marcelo Ferreira, Marcelo Leão, Marcus Flávio, Diogo, Tati, Marcinha e Sandrine; Adalene, Roberta, Soares, Henrique Roig e Jandy Travassos. A vocês que de uma forma mais intensa ou não, leram, criticaram, argüíram ou simplesmente deram uns “toques”, e ajudaram na empreitada.

Ao Giovani, leitor arguto, amigo fiel.

Ao Marcos, obrigada por estar sempre na retaguarda.

Aos professores Eiyti Kato e Maria Helena, da agronomia; Newton de Souza e Izabel da Geotecnia; e ao Geraldo Lima da Campo, pelas explicações

A todos os amigos que fiz na Colina e que fizeram minha vida aqui, ficar bem mais alegre (Dumara, Albervan, Mike, Marcel, Gabriel e Rogério).

À linda família que ganhei aqui: Tios Vilmar e Lázara, Carol (obrigada pela paciente leitura e correções), Paulinha, Nádia e Marcos. Obrigada por fazerem da casa de vocês, extensão da minha.

Sou muito grata a todos da Embrapa Rio, UFRJ, UERJ e UFPR, que me confiaram suas obras ou que simplesmente me deram algumas informações.

Ao Diego, sua experiência me ajudou muito. Obrigada meu amigo sargento.

Meu profundo apreço aos mestres que colaboraram de forma inestimável para a construção desta obra: Augusto Pires, José Elói e Miguel Mane. Obrigada por estarem sempre disponíveis a me ajudar.

A UnB (IG/LGA) e a Capes que possibilitaram os meios acadêmicos e econômicos.

Por fim, mas não menos importante, deixo registrado todo meu carinho e agradecimento aos meus orientadores Carlos Tadeu e Paulo de Tarso. Obrigada pelo apoio, estímulo, atenção em ler e reler os capítulos que surgiram, pela paciência e carinho com que me conduziram do início ao final deste trabalho. Serei sempre grata.

**“O segredo é colocar-se a caminho sempre,
num fazer-se e perfazer-se constantes, num
empenho e aperfeiçoamento contínuo!”**

(Frei Nilo Agostini)

“A fé e a razão constituem como que as duas asas pelas quais o espírito humano se eleva à contemplação da verdade. E não há motivo para competição de nenhum tipo entre razão e fé: uma contém a outra, e cada uma tem seu campo de ação.” (João Paulo II, Fides et Ratio)

RESUMO

O solo como recurso natural básico disponibiliza múltiplas funções, como componente fundamental dos ecossistemas e ciclos naturais, reservatório de água, atividades humanas e suporte essencial do sistema agrícola. O uso abusivo de agroquímicos contribui na alteração do equilíbrio do ecossistema. Os radionuclídeos urânio (U), tório (Th) e potássio (K) estão, geralmente, presentes nas matérias-primas utilizadas para a fabricação de alguns fertilizantes. Conseqüentemente, estes são redistribuídos pela atividade agrícola e podem assim elevar o índice de contaminação de uma dada área.

O município de São José de Ubá, noroeste do estado do Rio de Janeiro, caracteriza-se por pequenas propriedades com agricultura familiar de baixo nível tecnológico de manejo do solo. É o terceiro maior produtor de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) no estado do Rio de Janeiro. Por ser a cultura do tomate uma das mais difíceis de ser conduzida para um resultado satisfatório, a produção é feita a elevado custo, devido à necessidade de irrigação constante, controle semanal de pragas e doenças, além do alto requerimento de nutrientes.

No presente trabalho foram processados e interpretados, dados aerogamaespectrométricos na escala regional, e dados de levantamento terrestre em uma plantação de tomate (escala de detalhe).

Os dados aéreos mostram regiões de baixos anômalos em toda porção da área investigada, o que foi relacionado a fatores intempéricos. Isto foi confirmado pela comparação entre medidas em rocha e solos no levantamento terrestre. Estes indicam uma redução de cerca de 20% para os elementos urânio e tório, e cerca de 10% para o potássio. Esse menor percentual de perda poderia estar relacionado ao suprimento deste elemento em virtude de fertilização química.

Os resultados aqui obtidos apontam para uma adequação do uso deste método geofísico à identificação e ao monitoramento de áreas agrícolas no noroeste do estado do Rio de Janeiro.

“The faith and the reason constitute two wings for which the human spirit raises up to the contemplation of the truth, and it does not have cause for competition of no type between reason and faith: one contains the other, and each one has its place of action.”
(John Paul II, *Fides et Ratio*)

ABSTRACT

The ground soil, as a basic natural resource, has multiple functions: fundamental component of ecosystems and natural cycles; water reservoir for human activities; and essential support of the agricultural system. The abusive use of toxic elements contributes to the alteration of the ecosystem's balance. The radio nuclide's Uranium (U), Thorium (Th) and Potassium (K) are present in raw materials used for the manufacture of some fertilizers. Consequently, they are redistributed by the agricultural activity and can raise the contamination index on a given area.

The city of São José de Ubá, located in the northwest of the Rio de Janeiro state, is characterized for small properties with familiar agriculture and a low-level technological soil handling. This county is the third greater tomato producer (*Lycopersicon Esculentum* Mill) in the state of Rio de Janeiro. As the culture of tomato is one of most difficult on acquiring satisfactory results, the production has an elevated cost due to the necessity of constant irrigation, weekly control of plagues and illnesses, beyond the high petition of nutrients.

This work presents the results of processing and interpretation of airborne gamma-ray spectrometric data (regional scale) and ground survey data in a tomato plantation (detail scale).

The airborne data show regions of low values anomalies in all portions of the investigated area. These radiometric lows were associated to weathering factors. The present interpretation was confirmed by comparing rock and ground soil measurements of the ground survey. There is a 20% reduction in Uranium and Thorium soil values, and about 10% for Potassium. The minor percentage of Potassium loss could be related to the supply of this element due to chemical fertilization.

The results herein obtained points to an adequacy on the use of this geophysical method to the identification and monitoring of agricultural areas in the northwest of Rio de Janeiro state.

SUMÁRIO

1	– Introdução	1
1.1	Objetivos	5
1.2	Justificativa	5
2	– Aporte Teórico	7
2.1	Introdução	7
2.2	Radioatividade	7
2.2.1	Série de decaimento	9
2.3	Geoquímica dos radionuclídeos	11
2.3.1	Urânio	12
2.3.2	Tório	12
2.3.3	Potássio	13
2.4	Geoquímica dos radionuclídeos nas rochas	13
2.5	Método Gamaespectrométrico	16
2.5.1	O Espectrômetro gama	19
2.5.2	Calibração	20
2.5.3	Aquisição de dados	20
2.6	Propriedades do solo e sua influência na gamaespectrometria	22
2.6.1	Material orgânico	23
2.6.2	Material mineral	23
2.6.3	Textura	23
2.6.4	Troca catiônica	25
2.6.5	Estrutura	25
2.7	Geoquímica dos radionuclídeos no solo	26
3	– Município São José de Ubá	27
3.1	Localização e acesso	27
3.2	Área de estudo	29
4	– Aspectos Fisiográficos	33
4.1	Geologia	33
4.2	Pedologia	37
4.2.1	Características do solo de São José de Ubá	37

4.3	Uso e cobertura do solo	41
4.4	Clima	43
4.5	Geomorfologia	44
4.6	Hidrogeologia	47
5	– Gamaespectrometria da bacia hidrográfica do rio São Domingos – BHRSD	48
5.1	Integração dos mapas radiométricos com a fisiografia	48
6	– Estudo de detalhe da plantação de tomate	57
6.1	Coleta e preparação da amostras	57
6.2	Processamento e medidas em laboratório	59
6.2.1	Análise granulométrica	59
6.2.1.1	Metodologia proposta pela Norma Brasileira NBR 7181/1984 da ABNT	60
6.2.1.2	Metodologia proposta por Malvern (1997)	62
6.2.1.3	Metodologia proposta pela Embrapa	65
6.2.1.4	Conclusões parciais para caracterização do solo	65
6.2.2	Medidas gamaespectrométricas	70
6.2.2.1	Mapas de gamaespectrometria terrestre	72
6.2.3	Difratometria de raios – X	75
6.2.3.1	Conclusões parciais da difratometria de raios-X	75
6.2.4	Análises químicas	76
6.2.4.1	Conclusões parciais das análises químicas	76
6.3	Integração da gamaespectrometria com outras variáveis do solo	80
7	– Discussão e conclusões	85
7.1	Gamaespectrometria aérea	85
7.2	Gamaespectrometria terrestre	87
8	– Referências bibliográficas	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.2.1.1	Série de Decaimento do ^{238}U	10
Fig. 2.2.1.2	Série de Decaimento do ^{232}Th	10
Fig. 2.2.1.3	Diagrama de decaimento do ^{40}K	11
Fig. 2.4.1	Gráfico com teores médios de U, Th e K em rochas ígneas	14
Fig. 2.5.1	Espectro típico de raios gama	18
Fig. 2.6.3.1	Triângulo para classificação textural	24
Fig. 3.1.1	Mapa de localização do município de São José de Ubá	28
Fig. 3.2.1	Mapa de localização da área de estudo	30
Fig. 3.2.2	Vista para plantação onde foi desenvolvido o estudo cultivo	31
Fig. 3.2.3	Cultivo desenvolvido na área estudada (tomate estaqueado)	32
Fig. 3.2.4	Detalhe do cultivo desenvolvido na área estudada	32
Fig. 4.1.1	Mapa geológico da BHRSD	35
Fig. 4.2.1.1	Mapa de solos da BHRSD	38
Fig. 4.2.1.2	Imagem do revelo da sub-bacia Barro Branco	40
Fig. 4.3.1	Mapa de uso e cobertura do solo da BHRSD	42
Fig. 4.3.1	Balanco hídrico para a BHRSD	43
Fig. 4.5.1	MDT para parte do noroeste fluminense	46
Fig. 5.1.1	Mapa do canal do K, da BHRSD	49
Fig. 5.1.2	Mapa da imagem ternária CMY, da BHRSD	52
Fig. 5.1.3 A	Superposição dos contatos litológicos com o mapa do Th	53
Fig. 5.1.3 B	Superposição dos contatos litológicos com o mapa do K	53
Fig. 5.1.3 C	Superposição dos contatos litológicos com o mapa do U	53
Fig. 5.1.3 D	Superposição dos contatos litológicos com o mapa do CT	53
Fig. 5.1.4 A	Superposição da hidrografia com o mapa do Th	54
Fig. 5.1.4 B	Superposição da hidrografia com o mapa do K	54
Fig. 5.1.4 C	Superposição da hidrografia com o mapa do U	54
Fig. 5.1.4 D	Superposição da hidrografia com o mapa do CT	54
Fig. 5.1.4 A	Superposição das unidades de solos com o mapa do Th	55
Fig. 5.1.4 B	Superposição das unidades de solos com o mapa do K	55
Fig. 5.1.4 C	Superposição das unidades de solos com o mapa do U	55
Fig. 5.1.4 D	Superposição das unidades de solos com o mapa do CT	55
Fig. 5.1.4 A	Superposição da imagem radiométrica do Th com o MDT	56

Fig. 5.1.4 B	Superposição da imagem radiométrica do K com o MDT	56
Fig. 5.1.4 C	Superposição da imagem radiométrica do U com o MDT	56
Fig. 5.1.4 D	Superposição da imagem radiométrica do CT com o MDT	56
Fig. 6.2.1	Mapa de localização dos pontos amostrados	58
Fig. 6.2.2	Mapa de localização dos pontos amostrados na área de cultivo	59
Fig. 6.2.6.1	Ensaio granulométrico através da técnica do densímetro	61
Fig. 6.2.1.1	Etapas de preparo para ensaio no granulômetro a laser	63
Fig. 6.2.1.2	Granulômetro a laser	64
Fig. 6.2.1.4.2	Caracterização textural do solo a partir das três metodologias	69
Fig. 6.2.2.1	Acondicionamento das amostras utilizadas no levantamento	69
Fig. 6.2.2.2	Aquisição dos dados gamaespectrométricos	70
Fig. 6.2.2.3	Fluxograma das etapas de processamento gamaespectrométrico	71
Fig. 6.2.2.1.1	Imagem do canal do K da área cultivada	73
Fig. 6.2.2.1.2	Imagem do canal do U da área cultivada	73
Fig. 6.2.2.1.3	Imagem do canal do Th da área cultivada	74
Fig. 6.2.2.1.4	Imagem do canal do CT da área cultivada	74
Fig. 6.2.3.1.1	Difratometria de Raios-X para os solos da área de cultivo	75
Fig. 6.2.3.1.2	Difratometria de Raios-X para os solos fora da área de cultivo	76
Fig. 6.2.4.1.1	Variação dos teores de Ca, Mg e CTC	77
Fig. 6.2.4.1.2	Variação dos teores de K, Fe e Mn	78
Fig. 6.2.4.1.3	Variação dos teores de S, B, Zn e Cu	79
Fig. 6.2.4.1.4	Variação dos teores de MO e pH	79
Fig. 6.3.1	Distribuição espacial dos teores de argila+silte na área cultivada	80
Fig. 6.3.2	Teores de umidade versus argila+silte	81
Fig. 6.3.3	Comportamento de U, Th e K dentro e fora da área de cultivo	81
Fig. 6.3.4	Imagem da análise de grupos para área cultivada	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.4.1	Concentração média de U, Th e K em rochas ígneas	14
Tabela 2.5.1	Elementos radioativos e suas energias diagnósticas	18
Tabela 2.6.3.1	Escala granulométrica proposta por Resende <i>et al.</i> (1999)	24
Tabela 6.2.1.4.1	Resultado da caracterização do solo	67
Tabela 6.3.1	Médias das contagens de U, Th e K na área de estudo	82

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo I** Mapa de solos para a sub-bacia Barro Branco
- Anexo II** Processamento de dados aerogamaespectrométricos
- Anexo III** Dados de caracterização do solo através do granulômetro a laser
- Anexo IV** Dados do levantamento de gamaespectrometria terrestre
- Anexo V** Dados das análises químicas realizadas para a área dentro e fora do cultivo

“É graça divina começar bem. Graça maior é persistir na caminhada certa. Mas graça das graças é não desistir nunca.” (Dom Helder Câmara).

1 INTRODUÇÃO

A investigação científica permite novos conhecimentos sobre o mundo e conduz a inventos que desenvolvem tecnologias e dão informações que contribuirão para um adequado uso e manejo do solo. Impulsionar a investigação e buscar novas tecnologias que desempenhem tal papel irá colaborar para a utilização mais eficiente dos recursos naturais.

A agricultura brasileira é um dos setores que mais vem contribuindo para o crescimento da economia (Teixeira, 2002). A busca de técnica e ferramentas que contribuam para um aumento na produção dos diferentes cultivos tem sido o objetivo da agricultura moderna. Esta busca tem trazido interferências no meio ambiente, cujas conseqüências são pouco conhecidas (Becegato, 2004). Com o crescimento da agricultura brasileira, aumenta a necessidade de desenvolvimento de tecnologias que visem contribuir para a sua modernização, de forma a aumentar o contínuo crescimento da produtividade.

O solo, como recurso natural básico, disponibiliza múltiplas funções, como componente fundamental dos ecossistemas e ciclos naturais, reservatório de água, atividades humanas e suporte essencial do sistema agrícola. Para que essas funções sejam mantidas, é fundamental que suas características estruturais permaneçam em equilíbrio. A preocupação com os processos de degradação do solo vem sendo crescente, à medida que cresce também a utilização de tecnologias inadequadas, falta de prática de conservação e destruição da cobertura vegetal. Um dos principais fenômenos de degradação dos solos é a contaminação, que pode ser definida como adição de compostos ao solo, que qualitativa e quantitativamente podem modificar as suas características naturais. Segundo Zalidis *et al.* (2002) as más práticas agricultáveis resultam no mau funcionamento do solo e na degradação ambiental. Sendo assim, os processos de degradação dos solos agrícolas constituem um grave problema em nível mundial, com conseqüências ambientais, econômicas e sociais significativas.

A agricultura moderna exige o uso de corretivos e fertilizantes para que solos desgastados possam ter sua produtividade restaurada. Mas para atender critérios racionais

que visem conciliar um favorável resultado econômico com a preservação dos recursos naturais do solo e do meio ambiente, associado à elevação da produtividade da cultura, faz-se necessária uma prática de manejo observando as características dos solos.

Os fertilizantes químicos ou minerais são básicos para o desenvolvimento das culturas. Corretivos e fertilizantes estão entre os mais importantes insumos para essa finalidade (Raij, 1991). Com a utilização contínua dos solos, há um empobrecimento natural dos elementos por meio de lixiviação e erosão, necessitando uma reposição através de fertilização (Silva, 1995).

Originário da América do Sul, o tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) é a hortaliça mais conhecida e de maior consumo no mercado mundial, devido ao seu múltiplo aproveitamento na alimentação humana (Pessine, 2003). De grande importância econômica e social no Brasil, é base de sustentação de diversos agricultores. De acordo com o AGRIANUAL (2006), o Brasil produziu 3.267,918 toneladas de tomates no ano de 2005, com uma área total colhida de 57.640ha, apresentando uma produtividade média de aproximadamente 56t por hectare. Entre os maiores produtores mundiais da cultura, o Brasil exportou no ano de 2005 em torno de 107 toneladas de tomate *in natura*.

A cultura do tomate é uma das mais difíceis de ser conduzida para um resultado satisfatório. A produção é feita a elevado custo, devido à necessidade de irrigação constante, controle semanal de pragas e doenças (Pessini, 2003), além do alto requerimento de nutrientes em tempo relativamente curto (Mello e Vitti, 2002).

A falta de cultivares resistentes faz com que o controle químico seja o método mais utilizado no cultivo do tomateiro (Nunes, 2001). Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas, relacionadas ao incremento na produção da cultura do tomate, com uso de fertilizante, herbicidas e pesticidas, visando à maximização da produção (Silva *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2001.; Roza *et al.*, 2001.; Silva e Magalhães, 2001.; Barreto *et al.*, 2001.; Barreto *et al.*, 2001.; Bonomo *et al.*, 2001.; Carvalho *et al.*, 1999). No entanto, poucos são os trabalhos que relacionam os insumos aplicados a essa cultura com a contaminação do meio ambiente.

Segundo a literatura técnica, grandes quantidades de adubos químicos são prejudiciais à qualidade do fruto (Silveira *et al.*, 2001), aumentando a perda na produtividade (Peixoto *et al.*, 2001). Sendo assim, observa-se a necessidade do desenvolvimento de técnicas que visem contribuir para diminuição de perdas e contínuo crescimento da produtividade.

A quantidade de nutrientes extraída pelo tomateiro é relativamente pequena, mas a eficiência de adubação é muito grande. Para os fertilizantes potássicos, por exemplo, as raízes das plantas ocupam normalmente menos que 1 a 2% do volume do solo, sendo assim não podem entrar em contato com mais de 1 a 2% do potássio disponível. A maior parte do potássio de que a planta necessita, precisa atingir a raiz para se tornar disponível (Manual de Adubação, 2000).

A utilização racional dos corretivos e de fertilizantes é de importância fundamental na tomaticultura, uma vez que estes insumos participam em média com 20 a 25% do custo de produção. Nisto consiste, pois, um grande desafio para a pesquisa: desenvolver tecnologias que atendam aos requerimentos sócio-econômicos, agrônômicos e ecológicos de forma a equilibrar o desenvolvimento da cultura com a conservação do meio ambiente.

A região noroeste fluminense é a que apresenta os menores índices de desenvolvimento no estado do Rio de Janeiro, caracterizando-se, do ponto de vista fundiário, por pequenas propriedades rurais, sendo a agricultura irrigada apontada como uma solução a longo prazo para expansão de sua economia e fixação do homem na terra. No entanto, a região vem sendo castigada por prolongadas estiagens. Uma das áreas mais castigadas pelo regime de escassez hídrica é a que compreende o território do município de São José de Ubá, cuja paisagem em 1999 era comparável às regiões mais castigadas do sertão nordestino. Na área, comumente ocupada por pequenas propriedades com agricultura familiar, de baixo nível tecnológico de manejo, são escassas as práticas de conservação apropriadas à realidade local, ocasionando acelerada degradação dos recursos naturais (PRODETAB, 2003).

Nas atuais condições, os recursos hídricos superficiais não são suficientes para garantir o suprimento de água necessário para implantação de programas de agricultura irrigada, impondo, assim, a necessidade de utilização das águas subterrâneas para o abastecimento rural e também urbano. Por outro lado a utilização de insumos agrícolas, na cultura do tomate, principal produto da agricultura familiar, pode estar comprometendo as funções do solo bem como a qualidade da água subterrânea.

O Projeto Recursos Naturais Tecnologias e Práticas que Contribuam para a Recarga dos Sistemas Hídricos em Áreas Rurais está sendo realizado na bacia hidrográfica do rio São Domingos, na região noroeste do estado do Rio de Janeiro e faz parte do Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologias Agropecuárias para o Brasil – PRODETAB/EMBRAPA. Desenvolve-se em conjunto com diversas instituições, a saber:

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas em Solos), Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/Instituto de Geociências), Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA-Campos), Observatório Nacional (ON) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). O presente estudo está sendo desenvolvido em uma pequena parcela da sub bacia do Barro Branco, no município de São José de Ubá, pertencente à bacia hidrográfica do rio São Domingos que é afluente do rio Muriaé, complexo hidrográfico do rio Paraíba do Sul.

O escopo deste trabalho, inserido no sub-projeto modelagem numérica da dinâmica hidrológica superficial e sub-superficial associado às diferentes formas de intervenção no uso do solo, consiste no levantamento gamaespectrométrico terrestre, tecnologia recentemente utilizada na agricultura de precisão. Tal técnica possibilita a análise de atributos do solo, o que permite tomadas de decisões com maior eficiência, minimizando custos, otimizando os recursos e atividades produtivas, e conseqüentemente acarretando ganho de produtividade. Para tal foram coletados dados gamaespectrométricos nos canais do tório, urânio, potássio e contagem total em área utilizada para o cultivo da cultura do tomate na sub-bacia de Barro Branco que vem sendo monitorada, pela EMBRAPA, no tocante à irrigação controlada, uso de defensivos agrícolas e adubação.

1.1 Objetivo

O objetivo geral do projeto foi avaliar a aplicabilidade do método gamaespectrométrico em área utilizada para o cultivo, o que envolveu o levantamento, processamento, interpretação e integração de dados gamaespectrométricos terrestres e aéreos, solos, geológicos e geoquímicos da região.

A quantificação e caracterização dos radioelementos na área da plantação permitiram o estabelecimento de diretrizes necessárias a otimização dos recursos naturais e econômicos. Para tal, buscou-se :

- Verificar por meio das medidas gamaespectrométricas possíveis concentrações/alterações dos radionuclídeos nos solos cultivado, não cultivado e rocha;
- Mapear radioelementos e analisar suas relações com atributos de fertilização, buscando a identificação de atributos que influenciem no potencial produtivo.

1.2 Justificativa

A agricultura de precisão, que inclui um conjunto de técnicas, visa a otimização do uso dos insumos agrícolas em função da quantificação da variabilidade espacial e temporal da produção agrícola. Essa otimização é alcançada com a distribuição da quantidade certa desses insumos, dependendo do potencial e da necessidade de cada ponto da área mensurada. Além disso, com o uso de técnicas de agricultura de precisão consegue-se reduzir o impacto ambiental provocado pelos sistemas de produção agrícola, uma vez que os insumos seriam usados em suas dosagens necessárias para determinado solo e cultura, possibilitando, assim, o gerenciamento para um melhor manejo visando a qualidade do solo, e, conseqüentemente, sua boa produtividade e proteção ambiental (Arshad e Martin, 2002; Stepniewski *et al.*, 2002).

Os isótopos radioativos têm se apresentado como ferramentas essenciais na agricultura moderna. Essa técnica tem sido utilizada na caracterização, no conhecimento da

dinâmica de fertilizantes no solo, além de contribuir para o melhor manejo dos adubos, com vistas a otimizar recursos e proteger o meio ambiente, uma vez que o manejo correto do solo é ponto fundamental em uma agricultura racional. As concentrações dos radioisótopos podem ser medidas a partir do espectrômetro, por meio de detecção e quantificação. A agricultura brasileira é um dos setores que mais vem contribuindo para o crescimento da economia. Todo este sucesso pode ser explicado com uma única palavra: tecnologia. A busca de técnicas e ferramentas que contribuam para um aumento na produtividade do plantio tem sido o objetivo da cultura moderna.

Devido ao fato de o número de trabalhos desenvolvidos serem ainda insuficientes para permitir a caracterização satisfatória de impactos causados no solo e água subterrânea, com o uso dos insumos agrícolas, fazem-se necessárias pesquisas que busquem desenvolver tecnologias à otimizar as investigações de campo, para avaliar áreas contaminadas, estudos de risco, e, exposição ao meio ambiente através destes contaminantes, bem como novas tecnologias de remediação.

Em São José de Ubá, as áreas rurais são comumente ocupadas por pequenas propriedades com agricultura familiar, de baixo nível tecnológico de manejo e escassas práticas de conservação apropriadas à realidade local, ocasionando acelerada degradação dos recursos naturais. A utilização de tecnologias de ponta e práticas de uso e manejo sustentável e conservacionista do solo permitirá um aumento na competitividade e sustentabilidade do agronegócio local com ênfase na agricultura familiar. A utilização do método geofísico de raios gama se apresenta como uma ferramenta importante para estudos de distribuição de fertilizantes em área de cultivo.

“Esquecer como escavar a terra e cuidar do solo é esquecer de nós mesmos” (Mahatma Ghandi).

2 APORTE TEÓRICO

2.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é abordar de forma sucinta os fundamentos do método gamaespectrométrico incluindo assim princípios básicos de radioatividade, estado atual da arte, aquisição dos dados, equipamentos utilizados, calibração, bem como características do solo que influenciam na gamaespectrometria.

2.2 Radioatividade

Em meados do século XVIII, embora tenha suas raízes na tecnologia mais antiga, a química, como investigação baseada em princípios científicos, começa a se organizar. Como princípio de investigação, os químicos buscaram verificar quantidades exatas das substâncias que usavam nas experiências. Tais investigações, a partir do químico John Dalton, mostraram que os materiais que nos cercam são compostos por pequenas partículas chamadas átomos que se organizam em moléculas ou estruturas mais complexas. Embora Dalton tenha admitido que os átomos eram partículas indivisíveis, experiências em meados do século XX evidenciaram que um átomo qualquer é constituído por dois tipos de partículas: um núcleo, parte central do átomo, com carga elétrica positiva e, um ou mais elétrons, partícula leve de carga negativa (Ebbing, 1998; Peruzzo e Canto, 1993; Sardella, 1997).

Os isótopos são átomos de elementos químicos que apresentam mesmo número atômico, mas diferente número de massa, e se encontram dispostos na natureza em diferentes proporções. Os isótopos que emitem radiação são chamados de radioativos ou radioisótopos. Estes se caracterizam por apresentarem núcleo atômico instável que emite energia quando se transformam num isótopo mais estável.

Descoberta em 1896 pelo físico francês Henri Becquerel a radioatividade é um fenômeno natural, emissão espontânea de partículas e/ou radiações, de núcleos instáveis. A partir de diversos estudos, Becquerel verificou que sais de urânio emitiam radiação

semelhante à dos raios X capazes de modificar placas de fotografia. Em 1898, Pierre e Marie Curie descobrem os elementos radioativos tório (Th), rádio (Ra) e polônio (Po) (Sardella, 1997).

A radiação emitida pelas substâncias radioativas, foi estudada com maior atenção por Ernest Rutherford que encontrou dois tipos de radiação a que chamou de raios alfa (α), com carga positiva, e beta (β), com carga negativa. A radiação α , constituída por 2 prótons e 2 nêutrons, possui pouco poder de penetração sendo facilmente absorvida em uns poucos centímetros de ar, ou, simplesmente uma folha de papel. Já as radiações β , elétrons emitidos pelo núcleo do átomo, são mais penetrantes que as partículas alfa e possuem elevada velocidade (Peruzzo e Canto, 1993; Sardella, 1997).

Posteriormente foi descoberto outro tipo de radiação, denominada de raios gama (γ). Esta é caracterizada por fótons de frequência elevada e conseqüentemente por um pequeno comprimento de onda. Esta radiação representa uma mudança no núcleo emissor do átomo, o que acontece a partir da desintegração radioativa (Sardella, 1997).

Segundo Minty (1997), os raios gama podem atravessar mais de 30 cm em rocha e são as únicas opções disponíveis para a detecção de radioatividade terrestre. Cada fóton de raio gama possui energia discreta e esta energia é característica do isótopo fonte.

A emissão radioativa de alfa, beta e gama que ocorre nas substâncias naturais é um processo de desintegração nuclear, ou seja, são radiações que provém do núcleo do átomo. Esses núcleos radioativos apresentam excesso de prótons e assim tendem a decair emitindo partículas e energia, produzindo núcleos estáveis.

Quando um núcleo de átomo produz uma partícula alfa e uma partícula beta, gera-se uma nova espécie de núcleo chamado nuclídeo ou núcleo filho com um número de prótons diferente. Este novo arranjo dos prótons no núcleo é chamado de decaimento. No decaimento ou desintegração espontânea, o núcleo do elemento formado geralmente fica num estado excitado e libera um fóton (radiação γ), passando para um estado de nível de energia mais baixo e mais estável (estado fundamental).

Cada elemento radioativo se transmuta a uma velocidade que lhe é característica. Para cada átomo radioativo quanto menor o tempo de transformação, mais instável é o átomo. A meia-vida dos elementos é a quantidade de tempo característica para que sua atividade radioativa seja reduzida à metade da atividade inicial (Sardella, 1997). O tempo necessário para que metade dos átomos em uma amostra de um isótopo radiativo decaia é chamado meia-vida do isótopo. Por exemplo, a meia-vida do ^{238}U é de 4,47 bilhões de

anos, sendo assim, daqui a 4,47 bilhões de anos metade da quantidade de ^{238}U na Terra terá decaído em outros elementos.

A unidade utilizada para expressar a atividade de uma substância radioativa, em desintegrações por segundo, é denominada de Curie (Ci). 1 Curie = $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações/segundo, e seus submúltiplos são: milicurie (mCi) = 10^{-3} Curie e microcurie (μCi) = 10^{-6} Curie (Netto, 2000).

2.2.1. Séries de decaimento

O processo de decaimento radioativo natural dá origem a elementos filho criando uma seqüência de formação de novos elementos, que é chamada de série de decaimento. O decaimento alfa, é caracterizado pela liberação de uma partícula alfa, que consiste de 2 prótons e 2 nêutrons. No decaimento beta, o núcleo emite elétrons (ou pósitron) ou captura um elétron orbital para adquirir equilíbrio. O decaimento gama, ocorre quando há uma mudança na configuração do núcleo. Nem o número de massa nem o número atômico do núcleo se alteram quando um raio gama é emitido. Entretanto, a massa do núcleo sofre uma pequena diminuição, sendo convertida na energia do fóton.

Os isótopos radioativos naturais conhecidos pertencem a uma das duas séries radioativas: a série do urânio e a série do tório. A seqüência da série de decaimento radioativo natural resulta no decréscimo do número de átomos radioativos originais de uma amostra no decorrer do tempo (IAEA, 2003).

Pertencem a série radioativa todos os elementos que provém de um mesmo núcleo que decaiu, por emissão de alfa, beta ou gama, para outro núcleo, que por sua vez decai para um outro e assim sucessivamente. Todos os núcleos intermediários são membros da mesma família de decaimento. A série leva o nome do núcleo do qual a mesma se originou. Existem três séries, o que quer dizer que o elemento original é naturalmente instável e decairá até chegar a um isótopo estável. As séries de decaimento são, ^{232}Th , ^{238}U e ^{235}U . O ^{235}U tem vida média mais curta e é menos abundante. Nas figuras a seguir, pode-se observar o comportamento das séries de decaimento do ^{238}U e do ^{232}Th , respectivamente (Figuras 2.2.1.1 e 2.2.1.2).

Os radioisótopos ^{238}U e ^{232}Th não emitem raios gama, sendo assim a concentração desses isótopos é baseada nos seus produtos radioativos, neste caso o ^{214}Bi e ^{208}Tl , que ao decaírem para os isótopos estáveis ^{206}Pb e ^{208}Pb , respectivamente, emitem radiação gama.

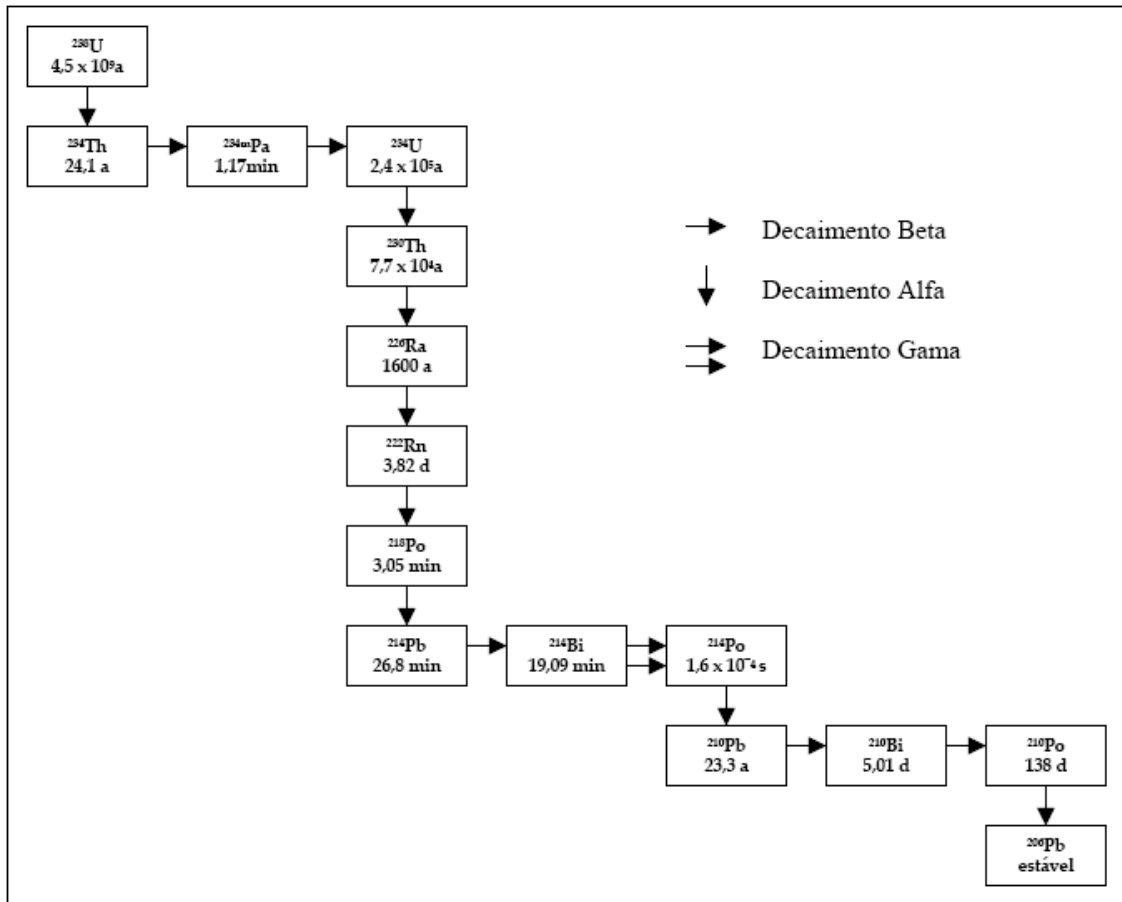


Figura 2.2.1.1 Série de Decaimento do ^{238}U . Fonte: Modificada de Matta (2001).

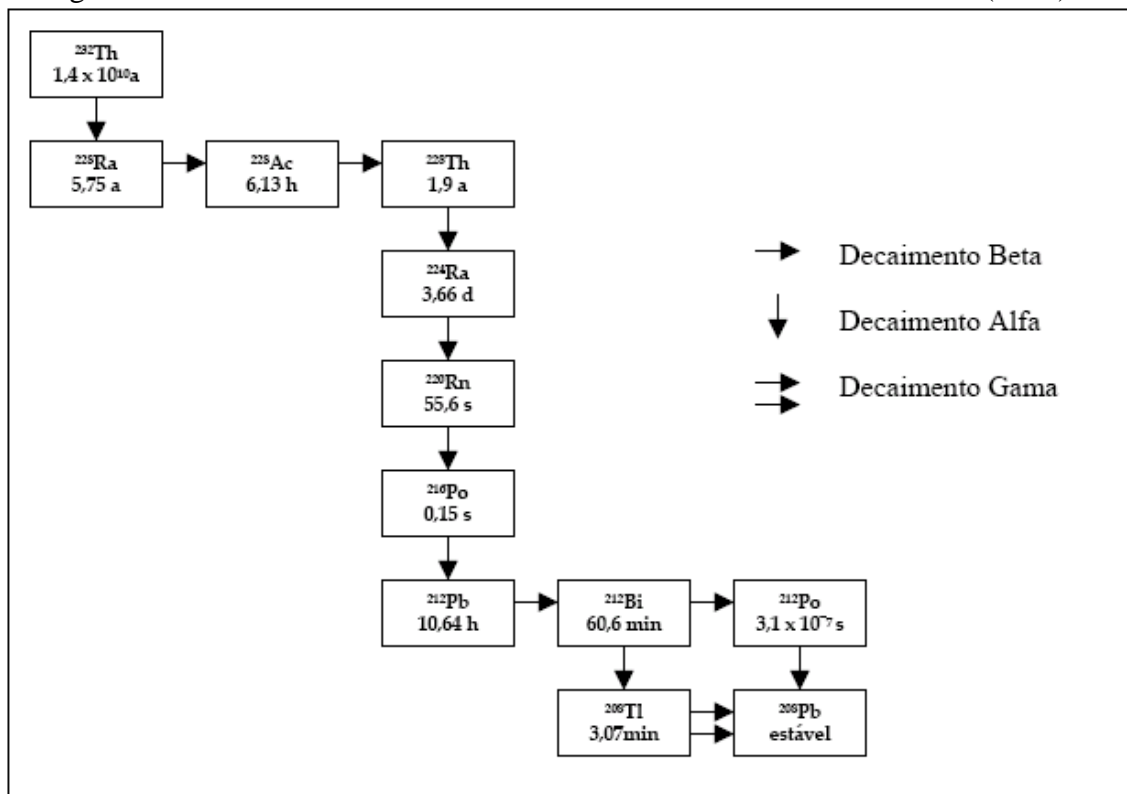


Figura 2.2.1.2 Série de Decaimento do ^{232}Th . Fonte: Modificada de Matta (2001).

Além das séries já mencionadas, existe outro elemento radiativo de origem natural. O ^{40}K , também encontrado em abundância na natureza, representa 0,012% do potássio natural. Com uma vida média de 1,3 bilhões de anos, o ^{40}K decai com 89% de probabilidade para o ^{40}Ca e, com 11% para o ^{40}Ar , ambos estáveis (Minty, 1997) (Figura 2.2.1.3).

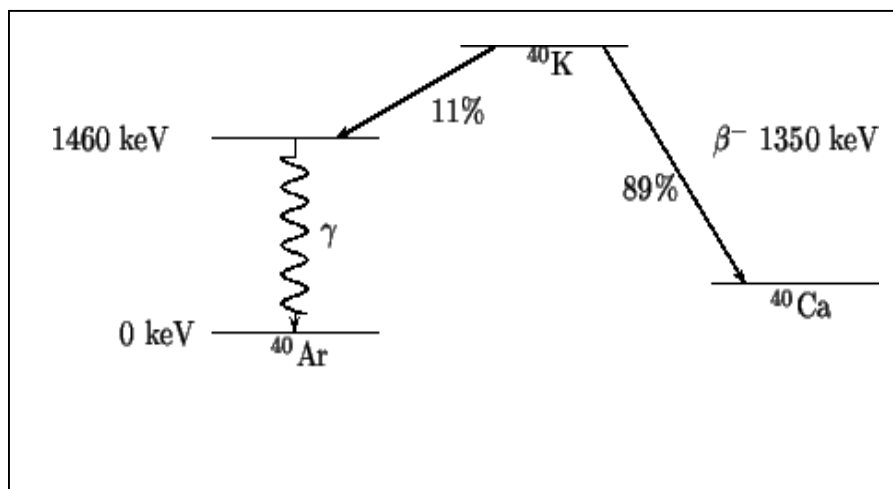


Figura 2.2.1.3. Diagrama de decaimento do ^{40}K . Fonte: Perez (2001).

Alguns radionuclídeos podem ter mais de uma modalidade de decaimento, sendo assim, um radionuclídeo poderá ser gerado por um decaimento alfa e beta; como exemplo, o elemento bismuto 212 (^{212}Bi). Esse elemento decai 66% pela emissão de radiação beta, da partícula do elemento polônio (^{212}Po) e, 34% pela emissão da partícula alfa do elemento Tl (^{208}Tl) (IAEA, 2003).

2.3 Geoquímica dos radionuclídeos

Os radionuclídeos naturais K, U e Th desempenham papel predominante no levantamento gamaespectrométrico. As concentrações dos elementos radioativos (U, Th e K) podem ser usados como indicativos de mineralogia e/ou geoquímica de um dado local.

O urânio ocorre na crosta terrestre na forma de dois isótopos primários (^{238}U e ^{235}U) na proporção de 99% do ^{238}U e apenas 0,7% de ^{235}U . O tório tem somente um isótopo primário, o ^{232}Th . O potássio aparece sob três formas de isótopos, o ^{39}K , ^{40}K e ^{42}K , numa proporção relativa de 93,8%, 0,012% e 6,9%, respectivamente, sendo que somente o ^{40}K é naturalmente radioativo (Vasconcellos *et al.*, 1994).

2.3.1 Urânio

Os compostos de urânio são muito solúveis em água (até 20.000 ppm de U) quando oxidados e insolúveis quando reduzidos. Elemento minoritário na crosta terrestre, 3ppm aproximadamente, apresenta-se predominantemente nos estados de valência ^{+4}U e ^{+6}U . O ^{+4}U se observa em minerais insolúveis, enquanto o ^{+6}U , associado com ânions, forma espécies solúveis. A mobilidade do ^{+6}U é modificada pela adsorção de óxidos hidratados de ferro, colóides e argilominerais, bem como pela redução de minerais do ^{+4}U em ambientes redutores (Dickson e Scott, 1997). Em unidades próximas da superfície, ricas em fosfatos, argilas e matéria orgânica, o U pode ser relativamente imóvel (Rigoti, 2001).

Uma vez liberado dos minerais, o U pode ser precipitado em condições redutoras formando, em circunstâncias favoráveis, depósitos de urânio ou retido em minerais de argila e óxidos de ferro. Apresenta-se em meios redutores (carbonatos), óxidos e silicatos (uraninita, uranotorita e em minerais de zircão, monazita e xenotímio). Dos minerais que têm em sua estrutura o U, somente a monazita e o zircão são mais resistentes ao intemperismo (Dickson e Scott, 1997).

2.3.2 Tório

O Th, dos três elementos, é o que apresenta menos mobilidade geoquímica (Adams e Gasparini, 1970). Outro componente minoritário (12 ppm) na crosta terrestre ocorre no estado de valência ^{+4}Th e apresenta baixa solubilidade exceto em soluções ácidas (Dickson e Scott, 1997). Pode apresentar-se em níveis maiores que 1000 ppm, nos minerais alanita, monazita, xenotímio e zircão. Valores elevados de Th podem estar associados com a presença de minerais pesados, por serem estáveis durante o intemperismo, conseqüentemente, permanecerem nestes depósitos (Dickson e Scott, 1997).

Segundo os mesmos autores, o Th liberado durante ação de intemperismo, poderá ser retido em óxidos e hidróxidos de Fe e Ti além dos argilominerais. Podendo ainda, ser transportado em óxidos de ferro e colóides argilosos, quando adsorvido. Condições de pH neutro, compostos orgânicos tais como ácidos úmicos, podem fazer aumentar a solubilidade do Th (Dickson e Scott, 1997).

2.3.3 Potássio

O K é o radionuclídeo majoritário na crosta terrestre (2,35% aproximadamente). De química simples, sua principal ocorrência em rochas está associada aos feldspatos potássicos e micas (Dickson e Scott, 1997). Segundo os mesmos autores, o comportamento do K diante do intemperismo, determina os teores do radioelemento em rochas intemperizadas e nos solos. No intemperismo, a maior parte do K, nos minerais primários, é removida. O K liberado durante a ação intempérica pode participar da formação de minerais como illita ou ser adsorvido em menores quantidades em outras argilas. Praticamente ausente em minerais máficos, o K apresenta valores baixos e muito baixos em basaltos, dunitos e peridotitos.

2.4 Geoquímica dos radionuclídeos nas rochas

O U, o Th e o K, são os radioelementos principais, que contribuem para a radioatividade natural das rochas. Segundo Dickson e Scott (1997), num dado tipo de rocha pode existir uma ampla variação de radionuclídeos.

Os teores de U, Th e K apresentam variações, em suas concentrações, em rochas ígneas. O K é o elemento mais abundante, encontrado em feldspatos alcalinos e micas. Os elementos Th e U estão associados, principalmente, a minerais moderadamente radioativos, nos interstícios de minerais ou em inclusões fluídas. Segundo Vasconcellos *et al.* (1994), a radioatividade total que emana das rochas ígneas possui em média uma contribuição de 40 a 45% do potássio, de 40 a 45% do tório e de apenas 15 a 20% do urânio.

A concentração dos radioelementos em rochas magmáticas está relacionada com a basicidade. Aumentos sistemáticos na concentração de radioelementos e sílica (SiO₂) são evidentes na série: ultrabásica - básica - intermediária – ácida. Segundo Saunders e Potts (1976), as concentrações dos teores dos radionuclídeos em rochas ultrabásicas são menores que em rochas ácidas (Tabela 2.4.1.).

Tabela 2.4.1: Concentração média do U, Th e K em rochas ígneas.

Rocha	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Ultrabásica	0,01	0,007 – 0,8	0,02 – 3,4
Ácida	3,5	4,1	21,9

Estudos de Dickson e Scott (1997) apontam para uma tendência de aumento dos teores de radionuclídeos com o incremento de SiO₂ (Figura 2.4.1). As rochas formadas nos últimos estágios de diferenciação magmática tendem a concentrar U e Th. Ainda segundo os mesmos autores, o Th geralmente apresenta um aumento muito maior que o U.

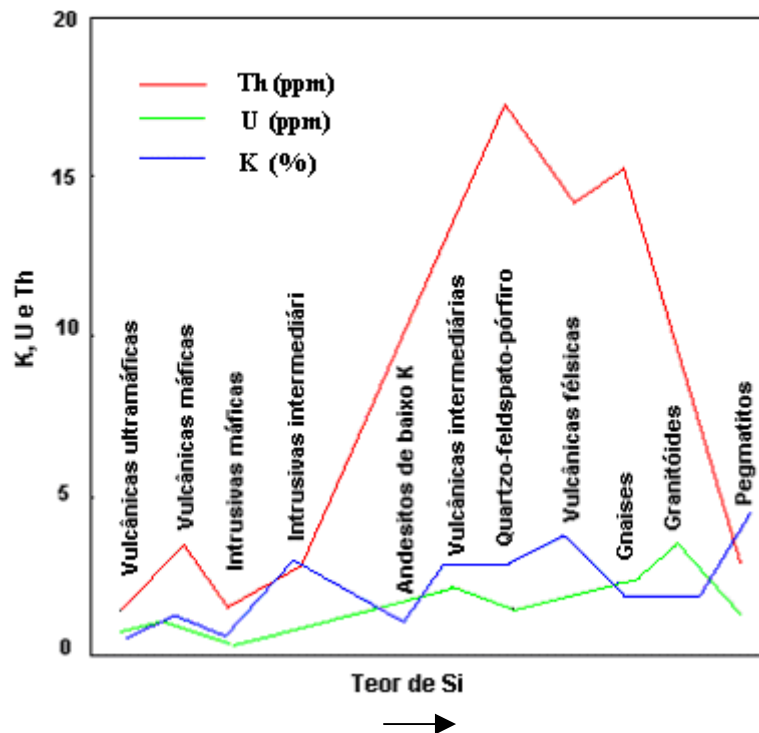


Figura 2.4.1: Gráfico com teores médios de U, Th e K em rochas ígneas com aumento de teor de Si. Modificado de Dickson e Scott (1997).

Em evaporitos, os minerais silvita e carnalita podem ser importantes fontes de K. Depósitos epitermais, assembléias minerais de alteração hidrotermal (alunita, sericita e adularia), apresentam-se como as principais espécies contendo o elemento.

U e Th em rochas ígneas e metamórficas estão tipicamente presentes em minerais acessórios (apatita, esfeno e zircão), em espécies como alanita, monazita, uranita e xenotima.

Segundo Vasconcellos *et al.* (1994), os dados referentes aos teores de U, Th e K em rochas metamórficas são poucos para se fazer inferências sobre o comportamento dos radioelementos durante o metamorfismo. Segundo os mesmos autores, o metamorfismo de baixo grau não alteraria de maneira significativa as concentrações dos três radioelementos, e a rocha apresentaria concentrações semelhantes às apresentadas por seus protolitos ígneo ou sedimentar. No entanto sob condições de alto grau de metamorfismo, as rochas apresentam uma concentração menor dos elementos U e Th devido ao movimento ascendente das fases ricas em sílica.

Dickson e Scott (1997) sugerem que o metamorfismo não afeta os teores em rochas metamórficas e que as rochas sedimentares, geralmente, têm concentrações que refletem as rochas de origem. Sendo assim, sedimentos imaturos de rochas graníticas devem conter altos teores de radionuclídeos, enquanto sedimentos mais maduros (constituídos principalmente de quartzo) devem apresentar teores radioativos mais baixos.

O U é geralmente mais enriquecido em relação ao Th e K nas rochas sedimentares. Em alguns sedimentos como os fosfatos, folhelhos e carvões os teores de U são bem mais elevados que a média. Essa tendência, geralmente, de ser mais enriquecido em rochas sedimentares, se dá devido à mobilidade do ^{+6}U , em ambiente oxidante, tais como os que ocorrem em regime de lençóis freáticos superficiais em terrenos ígneos que podem servir como região de fonte. O ^{+6}U pode depois ser depositado em ambientes redutores com materiais orgânicos e/ou minerais de sulfeto em rochas sedimentares. O K e Th que ocorrem predominantemente em feldspatos e minerais acessórios, respectivamente, são muito menos móveis em rochas ígneas e sedimentares do que o ^{+6}U .

O ciclo sedimentar destrói a coerência entre os radioelementos devido suas diferentes solubilidades. O ^{+6}U é facilmente oxidado para a forma de íons solúveis, enquanto o Th é mais bem carregado em suspensão do que em solução, sendo facilmente fixado em argilas e resistatos secundários.

O transporte desses minerais será afetado por separação gravitacional e o U e o Th estarão enriquecidos ou depletados em localidades individuais. Já o K, pode se esperar apenas um significativo enriquecimento ou depleção na direção do processo de transporte. Segundo Kogan *et al.* (1969), o K proporciona um tipo de registro radioativo da própria fonte.

2.5 Método gamaespectrométrico

Os métodos geofísicos compreendem técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície através da aquisição e interpretação de dados instrumentais. Tais metodologias permitem avaliar as condições geológicas locais, através de contrastes das propriedades físicas dos materiais de subsuperfície. No diagnóstico ambiental de áreas contaminadas, a realização de levantamentos geofísicos tem por objetivo básico a identificação da presença da contaminação subterrânea, além da definição das feições geológicas e hidrogeológicas e solos dos locais investigados. Diversos trabalhos, vêm sendo desenvolvidos com aplicação de métodos geofísicos para estudos ambientais.

Os métodos geofísicos elétricos como sondagem vertical e potencial espontâneo, se apresentam, segundo Pozdnyakova *et al.* (2001), como boas ferramentas para investigação hidrológica e de propriedades de solo. Tabbagh *et al.* (2000), utilizaram resistividade elétrica para mapear estrutura do solo. O Georadar (Ground Penetrating Radar - GPR) que é um dos métodos geofísicos eletromagnéticos, apresentou bons resultados em estudos realizados com objetivos de obter informações geológicas, geomorfológicas e pedológicas (Aranha *et al.*, 2002). Metternicht e Zinck (2003), utilizaram-se de métodos eletromagnéticos associados ao sensoriamento remoto, como ferramenta aplicada a estudos relacionados com salinidade do solo, causada por processos naturais ou humanos, que tem se constituído como significativo problema ambiental.

Descoberta em 1896, a radioatividade foi aplicada à medicina, no diagnóstico de doenças e esterilização de alimentos, na detecção de vazamentos de tubulação e no estudo do mecanismo das reações químicas e biológicas (Peruzzo e Canto, 1993). Largamente aplicada em prospecção mineral e posteriormente ao mapeamento geológico (Vasconcellos *et al.*, 1994), a radioatividade recentemente vêm sendo aplicada em questões referentes ao solo e meio ambiente (Dickson *et al.*, 1996; Dickson e Scott, 1997; Wilford *et al.*, 1997; Thiessen *et al.*, 1999).

A partir de 1950, a radioatividade começou a ser utilizada no Brasil como instrumento de prospecção mineral. E em meados da década de 1970 em diante o método gamaespectrométrico foi aplicado com intensidade como suporte a mapeamento geológico (Vasconcellos *et al.*, 1994; Cunha Filho, 2004; Carvalho, 2006).

De modo recente, também no Brasil, medidas gamaespectrométricas vêm sendo utilizadas em monitoramentos ambientais e estudos de solos.

Souza (1998), utilizou dados gamaespectrométricos para verificar relação em área agricultável com processos pedogenéticos e fertilização fosfatada. Seus estudos concluíram que U e Th tendem a se concentrar em solos oriundos do intemperismo de rochas básicas, mais desenvolvidos, argilosos e com K elevado. Segundo Bachi *et al.* (1998), a gamaespectrometria se apresenta como considerável ferramenta para determinar umidade e densidade de solo, através da técnica de atenuação da radiação gama. Vaz *et al.* (1999), utilizaram a mesma técnica para determinação de tamanho de partículas de solo. Estudando processos supergênicos atuantes sobre rochas graníticas, Rebello (2000) observou que o elemento Th permanece fixo no solo, durante intemperismo e pedogênese. Nascimento (2003), em estudos de solo, por meio de gamaespectrometria, sob cerrado nativo, concluiu que solos de textura argilosa, mais porosos e com mais matéria orgânica são mais radioativos que solos arenosos. Segundo o autor, alguns dos solos de textura arenosa apresentaram elevada radiação de K, que estaria associada à presença de argilominerais potássicos (ilita e vermiculita). Elias (2004), desenvolveu estudo teórico, mostrando a vantagem de se utilizar a radiação gama para análise granulométrica e determinação de coeficiente de atenuação da radiação no solo. Becegato (2004), utilizou o método gamaespectrométrico, como ferramenta, para entender a distribuição de fertilizantes fosfatados, aplicados à cultura da soja, cana-de-açúcar e trigo, no noroeste do Paraná. Segundo o autor, a baixa concentração de radionuclídeos nas camadas amostradas se deve ao baixo teor de matéria orgânica, que não propicia a elevação da troca catiônica e a textura arenosa do solo, possibilitando assim a lixiviação dos radionuclídeos para camadas mais profundas do solo, ou transportes por processos erosivos.

Os elementos U, K e Th são os únicos elementos naturais que ocorrem em abundância na natureza, com radioisótopos que produzem raios gama com energia e intensidade suficientes para serem medidos em levantamentos gamaespectrométricos (Minty, 1997). Na gamaespectrometria é possível a determinação das concentrações e dos valores relativos dos radioisótopos K, U e Th em rochas e materiais intemperizados por

meio de detecção e quantificação da radiação gama emitida pelo decaimento radioativo natural destes elementos (Wilford *et al.*, 1997). O método gamaespectrométrico funciona como uma geoquímica aérea, uma vez que mede valores relativos dos radioelementos. A energia diagnóstica da radiação do ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th , é de 1,46 MeV, 1,76 MeV e, 2,62 MeV respectivamente (Tabela 2.5.1).

Tabela 2.5.1. Elementos radioativos e suas respectivas energias diagnósticas. Fonte: Modificada de Minty (1997).

Elemento Analisado	Concentração na natureza	Isótopo Usado	Energia de raios Gama - MeV
Potássio	2 – 2,5 %	^{40}K	1.46
Urânio	2 – 3 ppm	^{214}Bi	1.76
Tório	8 – 12 ppm	^{208}Tl	2.62

Como já descrito, os radionuclídeos individuais emitem raios gama de energias específicas que são características de cada elemento. Estes raios podem ser medidos em duas modalidades: as medidas de contagem total e individual. Nas medidas de contagem total, obtém-se o valor do campo de radiação, o que permite detectar a presença de fontes anômalas. Já os espectros, medem a intensidade e energia da radiação, permitindo assim que a fonte de radiação seja diagnosticada.

Os espectrômetros de raios gama são utilizados para detectar e discriminar a intensidade das energias das radiações, permitindo a visualização de um espectro de energia de decaimento dos elementos químicos do K e das séries do U e do Th, tornando possível, assim, identificar os radioelementos presentes na área investigada. Na Figura 2.5.1, observa-se um espectro típico de raios gama, com os picos diagnósticos do K, U e Th.

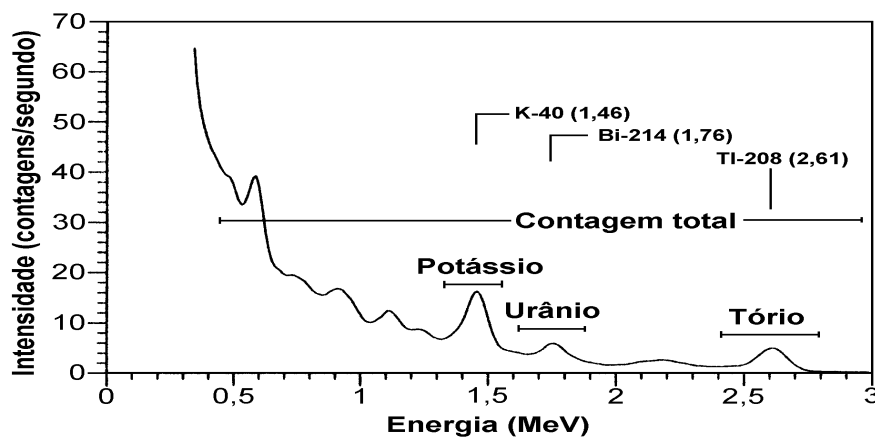


Figura 2.5.1. Espectro típico de raios gama. Fonte: Modificada de Minty *et al.* (1997).

Na Figura 2.5.1, observa-se um espectro apresentando a medida total da radiação, e ainda os picos diagnósticos dos elementos K, U e Th. Os demais picos representam elementos medindo a mesma energia na série de decaimento, o que acaba impossibilitando a utilização destes picos, uma vez que não há certeza do elemento que aquele determinado pico está representando.

2.5.1 O espectrômetro gama

O gamaespectrômetro detecta as radiações gama e transforma as energias eletromagnéticas, ora detectadas, em pulsos elétricos de amplitudes proporcionais às energias incidentes. As energias transportadas pelos fótons gama originados dos elementos radioativos, são convertidos em pulsos elétricos pelo conjunto cristal sensor – unidade fotomultiplicadora, e são discriminados de acordo com a janela de interesse (IAEA, 2003).

Um conjunto de canais de energia, correspondendo a fotopicos de raios gama, é escolhido para melhor discriminação dos radioelementos de interesse. As energias dos raios gama emissores do U, do K e do Th atingem 2625 KeV e acima de 3 MeV são denominados de raios cósmicos (Gomes, 2003).

Os cristais de cintiladores de iodeto de sódio ativado por tálio (NaI(Tl)) são os detectores mais comuns. As principais respostas do detector são: eficiência do detector, resolução de energia e tempo morto.

Medidas de superfície são feitas com o detector posicionado diretamente no solo ou situado a uma altura não muito elevada. Camadas de solos com mais de 25 cm contribuem com 15% da intensidade total detectada. Não obstante, fontes radioativas situadas a profundidades maiores podem ser detectadas na superfície, pois uma atividade maior pode compensar a absorção da radiação pela matéria localizada acima da fonte, e uma fração dessa radiação pode chegar até a superfície e ser detectada (Gomes, 2003).

Medidas aéreas são feitas em aeronaves ou helicópteros. Os sistemas gama aéreo, modernos, possuem detectores com pelo menos dois sensores de 16,4 litros de NaI(Tl). Os espectrômetros registram, no mínimo, 256 canais de informações na faixa de energias de 0 a 3,0 MeV. Uma janela adicional registra toda energia acima de 3,0 MeV. É usual a utilização de um sistema detector para monitoramento do radônio atmosférico e

equipamentos auxiliares como sistema de navegação GPS, sistema de vídeo, radar, altímetro, barômetro e termômetro (Horsfall, 1997).

A partir de um processo de calibração, é possível que a quantidade da radiação com as energias 1,46 MeV, 1,76 MeV e, 2,62 MeV medidas em cintilações por segundos (cps) sejam expressas em porcentagem ou ppm, como já citado. As determinações das concentrações dos elementos-pai das series do U e do Th são indiretas, e são expressas em ppm (parte por milhão) de estimativas de U e Th, e em % para o K, pois sua ocorrência é maior na natureza (IAEA, 2003).

2.5.2 Calibração

A palavra calibração é normalmente empregada para se referir a um ajuste do equipamento, de modo que esse obtenha dados com maior precisão. A calibração do espectrômetro gama é uma estimativa das constantes que relacionam taxa instrumental com concentração de radionuclídeos. Os procedimentos incluem: estimativa de *background*, constante compton e constantes de sensibilidade (IAEA, 2003). Segundo Gomes (2003), esta calibração pode ser feita em duas etapas. A primeira consiste no ajustamento das energias dos fótons já conhecidas, através de padrões. Dessa forma os fótons de interesse podem ser detectados em suas respectivas janelas. A segunda consiste em estabelecer uma proporcionalidade entre as medidas corrigidas nas janelas dos elementos U, K e Th, obtidas no campo, realizadas em blocos de concreto, de concentrações conhecidas dos mesmos elementos. Após serem feitas as leituras sobre o bloco, as mesmas são subtraídas da radiação de fundo. O valor do *background* total (eletrônico e atmosférico) é determinado normalmente sobre um lâmina d'água, uma vez que esta atenua a emissão gama.

2.5.3 Aquisição de dados

Como explicado anteriormente, para estimar o ^{238}U utiliza-se o elemento-filho bismuto (^{214}Bi) e para o tório (^{232}Th) utiliza-se o elemento-filho tálio 208 (^{208}Tl). Essa estimativa pode não ser correta em relação ao decaimento. Para que o valor de concentração de um elemento-pai, determinado através da emissão gama de um de seus

descendentes tenha significado, é importante que os membros da família radioativa envolvida estejam em equilíbrio radioativo. A condição de equilíbrio radioativo é obtida quando o número de átomos-filho que estão se desintegrando por segundo é igual ao número de átomos que estão sendo criados por desintegração do isótopo-pai. O desequilíbrio ocorre quando um ou mais produtos de decaimento em uma série é removido completamente do sistema. Na série do tório, esse desequilíbrio ocorre raramente e não há problemas com o potássio. Contudo, é comum no urânio acontecer o desequilíbrio. Isso se dá devido ao fato de que o radônio 222 (^{222}Rn), pode ser removido da corrente de decaimento.

O ^{222}Rn é um gás, sendo assim pode escapar do solo ou das rochas e, como consequência desestabilizar toda a série de decaimento, uma vez que o ^{214}Bi , principal emissor de radiação da série do urânio se forma após o ^{222}Rn . Um outro problema relacionado ao ^{222}Rn , consiste no fato de que com a precipitação atmosférica, pode haver uma elevação na radiação diagnóstica do U, relacionada ao arraste do ^{222}Rn e seus respectivos produtos para o solo (Minty, 1997). Dependendo da meia vida do radioisótopo envolvido, pode levar dias, semanas e até anos para que seja restabelecido o equilíbrio na série de decaimento (IAEA, 2003).

A precisão na detecção dos radioelementos vai depender das quantidades medidas pela gamaespectrometria e das condições de equilíbrio, portanto reporta-se para o urânio e tório, urânio equivalente (eU) e tório equivalente (eTh), respectivamente (Minty, 1997).

Os raios gama interagem com os átomos da matéria por três processos principais que são: o efeito fotoelétrico, a produção de par e o espalhamento Compton (IAEA, 2003). O efeito fotoelétrico consiste no processo predominante de absorção total da radiação gama pelo elétron da matéria na forma de energia. A produção de par ocorre quando um fóton completamente absorvido resulta na criação de um par de elétrons.

O espalhamento Compton é o processo predominante na faixa de energia utilizada nos levantamentos gamaespectrométricos. É usado para corrigir cada uma das taxas de contagem do U, do Th e do K, para os raios gama que não são originados por aqueles radioelementos particulares ou por sua série de decaimento. Corresponde a uma colisão de um fóton incidente com um elétron. Com a colisão o fóton perde parte de sua energia para o elétron, produzindo assim um fóton com menor energia durante sua interação com a Terra ou com o detector, ou seja, é um efeito de redução de energia. Desse modo, um fóton originário do ^{208}Tl (2,62 MeV) pode originar fótons com energia semelhante a do ^{214}Bi

(1,76 MeV), ou a do ^{40}K (1,46 MeV). Sendo assim, para determinar a abundância de ^{238}U ou de ^{40}K deve ser feita uma correção referente à abundância de ^{232}Th . Da mesma forma o ^{40}K pode estar recebendo contribuição do ^{214}Bi , de modo que a abundância de ^{40}K deve ser corrigida também em função do ^{238}U (IAEA, 2003).

A radiação que não se origina da superfície da Terra é geralmente considerada como radiação de fundo e deve ser removida das leituras observadas. Existem quatro possíveis fontes de radiação de fundo. O radônio atmosférico, já citado anteriormente, é o principal responsável por esta radiação. A radiação cósmica, presente a partir da energia emitida pelo sol e pelas estrelas. Também a radiação do gamaespectrômetro deve ser considerada e, por fim, os produtos originados das explosões e acidentes nucleares (Minty, 1997).

A conversão da radiação gama em sinais elétricos é afetada por diversos fatores próprios de cada equipamento. Entre eles, tem-se a eficiência do detector, que está relacionada a interação do detector com a radiação. Outro fator consiste na capacidade do detector distinguir raios gama com pequena diferença de energia. Por fim, tem-se o tempo morto, que consiste no tempo finito, necessário para que o equipamento possa processar as emissões individuais. O tempo morto deve ser o menor possível. E, durante esse tempo, todos os demais pulsos são rejeitados (IAEA, 2003). Para que haja uma maior precisão dos dados coletados, é necessário que todos esses pontos sejam conhecidos e corrigidos a partir do processo de calibração do equipamento.

Para a interpretação dos dados gamaespectrométricos, faz-se necessário a compreensão de princípios físicos básicos e um controle eficiente na aquisição dos dados, nos sistemas de calibração, no processamento e nos procedimentos de apresentação dos resultados, bem como no comportamento dos radionuclídeos, no meio ambiente, relacionada à condição de desequilíbrio radioativo existente na série de decaimento do urânio e na dinâmica geoquímica dos radionuclídeos K, U e Th na paisagem.

2.6 Propriedades do solo e sua influência na gamaespectrometria

O solo é um conjunto de indivíduos naturais constituídos de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, resultantes da decomposição da rocha matriz pelos fatores físicos e químicos, e de matéria orgânica produzida pela decomposição dos resíduos

vegetais e animais (Embrapa, 1999). Como recurso natural básico, o solo possui múltiplas funções, como componente fundamental dos ecossistemas e ciclos naturais, reservatório de água, atividades humanas e suporte essencial do sistema agrícola.

Constituído por minerais e poros ocupados por água e ar e material orgânico, os solos são caracterizados por suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Dentre as propriedades físicas, a textura é a característica mais estável (Lange, 2002).

2.6.1 Material orgânico

A matéria orgânica (MO) do solo é definida como uma complexa e variada mistura de substâncias orgânicas resultantes da decomposição dos organismos (Resende *et al.*, 1999; Lepsch, 2002). Embora constitua somente uma pequena fração da massa total dos solos, este componente influencia as propriedades físicas e químicas numa proporção maior do que a pequena quantidade em que está presente. Isto porque, a MO provê a maior parte da capacidade de troca catiônica e capacidade de retenção de água na superfície dos solos. (Brady e Weil, 1996).

A manutenção da MO no solo é essencial do ponto de vista físico-químico, dado que contribui para a manutenção da estrutura, melhora a infiltração e retenção da água, aumenta a capacidade de troca catiônica, contribuindo assim, para o acréscimo da produtividade. Segundo Becegato (2004), numa dada área, que apresenta um solo de textura argilosa e alta concentração de matéria orgânica, tem-se uma alta concentração de troca catiônica, o que causaria uma retenção de radionuclídeos.

2.6.2 Material mineral

A composição mineralógica está relacionada aos minerais que compuseram a rocha e persistiram ao intemperismo, mantendo-se presentes no solo ora formado (Teixeira *et al.*, 2000; Becegato, 2004).

2.6.3 Textura

Grande parte do comportamento dos solos é determinado pela textura. A composição textural, está relacionada à fração granulométrica do solo, ou seja ao tamanho das partículas. A textura refere-se à parte inorgânica do solo, constituída de partículas de diferentes tamanhos (Tabela 2.6.3.1) (Resende *et al.*, 1999).

Tabela 2.6.3.1 Escala granulométrica proposta por Resende *et al.* (1999)

Classe Textural	Limite de Diâmetro (mm)
areia grossa	2,0 até 0,2
areia fina	0,2 até 0,05
silte	0,05 até 0,002
argila	< 0,002

O tamanho das partículas tem importante influência nas propriedades físicas e químicas do solo e sua proporção irá determinar características significativas, tais como: tamanho e quantidade de poros, permeabilidade e resistência à erosão (Lepsch, 2002).

A análise textural é a determinação das quantidades das diferentes partículas unitárias de tamanho inferior a 2,0mm. Determinada a partir da fração do solo denominada “terra fina seca ao ar”, que corresponde a fração que atravessa a peneira de abertura igual a 2,0mm, depois da amostra seca e destorroada. A análise resulta em curvas granulométricas ou diagramas triangulares (Figura 2.6.3.1), onde as diferenças entre as classes texturais são delimitadas segundo as proporções de areia, silte e argila (Kiehl, 1979).

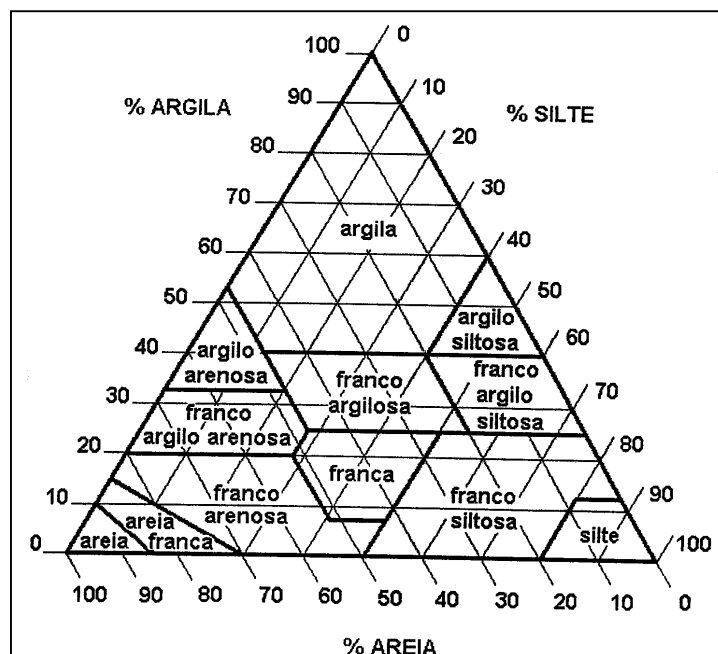


Figura 2.6.3.1 Triângulo para classificação textural. Modificado de Kiehl (1979).

Segundo Kogan *et al.* (1969), as argilas têm sua radioatividade natural oriunda basicamente do potássio, de uma quantidade razoável de tório e de uma quantidade bastante variável de urânio. Sendo assim, quanto maior for a fração de argila no solo maior será a concentração dos radioelementos.

2.6.4 Troca catiônica

Na maioria dos solos, predominam cargas elétricas negativas. Essas cargas, que estão na superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica, são capazes de adsorver íons com cargas opostas (cátions). Estes cátions podem ser substituídos uns pelos outros. A isto se chama capacidade de troca catiônica (CTC) (Resende *et al.*, 1999).

2.6.5 Estrutura

A estrutura do solo consiste no tamanho, forma e agregação das partículas primárias (argila, silte e areia) e secundárias (agregados). As primárias são isoladas e as secundárias são um conjunto de primárias dentro de um agregado mantido por agentes cimentantes. O ferro, a sílica e a matéria orgânica são os principais agentes cimentantes. Esta característica do solo exerce influência na aeração e na capacidade de retenção e, conseqüentemente na fertilidade do solo. A estrutura do solo constitui um importante fator, uma vez que solos com alta infiltração são menos suscetíveis à erosão (Vieira, 1988; Resende *et al.*, 1999).

Na formação das estruturas dos solos são envolvidos processos biológicos, químicos e físicos, sendo que o metabolismo de microrganismos é um dos principais fatores genéticos.

As estruturas são classificadas segundo sua forma, tamanho e estabilidade geral, em: grumosa, granular, laminar, colunar e prismática.

A presença de estruturação em solos pode mudar de forma significativa o comportamento da cobertura em relação a diversos atributos, como fertilidade, permeabilidade, funcionamento geotécnico e outros. Por exemplo, um solo de textura muito argilosa, que em princípio deveria apresentar condutividade hidráulica muito baixa, pode se comportar como um solo arenoso (com alta permeabilidade) desde que apresente estruturação granular grossa.

2.7 Geoquímica dos radionuclídeos no solo

A radioatividade dos solos está diretamente relacionada ao material originário do mesmo, bem como de processos que atuaram na sua formação. O levantamento gamaespectrométrico reflete a variação geoquímica do K, do U e do Th nos 30 cm superiores da superfície da terra. Esta fina camada é sujeita aos efeitos do intemperismo, que conduz à perda de K em todos os tipos de rochas e, para as rochas félsicas, perdas também, de U e Th. A extensão da perda dependerá de muitos fatores, mas os valores estão entre 20 – 30% para os três radioelementos (Wilford *et al.*, 1997). Segundo os mesmos autores, durante o intemperismo químico e físico, os radioelementos são liberados da rocha, redistribuídos e incorporados ao regolito/solo (intemperizado *in situ* ou proveniente de transporte). Em muitos casos, as características dos radioelementos de regolitos podem diferir significativamente da fonte, devido a reorganização textural e geoquímica que ocorre no perfil intemperizado. As rochas intermediárias e básicas mostram pouca mudança dos radioelementos durante o intemperismo inicial. No entanto, a pedogênese pode resultar em solos com duas ou três vezes mais U e Th que a rocha mãe.

Wilford *et al.* (1997), observam ainda que nem todos os valores baixos de K e elevados de U e Th na resposta gama estão associados com substratos altamente intemperizados. A interpretação do grau de intemperismo e as respostas gama requerem a compreensão das características dos radioelementos na rocha mãe, bem como do material intemperizado. Assim, deve-se tomar muita precaução quando estas relações são utilizadas no processo de interpretação de levantamentos aerogamaespectrométricos, dependendo da natureza do material de origem e da história do intemperismo.

“É nosso dever proteger o maior patrimônio nacional, pois a nação que destrói o seu solo, destrói a si mesma” (Theodoro Roosevelt).

3 MUNICÍPIO SÃO JOSÉ DE UBÁ

3.1 Localização e acesso

O município de São José de Ubá situa-se a 286 km da cidade do Rio de Janeiro, na porção Noroeste do estado (Figura 3.1.1). Localiza-se nas cartas topográficas do IBGE, São José do Paraíso e Miracema, folhas SF-24-G-I-3 e SF-23-X-D-III-4, respectivamente, ambas em escala 1:50.000.

Com uma área aproximada de 250 km² o município localiza-se nas coordenadas geográficas 21° 21' 27" Sul e 41° 56' 33" Oeste e apresenta como limites os municípios de Itaperuna a norte, Santo Antônio de Pádua a sul, e Miracema a oeste. O acesso se faz pela RJ 186 que liga a capital a Santo Antônio de Pádua e Itaperuna ou pela RJ 198, atingindo Itaperuna e ao sul Cambuci.

Fundado em 28 de dezembro de 1995, São José de Ubá é o município mais recente do noroeste do estado, emancipado de Cambuci pela Lei 2.495. Com uma população de aproximadamente 6.413 habitantes, de acordo com o censo 2000, apresenta densidade demográfica de aproximadamente 24 habitantes por km² (IBGE, 2000). Constitui uma área predominantemente agrícola que vêm sofrendo com um intenso êxodo rural. Sua economia gira em torno da agropecuária e da atividade hortícola, sendo o cultivo do tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) a principal atividade econômica local.

A horticultura do tomate foi introduzida em 1956, inserindo-se no território da grande fazenda de gado de forma pontual; inicialmente era inexpressiva e destinava-se ao mercado da cidade de Campos (RJ). A partir de 1969, porém, devido ao seu crescimento, a produção passou a ser também absorvida pelo mercado da capital do estado. A cultura do tomateiro passa a ter uma produção expressiva, na região, na década de 70, onde produziu cerca de 4.341 toneladas, que representaram 11.3% da produção total do estado (César, 2001). Atualmente São José de Ubá é o terceiro maior produtor de tomate do estado do Rio de Janeiro.

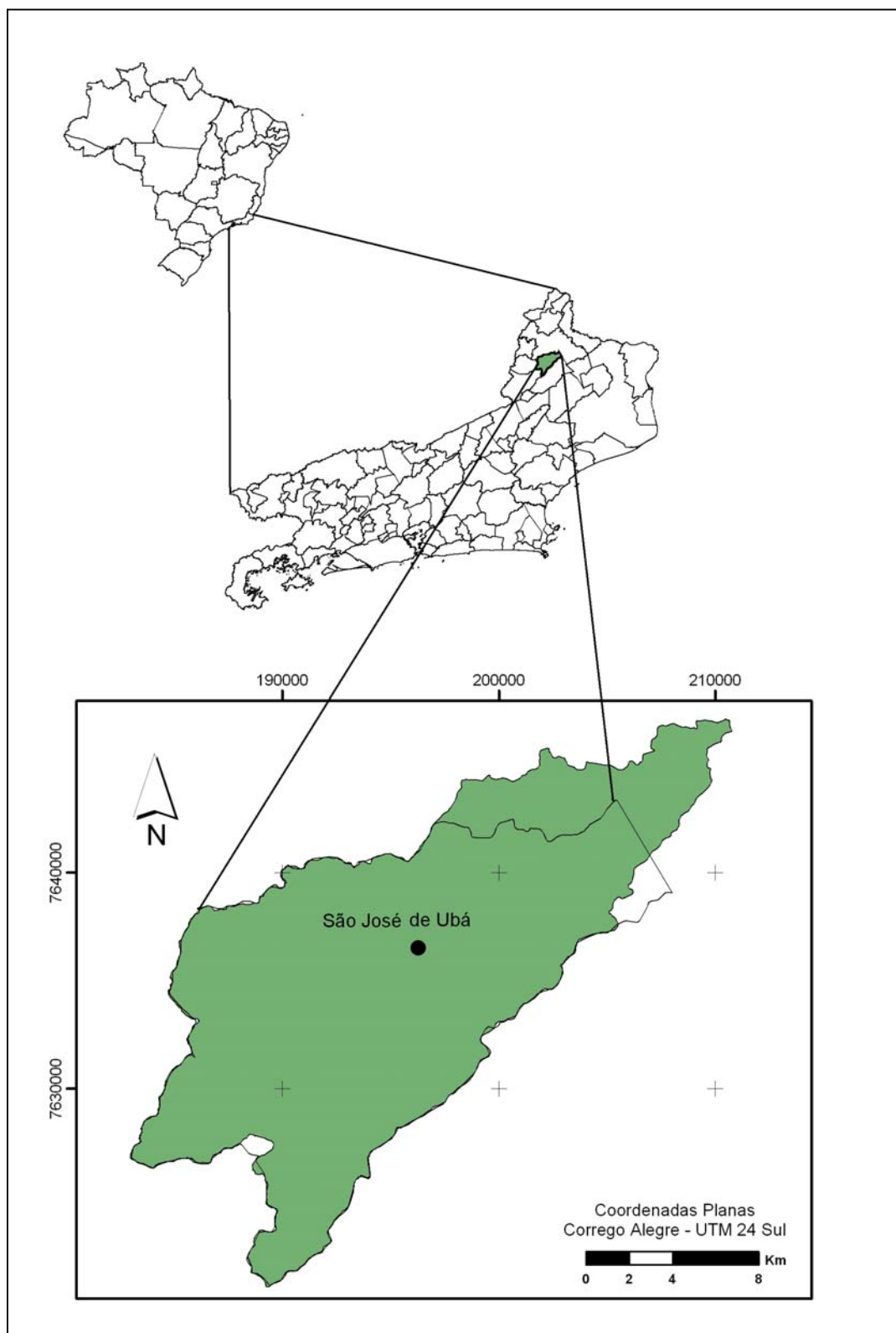


Figura 3.1.1: Mapa de localização do município São José de Ubá, com destaque para a bacia hidrográfica do rio São Domingos.

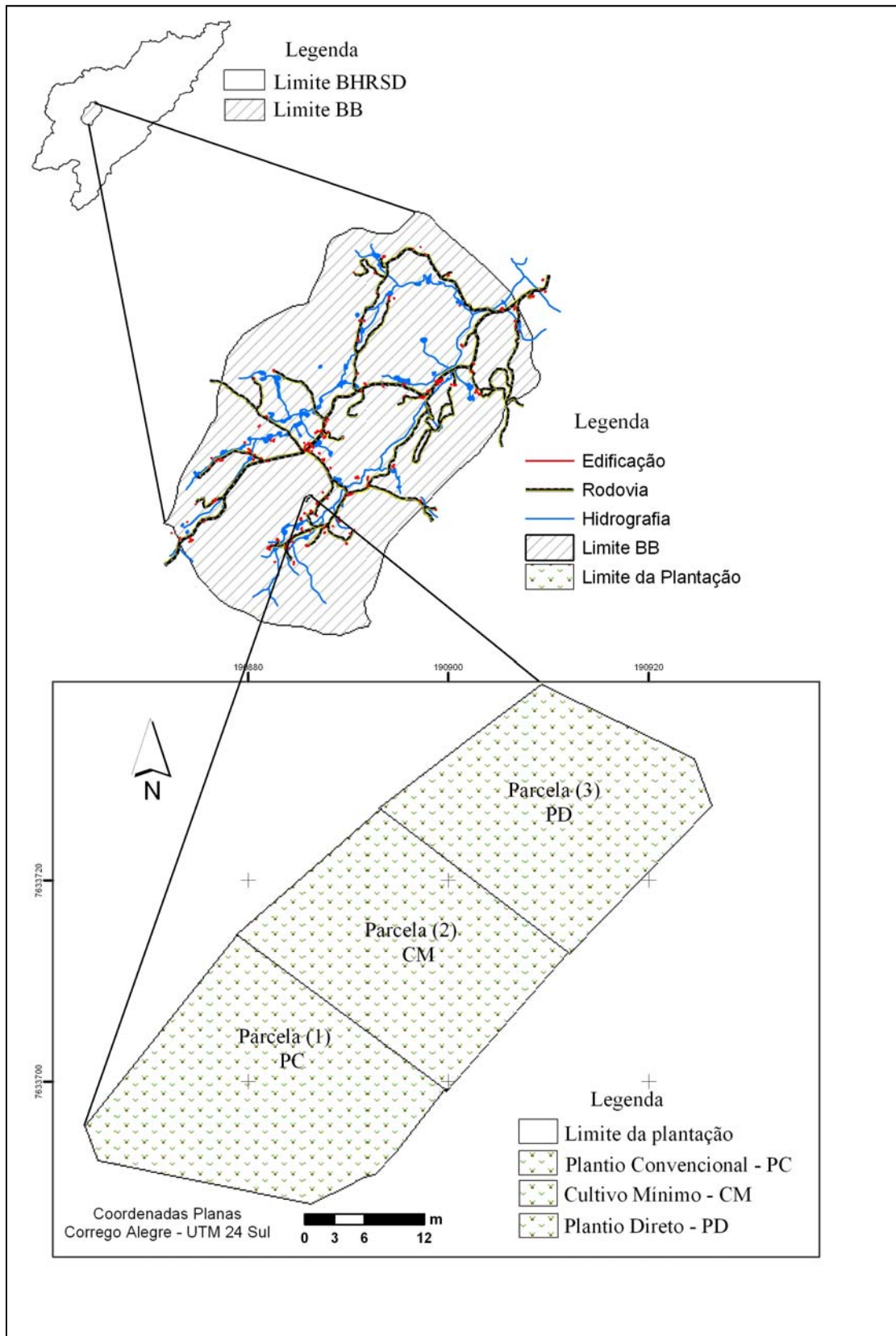
3.2 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Domingos, afluente do rio Muriaé pertencente ao complexo rio Paraíba do Sul, possui uma área aproximada de 280km². Cerca de 90% da bacia de drenagem do rio São Domingos localiza-se no município de São José de Ubá e os outros 10% no município de Itaperuna.

A área geográfica de interesse corresponde a uma pequena parcela da bacia hidrográfica do rio São Domingos, que engloba uma comunidade agrícola denominada Barro Branco (BB). A sub-bacia BB apresenta elevado índice de antropização e degradação, sob intensa ocupação em pequenas propriedades e com centro rural-urbano móxico. Localizada nas coordenadas geográficas 21° 22' 19" Sul e 41° 58' 49" Oeste, a área de estudo perfaz aproximadamente 30x60m (Figura 3.2.1), a qual é monitorada pela EMBRAPA, e onde existe um pequeno cultivo de tomate estaqueado do tipo “*Débora*” (Figuras 3.2.2 , 3.2.3 e 3.2.4).

A área do cultivo foi dividida em três parcelas de aproximadamente 30 metros de largura por 60 metros de comprimento para cada parcela. Nessas foram utilizados diferentes tipos de plantio. Na primeira parcela (1) utilizou-se o plantio convencional (PC), que consiste no máximo revolvimento do solo através de aração seguido por duas gradagens. Na segunda parcela (2) o solo foi preparado com a prática do cultivo mínimo (CM), que tem como objetivo minimizar o uso de máquinas agrícolas, com a finalidade de menor revolvimento e compactação. Nessa prática o solo foi revolvido somente com um arado. Na terceira parcela (3) utilizou-se o plantio direto (PD), que consiste na semeadura direta sem preparo do solo, em que há leve abertura do sulco para a disposição das sementes diretamente sobre a resteva de outra cultura com finalidade de manter o solo coberto. Nas parcelas 1 e 2 o sistema de rega utilizado foi por aspersão. Já na parcela 3 utilizou-se o sistema de gotejamento nos sulcos, com aproximadamente 2 a 3 litros/h.

Na área em estudo o tomate é cultivado nos meses de março a outubro, nos demais meses há uma rotatividade da cultura sendo plantados milho, arroz e feijão. Entre os insumos agrícolas utilizados na plantação estão: os fertilizantes (mineral misto 0(N) 70(P) 30(K), supersimples e de cova 4 (N) 14(P) 8(K)), pesticidas e herbicidas (Fastac 100, Manzarte, Cartap, Apolo, Piredam, Rimectim, Secobim e Diagramecina).



Figuras 3.2.1: Mapa de localização da área de estudo.

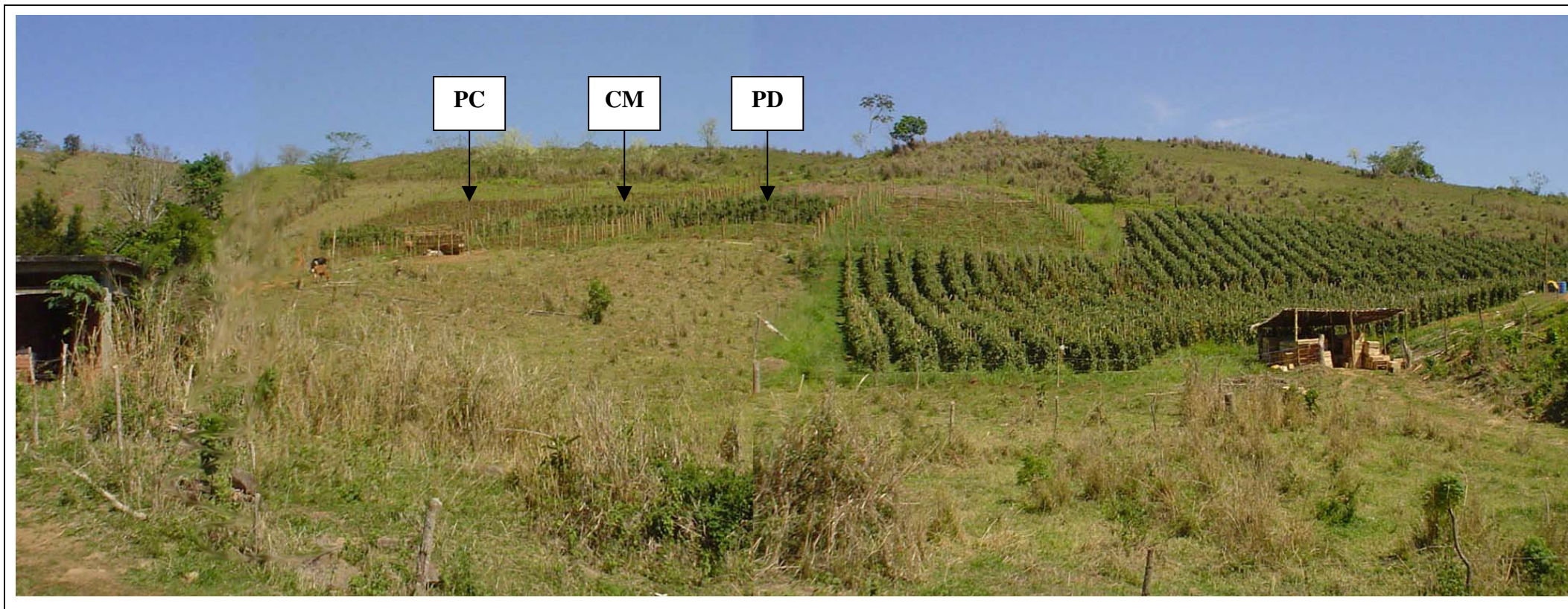


Figura 3.2.2: Vista da plantação onde foi desenvolvido o estudo.



Figura 3.2.3: Cultivo desenvolvido na área estudada (tomate estaqueado).



Figura 3.2.4: Detalhe do cultivo desenvolvido na área estudada.

“Os solos variam na qualidade e a qualidade dos solos varia em resposta ao seu uso e gerência” (Zalidis).

4 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

4.1 Geologia

O arcabouço estrutural da região Sudeste do Brasil é composto por um núcleo Arqueano estável chamado Cráton do São Francisco (Almeida *et al.*, 1977), rodeado por orógenos Neoproterozóicos instalados durante a Orogênese Brasileira/Pan-Africana designados de Orógeno Brasília a oeste, Orógeno Ribeira a sul-sudoeste e Orógeno Araçuaí a leste.

O estado do Rio de Janeiro está geotectonicamente inserido na Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1981). Esta província representa uma entidade geotectônica com orientação nordeste, alojada a oeste do Cráton do São Francisco ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico. O sistema orogênico da Província Mantiqueira é constituído pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel, e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira. Desta zona de interferência para sul, até a borda norte do maciço cratônico de Luis Alves, encontra-se um conjunto de unidades cujas relações geotectônicas ainda são dúbias, sendo assim agrupadas nos terrenos Apiaí-Guaxupé e Embu (Silva *et al.*, 2000). A região noroeste fluminense se encontra em terrenos pré-Cambrianos sujeitos a metamorfismo de alto grau (Almeida *et al.*, 1977). Nesses terrenos, análises das características estruturais e litológicas, com as respectivas datações, permitem identificar dois compartimentos tectônicos denominados Cinturão Móvel Atlântico e Faixa de Juiz de Fora.

O Cinturão Móvel Atlântico é o compartimento tectônico mais expressivo, no território fluminense. Tem como embasamento o Complexo Paraíba do Sul, que pode ser identificado não só ao longo do vale do rio que lhe dá o nome, mas também em parte da Mantiqueira, na Serra do Mar e em áreas ao sul e a nordeste da mesma. Suas rochas, em geral gnaisses bandados, milonitos e migmatitos, remontam ao Arqueozóico, tendo sido submetidas, tanto nesta Era quanto no Proterozóico, a metamorfismos diversos, em função de sucessivos ciclos orogênicos e, talvez, de colisão de placas continentais. Tais eventos,

além de produzirem a intrusão de novos corpos graníticos e a metamorfismo de rochas preexistentes, foram responsáveis por falhamentos e dobramentos, gerando unidades geológicas diferenciadas (CIDE, 1997).

Faixa Juiz de Fora, que também ocorre no noroeste do estado, é constituída por rochas granulíticas, predominantemente básicas. A unidade litoestratigráfica mais representativa deste compartimento recebe o nome de Complexo Juiz de Fora. Este complexo contém duas unidades principais de rochas: uma, mais extensa, de origem magmática e outra de rochas metassedimentares. De idade provável arqueana, foi submetido a intensos esforços compressivos, sofrendo migmatização e granulitização no Paleo Proterozóico, e retrabalhamento a partir do Neo Proterozóico. Seu contato com unidades adjacentes se faz através de falhas inversas (CIDE, 1997).

No contexto local, a Figura 4.1.1 mostra o mapa geológico da BHRSD, em escala 1:100.000, extraído do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM, 2004). Com base na descrição obtida no trabalho de Silva Filho (2005), a divisão dos domínios e unidades litológicas contidas na bacia do rio São Domingos são agrupadas nas seguintes entidades de mapeamento: complexo Juiz de Fora, que apresenta rochas com mais de 1,8 bilhões de anos, complexo Paraíba do Sul, que apresenta rochas metassedimentares marinhas com idade entre 1,7 bilhões de anos, e sedimentos fluviais recentes, do Quaternário.

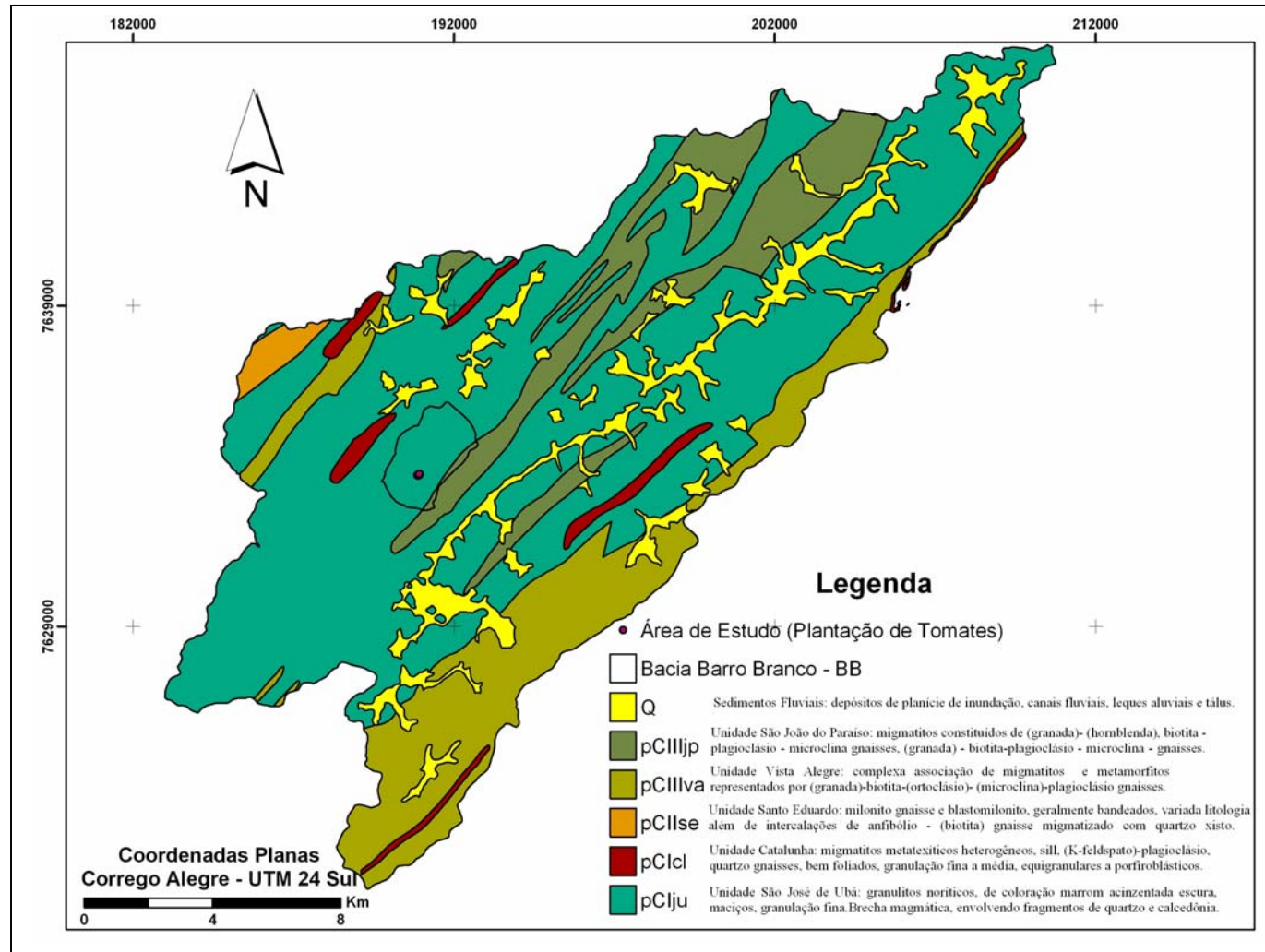


Figura 4.1.1: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, com destaque para a sub-bacia Barro Branco e área de estudo. Fonte: Modificado de DRM (2004).

Com exceção dos depósitos sedimentares cenozóicos argilo-arenosos que constituem os aluviões dos principais mananciais de água, dos corpos intrusivos básicos mesozóicos e outros de idade duvidosa, as associações litológicas presentes na bacia do rio São Domingos constituem exposições de um embasamento cratônico de idade Pré-Cambriana (Silva Filho, 2005).

Segundo o mesmo autor, o complexo Juiz de Fora aflora no quadrante noroeste do estado, próximo à divisa com o estado de Minas Gerais, na forma de lentes estreitas e alongadas com até 80km de comprimento. Conforme as rochas aflorantes na bacia do rio São Domingos, este complexo foi subdividido em dois agrupamentos litológicos informais distintos: agrupamento I, formado pela unidade São José de Ubá ($p \in Iju$) e agrupamento II, formado pelas unidades São João do Paraíso ($p \in IIIjp$) e Vista Alegre ($p \in IIIva$).

Apesar das definições originais que conferem ao complexo Paraíba do Sul um caráter essencialmente supracrustal, ele representa uma unidade estratigráfica que sofreu grandes modificações nas caracterizações estratigráficas, petrográficas e tectônicas. Segundo as rochas aflorantes na bacia do rio São Domingos, este complexo foi subdividido em dois agrupamentos litológicos distintos: agrupamento I, formado pela unidade Catalunha ($p \in Icl$) e agrupamento II, composto pela unidade Santo Eduardo ($p \in Iise$) (Silva Filho, 2005).

A unidade São José de Ubá representa o tipo litológico predominante na área de estudo, disposto em extensas faixas de direção SW-NE, intercalado por contatos gradacionais e/ou bruscos com outras litologias. As rochas que constituem esta unidade são granulitos a hiperstênio, pertencentes ao fácies granulito de metamorfismo regional. Tais rochas sofreram recristalização metamórfica total ou quase total. Mineralogicamente, os granulitos são constituídos por andesina, quartzo, ortoclásio micropertítico, hiperstênio, hornblenda e biotita. Nos tipos noríticos pode aparecer diopsídio. Os minerais acessórios são apatita, opacos e zircão. Os granofelses são constituídos essencialmente por laboradorita, diopsídio, hornblenda e, como acessórios, biotita e opacos (Silva Filho, 2005).

4.2. Pedologia

4.2.1. Características do solo do município de São José de Ubá

No Noroeste Fluminense, segundo Carvalho Filho *et al.* (2000), os principais tipos de solos encontrados são os latossolos (vermelho álico, vermelho-amarelo álico, vermelho-amarelo distrófico e amarelo álico) e argissolos + nitossolos (vermelho-escuro eutrófico).

Os solos do município de São José de Ubá são classificados, de acordo com os mesmos autores, como argissolos vermelho-escuro eutrófico e argissolos vermelho-amarelo. Os solos argissolos vermelho escuros são predominantes no município. Essa classe compreende solos com horizonte B textural de coloração avermelhada, em matiz 3,5YR ou mais vermelho, e teores de Fe_2O_3 inferiores a 150g/kg. Ocorrem em áreas bastante expressivas. São dominantes nas áreas de relevo montanhoso e fortemente ondulado. Encontram-se em geral associados a solos argissolos vermelho-amarelos.

Os argissolos vermelho-amarelos se distinguem dos argissolos vermelho-escuros pela coloração mais amarelada do horizonte Bt, de matiz 4YR ou mais amarelo. Os teores de Fe_2O_3 são normalmente inferiores a 110g/kg. Apresentam nessa área, geralmente, caráter distrófico ou álico e perfis bastante espessos. Quando eutróficos tendem a ser mais rasos. São predominantemente caulíníficos, com argila de baixa atividade, geralmente bem drenados, de textura média/argilosa ou média/muito argilosa, de acordo com Carvalho Filho *et al.* (2000).

De acordo com estudos recentes, realizados por Lumbreras *et al.* (2006), a BHRSD apresenta a ocorrência de dois domínios pedológicos distintos e fortemente relacionados às duas feições geomorfológicas regionais: as baixadas (várzeas) e os morros e montanhas. Nas regiões de baixadas, foram identificados gleissolos (15%) nas partes mais baixas e planossolos (1%) e cambissolos (5%) desenvolvidos de sedimentos coluvionares e colúvio-aluvionares nas posições levemente mais elevadas. As áreas de morros e montanhas apresentam domínio de argissolos vermelhos e vermelho-amarelos que gradualmente dão lugar a cambissolos e a neossolos litólicos (2%) à medida que o relevo fica mais acentuado. Segundo os mesmos autores os argissolos vermelhos e vermelho-amarelos compreendem a cerca de 70% da área da BHRSD (Figura 4.2.1.1).

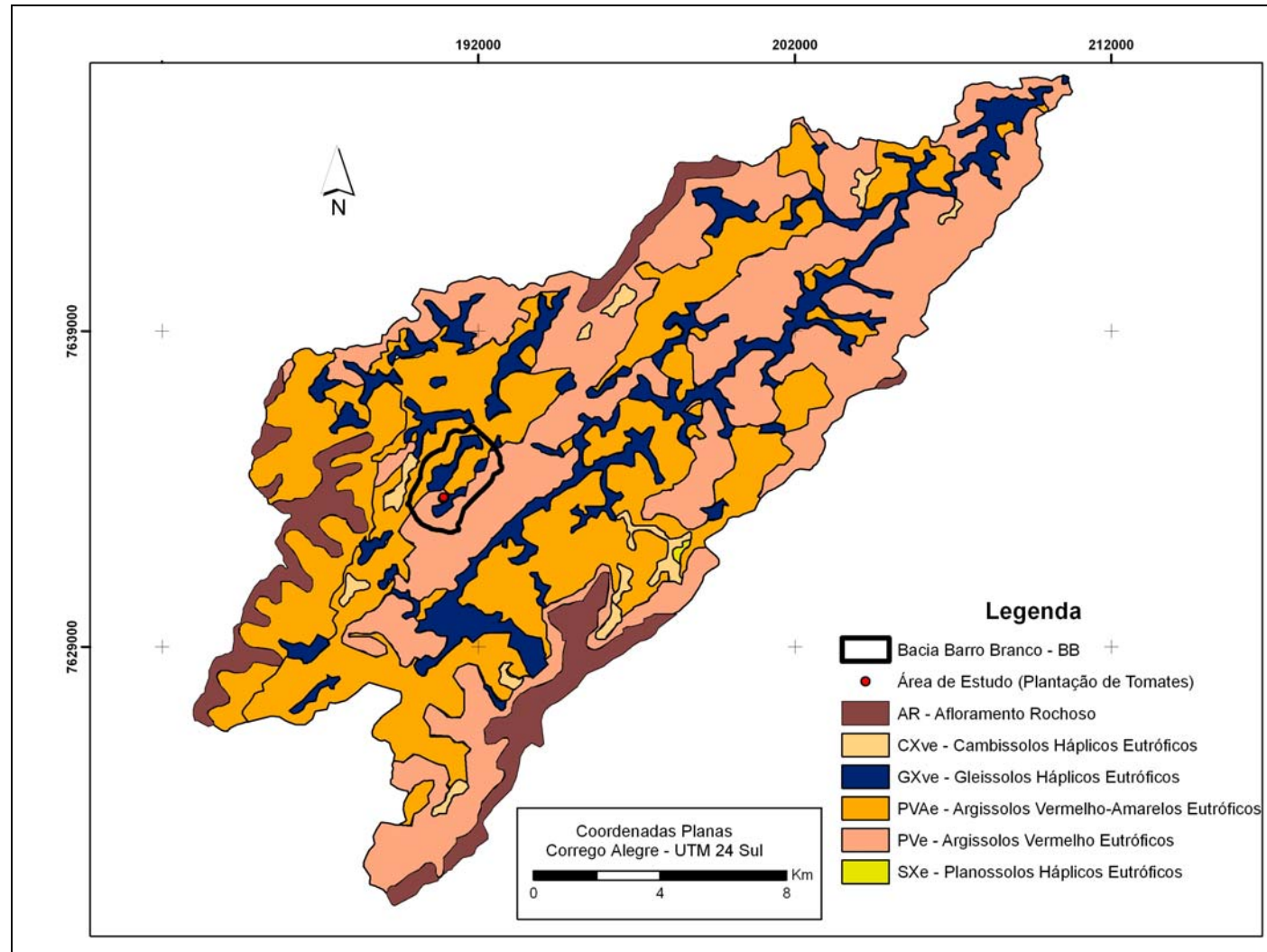


Figura 4.2.1.1: Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, com destaque para a sub-bacia Barro Branco e área de estudo.
Fonte: Modificado de Lumbreras *et al.* (2006).

São solos minerais, não hidromórficos, que apresentam um expressivo gradiente textural ao longo do perfil, ou seja, o horizonte subsuperficial (horizonte B textural) é bem mais argiloso que o horizonte superficial (horizonte A) (Embrapa, 1999). Ocorrem em colinas, morros e montanhas, em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso.

Tendo em vista os problemas climáticos da região, a deficiência de água é mais intensa nestes solos uma vez que, por ocorrerem em relevo movimentado, são mais dissecados e, ao contrário dos solos das várzeas, o lençol freático encontra-se a grande profundidade. São áreas susceptíveis à erosão. A compactação provocada pelo pisoteio do gado, o gradiente textural, típico de solos com horizonte B textural, assim como o elevado teor de argila dos horizontes subsuperficiais propiciam uma redução da permeabilidade e acentuam o deflúvio superficial, favorecendo a erodibilidade do solo, sobretudo com relação à erosão do tipo linear (Figura 4.2.1.2). São em geral profundos, com espessura do solo superior a 100cm, assentados num saprolito friável e, eventualmente, pouco profundo nos locais de relevo mais dissecado e/ou declivoso. São solos bem drenados e que apresentam média a elevada fertilidade natural.

Na região da sub-bacia Barro Branco, segundo mapa detalhado (Anexo I) em escala 1:10000 (Calderano Filho *et al.*, 2006), desenvolveram-se predominantemente solos argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos, localizados em áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado e montanhoso. A área de estudo está localizada sob um nitossolo vermelho eutrófico, o qual apresenta textura argilosa/muito argilosa e se desenvolveu em relevo fortemente ondulado.



Figura 4.2.1.2: Imagem do relevo típico da sub-bacia Barro Branco. Notar o processo de voçorocamento linear.

4.3 Uso e cobertura do solo

O recente mapeamento elaborado por Fidalgo e Abreu (2005) classifica o município como área predominantemente utilizada para pastagem (Figura 4.3.1) Essa região apresenta insuficiência de oferta hídrica nos períodos de baixa precipitação, resultado do processo desordenado de ocupação das terras, caracterizado pela retirada da cobertura vegetal original e sua substituição por sucessivos ciclos de cultura. Atualmente, a cobertura vegetal encontra-se bastante reduzida, sendo a maior parte do solo ocupado por pastagens, o que associado às elevadas amplitudes de relevo, às vertentes íngremes e aos alinhamentos serranos tornam a região mais susceptível a erosão.

Na sub-bacia Barro Branco, predominam atividades essencialmente agropecuárias. Observa-se tanto nas encostas como nas áreas de baixada a olericultura, principalmente o cultivo do tomate, além da pecuária de baixa produtividade. As práticas utilizadas para o cultivo, de maneira particular na plantação onde o estudo foi desenvolvido, como já citadas anteriormente foram o plantio direto, o plantio convencional e o cultivo mínimo. Vale ressaltar que, apesar da importância econômica do tomate para o município, a cultura ocupa pequenas parcelas da área nos meses de abril a outubro. Nos demais meses há uma rotatividade da cultura, conforme anteriormente mencionado.

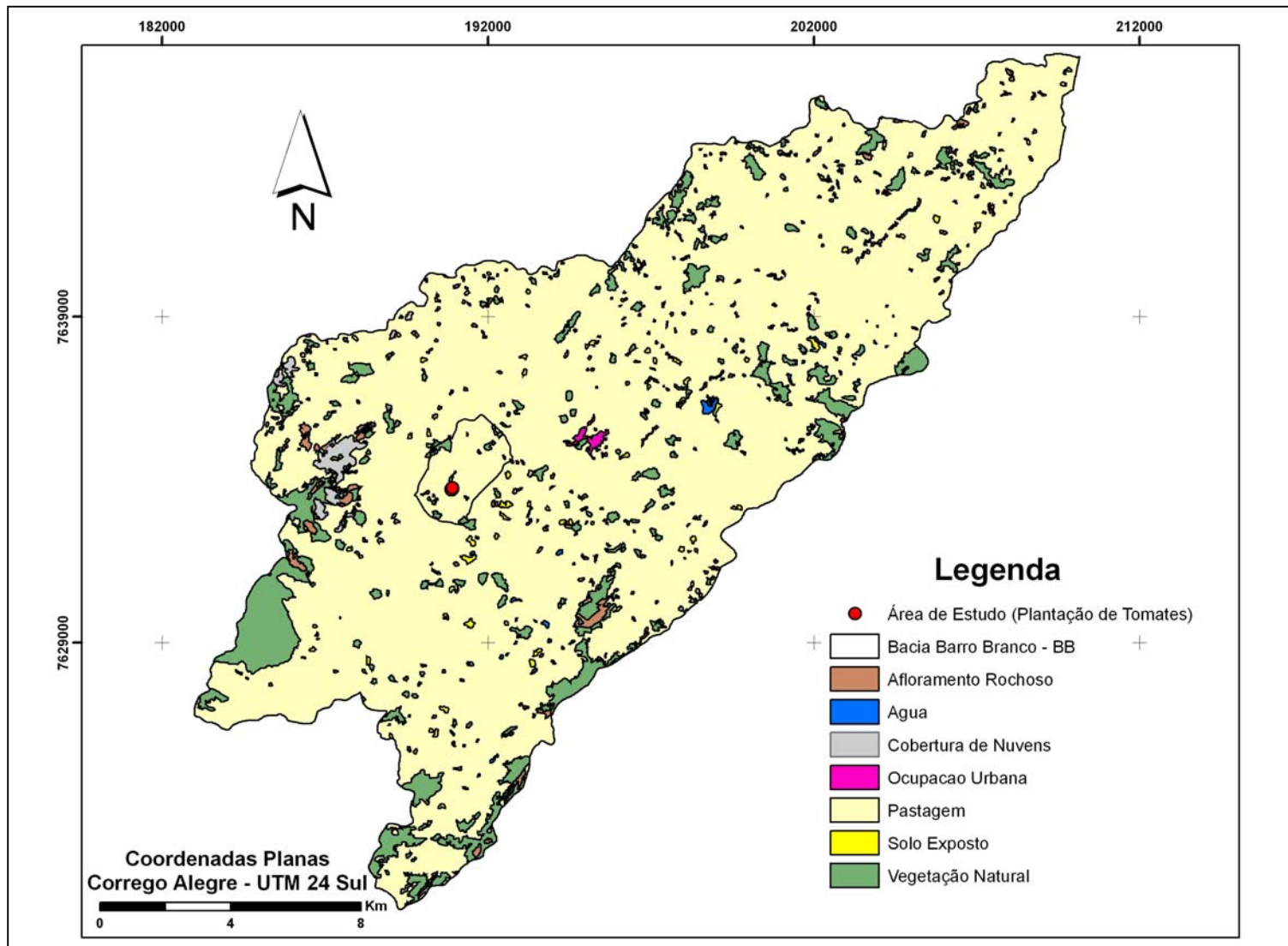


Figura 4.3.1: Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, com destaque para a sub-bacia Barro Branco e área de estudo. Fonte: Modificado de Fidalgo e Abreu (2005).

4.4 Clima

O noroeste fluminense apresenta clima, segundo a classificação de Köppen, Aw, ou seja, tropical quente e úmido com estação seca (inverno) e chuvosa (verão) bem caracterizada. A temperatura atual varia entre 19° e 26° e o total pluviométrico anual gira em torno de 1.200mm (Cézar, 2001).

De acordo com dados das estações pluviométricas de Santo Antônio de Pádua e Itaperuna, as mais próximas do município São José de Ubá, dezembro apresenta-se como o mês mais chuvoso com precipitações na média de 288,8mm e 247,5mm para Santo Antônio de Pádua e Itaperuna, respectivamente. O período mais seco compreende dos meses de abril a setembro, com os meses de julho e agosto marcados por intensa estiagem (Cézar, 2001).

A Figura 4.4.1 apresenta o balanço hídrico para a bacia hidrográfica do rio São Domingos, com dados da série histórica de 1960-1990 das estações de Itaperuna e Santo Antonio de Pádua.

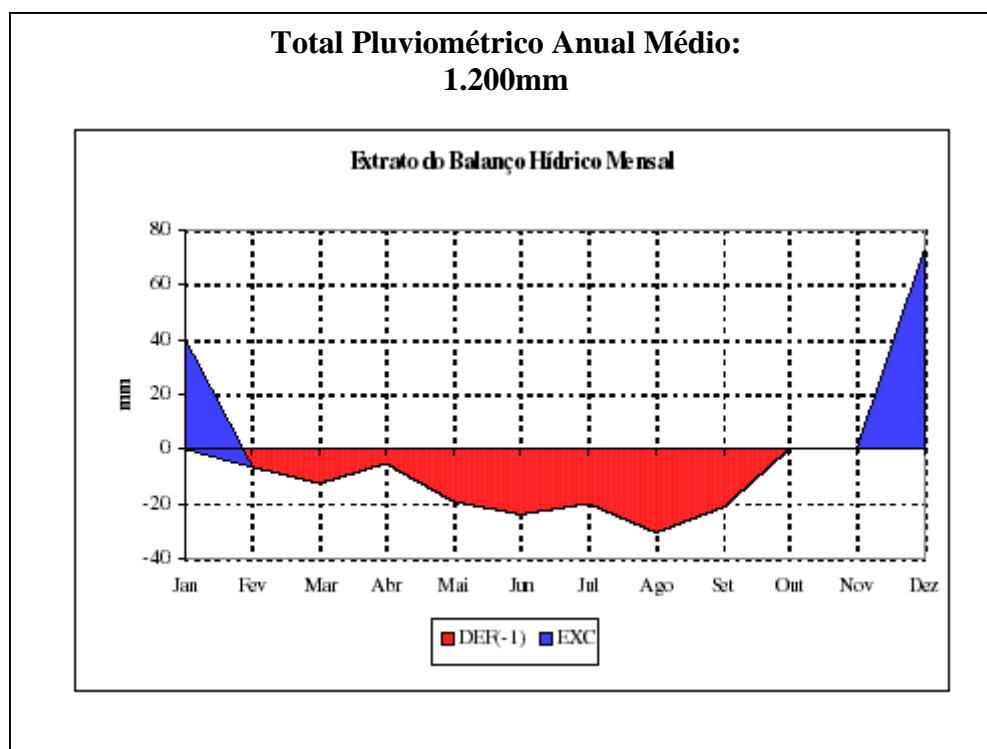


Figura 4.4.1: Balanço hídrico para a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos. Fonte: Modificado de Gonçalves *et al.* (2006).

Observa-se na Figura 4.4.1 que o déficit hídrico compreende os meses de fevereiro a outubro com maior expressividade em agosto. O excedente hídrico apresenta-se nos meses de dezembro e janeiro, mostrando assim que as chuvas são concentradas ao longo do verão.

As associações dos fatores climáticos e geográficos tornam o clima do município de São José de Ubá bem particular, sendo uma das áreas mais castigadas pelo regime de escassez hídrica, cuja paisagem em 1999 era comparável às regiões mais castigadas do sertão nordestino. As prolongadas estiagens que vem sendo observadas na região, segundo especialistas, são causadas pelo desmatamento desenfreado desde o Século XVIII, pela erosão, pela falta de investimentos em reflorestamento, além do cultivo predatório e de fatores climáticos (PRODETAB, 2003).

Em períodos de secas observa-se vazão quase nula nos córregos, conseqüência da baixa precipitação na região somado ao manejo inadequado dos recursos hídricos, como barramentos para captação de água para o cultivo do tomate, o que acaba induzindo perdas significativas por evaporação direta. As mudanças na oferta hídrica têm deixado o município numa situação extrema de escassez hídrica, acentuando os períodos de estiagem, a migração de nascentes e levando ao desaparecimento de pequenos rios intermitentes.

4.5 Geomorfologia

No Noroeste Fluminense, entre as serras de Monte Verde e das Freixeiras, destaca-se um importante lineamento estrutural de direção WSW-ENE, que controla os vales do ribeirão das Freixeiras (tributário do rio Pomba) e do valão Grande (tributário do rio Muriaé). A norte da serra das Freixeiras corre o rio São Domingos, seguindo a mesma direção. Entre os rios Muriaé e Itabapoana, as planícies fluviais tornam-se mais amplas, principalmente no entorno do maciço de Bom Jesus de Itabapoana e na base da escarpa do planalto de Varre-Sai. Nessa área, situam-se os núcleos urbanos de Itaperuna, São José do Ubá, São João do Paraíso, Italva, Boa Ventura, Santa Maria e Santo Eduardo (Dantas, 2000).

Segundo o autor, o município de São José de Ubá apresenta relevo bastante acidentado, variando de plano, nas baixadas, a fortemente ondulado, escarpado e montanhoso (Figura 4.5.1). A unidade geomorfológica que predomina na região é a Depressão Interplanáltica com Alinhamentos Serranos do Norte-Noroeste Fluminense, que consiste numa extensa zona colinosa intercalada com alinhamentos serranos escalonados de direção predominante WSW-ENE, envolvendo grandes extensões do norte do estado. Nessa unidade,

o relevo homogêneo de colinas, morrotes e morros baixos alterna-se bruscamente com alinhamentos serranos bastante elevados. É acentuado o controle dos lineamentos de direção WSW-ENE, tanto sobre a rede de drenagem tributária aos canais principais, quanto no alinhamento das cristas serranas. Esse relevo colinoso caracteriza-se por uma extensa depressão marginal compreendida entre os terrenos elevados interiores.

Observando o Modelo Digital do Terreno (MDT) para parte do noroeste fluminense, com destaque para a BHRSD, percebe-se o contraste do relevo característico da área (Figura 4.5.1).

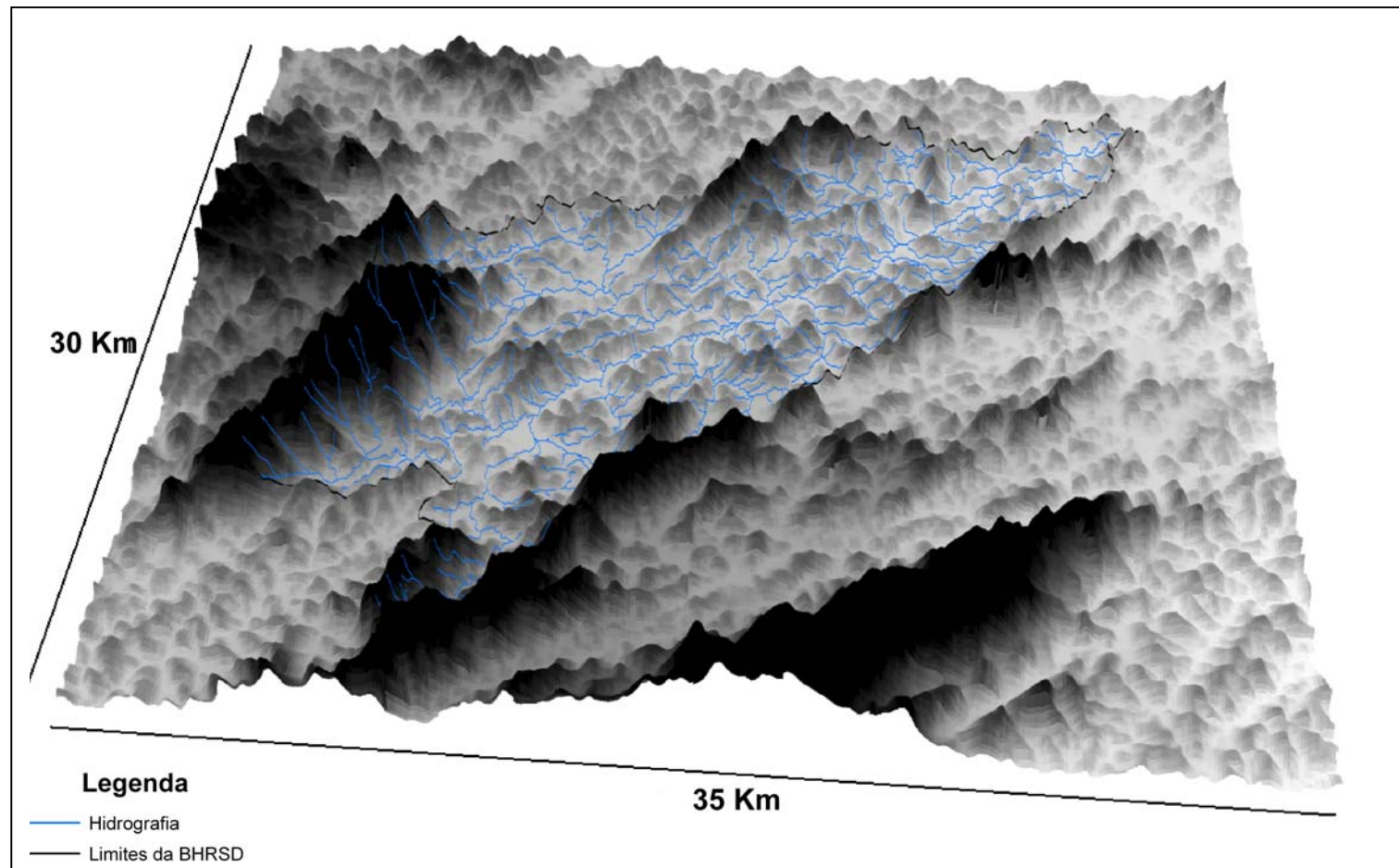


Figura 4.5.1: MDT do Noroeste Fluminense com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos. Imagem SRTM¹.

¹ Imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução de 90 metros. Disponível para *download* no site da EMBRAPA: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/conteudo/relevo/metodo.htm>.

4.6 Hidrogeologia

No estado do Rio de Janeiro ocorre o predomínio de aquíferos cristalinos fissurais. Sua composição predominante é formada por rochas cristalinas de alto grau metamórfico, tradicionalmente tratado como de baixa potencialidade para ocorrência de água subterrânea.

De acordo com o mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro em escala 1:400.000, a região que abrange a bacia do rio São Domingos é classificada, quanto a favorabilidade hidrogeológica, como mediana a alta e muito alta nas baixadas e mediana a baixa nas serras (Barreto *et al.*, 2000). A composição química das águas foi definida por Menezes (2005) como bicarbonatada-mista à bicarbonatada-sódica. Segundo este autor, as águas do aquífero raso foram as que apresentaram maior variedade de tipos hidroquímicos.

No município São José de Ubá ocorrem dois tipos principais de aquíferos: poroso, nos depósitos aluvionares e solos de alteração das rochas, e fissural, nas fraturas das rochas cristalinas. Devido à pequena espessura dos solos e a heterogeneidade dos aluviões, o aquífero fissural torna-se o mais importante, favorecido pela presença de intenso falhamento e fraturamento nas rochas, tornando-o propício ao armazenamento de águas subterrâneas.

Por meio de métodos geofísicos foram identificados dois tipos de aquíferos na sub-bacia do Barro Branco: o superficial e o fissural. O aquífero superficial é composto por sedimentos aluviais quaternários e é caracterizado por uma camada subhorizontalizada com espessura variável ao longo dos perfis (2 a 12 metros). O aquífero fissural é caracterizado por duas zonas verticalizadas de baixa resistividade elétrica, possuindo larguras na faixa de 30 a 50 metros (Ferreira *et al.*, 2005).

Na área de estudo, a sub-bacia do Barro Branco, exhibe oferta hídrica baixa. A extração de água subterrânea constitui a principal alternativa de abastecimento para suprir as necessidades da população.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” (Louis A. Lavoisier)

5 GAMAESPECTROMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS (BHRSD)

5.1 Integração dos mapas radiométricos com a fisiografia

Neste capítulo buscou-se interpretar os dados aéreos na área da BHRSD, com o objetivo de estabelecer possíveis relações entre os dados gamaespectrométricos e fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos e climáticos na área estudada.

A partir dos procedimentos adotados para o processamento dos dados aerogamaespectrométricos (Anexo II), os produtos finais relativos ao projeto aerogeofísico São Paulo - Rio de Janeiro, para a BHRSD, foram gerados e integrados em ambiente SIG com outros indicadores, de modo a corroborar a presente interpretação. Esta integração permitiu estabelecer o papel de cada fator na distribuição dos radioelementos na BHRSD. Tais produtos são apresentados na forma de mapas integrados à geologia, hidrografia, solos e MDT.

Um aspecto comum aos mapas dos quatro canais radiométricos apresentados é a existência de zona de baixos valores radiométricos na porção central da BHRSD. Associa-se essa diminuição das contagens radiométricas à provável existência de regiões onde predominem condições climáticas favoráveis a lixiviação desses elementos dos solos e rochas. A falta de correlação dos elementos radiométricos com os mapas geológico e de solos, como será discutida adiante, é um fator que corrobora essa interpretação. Segundo Wilford *et al.* (1997), o intemperismo conduz a perda de K em todos os tipos de rochas e para as félsicas, perdas também para U e Th.

Um dos aspectos importantes da existência de condições físico-químicas de forte intemperismo é a possível geração de solos mais pobres em nutrientes. A integração do *layer* das áreas ocupadas por lavouras nos anos de 2004/2005 (Fidaldo e Abreu, 2005) com o mapa radiométrico do K, mostra que parte significativa dos cultivos, inclusive os da área de estudo estão concentrados em uma área de médio a alto K. Enquanto em outra, parte dos cultivos, estão concentrados em uma área de médio a baixo K (Figura

5.1.1). De acordo com a interpretação deste estudo, essa área localizar-se-ia em uma possível zona de forte lixiviação de nutrientes do solo. O que poderia ser uma das explicações para a necessidade, além do normalmente utilizado, da aplicação de grande quantidade de insumos agrícolas lançados anualmente nas culturas da região (Cézar, 2001).

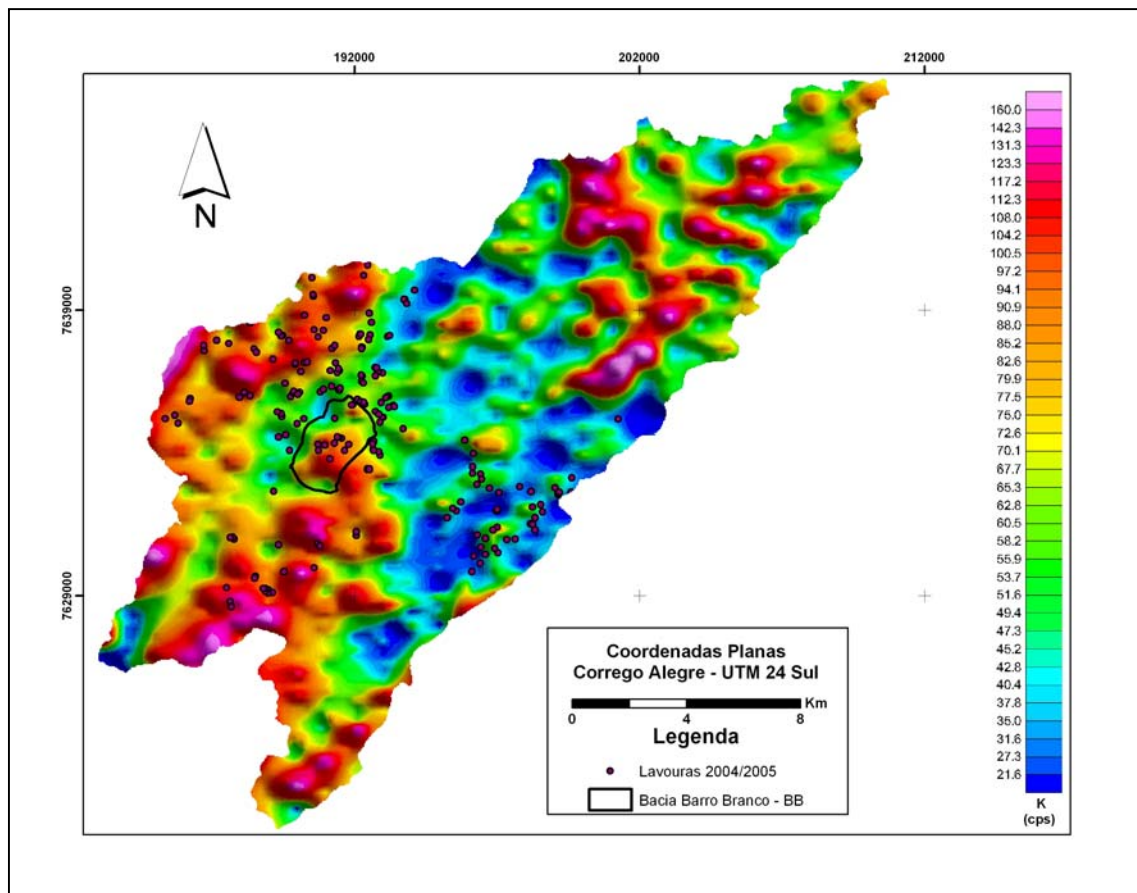


Figura 5.1.1. Mapa do canal do K, da BHRSD, integrado com áreas de cultivo. Destaque para a sub-bacia Barro Branco.

A superposição dos contatos litológicos com os mapas de K (5.1.3 B), U (5.1.3 C) e CT (5.1.3 D), permite estabelecer uma baixa correlação desses radioelementos com as unidades geológicas fortemente condicionadas segundo a direção NE. A exceção é o canal do tório, que em virtude de ser o elemento de menor mobilidade, apresenta maior grau de correlação com a geologia (Figura 5.1.3 A). Este mapa mostra anomalias de Th condicionadas segundo a direção NE, embora na porção central da área exista uma região com baixas contagens deste elemento.

A superposição da hidrografia com os mapas radiométricos (Figura 5.1.4 A - D), permite estabelecer a correlação das áreas de baixas concentrações dos radioelementos com os principais cursos de água da região. Esta correlação positiva corrobora a interpretação prévia da predominância na região de condições físico-químicas propícias à forte lixiviação desses elementos, em especial o K.

A superposição dos mapas radiométricos com o mapa de solos elaborado por Lumbreras *et al.* (2006) (Figuras 5.1.5 A - D), permite estabelecer pouca correlação entre os tipos de solos da região com os radioelementos. Dentre os diversos temas, o mapa do CT é o que apresenta melhor correlação. O que se observa a partir desse mapa é que as áreas onde se desenvolveram os gleissolos, que se caracterizam por serem normalmente argilosos e com alto teor de matéria orgânica, coincidem com as algumas áreas anômalas. Segundo Wilford *et al.* (1997) os radioelementos tendem a ser adsorvidos em minerais de argilas e co-precipitados em óxidos de ferro. De acordo com Kogan *et al.* (1969), quanto maior a fração de argila no solo, maior será a concentração dos radionuclídeos, o que justificaria essa interpretação.

Visualmente, o MDT é o que apresenta melhor correlação com os mapas radiométricos (Figura 5.1.6 A - D). A partir dessa integração, foi possível obter informações sobre a relação entre a distribuição dos elementos e a topografia da área, e concluir que a distribuição dos radionuclídeos está fortemente condicionada ao relevo.

Observa-se que a BHRSD se desenvolveu em um grande vale, ladeada por duas regiões mais elevadas nos limites sudeste e noroeste. A serra Monte Verde a noroeste, apresenta uma porção descontínua, sendo interrompida na porção central por uma zona de baixo topográfico. No limite sudeste da bacia, a serra Frecheiras apresenta uma porção contínua. Comparando com os mapas radiométricos, observa-se que são justamente as áreas de afloramento rochoso. E no radiométrico, principalmente o do Th, com valores mais elevados.

O mapa da CT proporciona a visualização da distribuição dos três radioelementos pela área. Observam-se as maiores concentrações na porção mais à jusante da BHRSD. O mapa do Th informa a presença marcante do elemento nas áreas de topografia alta, localizadas essencialmente nas porções nordeste e sudeste da BHRSD.

A análise do mapa de K, proporciona a observação de anomalias positivas em áreas à montante e à jusante do rio São Domingos, o que pode ser explicado, devido ao

fato de o K ser um elemento extremamente móvel e por isso tender a se concentrar em áreas de planície.

No mapa do canal de U, observa-se dispersão do elemento por toda a área, com concentrações mais altas nos baixos topográficos, o que segundo Dickson e Scott (1997) está relacionado ao fato do elemento ser adsorvido pelos argilominerais, além de se combinar com óxidos de ferro e carbonatos, o que aumenta sua concentração próximo à superfície.

A imagem ternária (Figura 5.1.2) foi utilizada para combinar as informações contidas nos três canais com baixas amplitudes relativas (U, Th e K). A cada um dos três canais, K (ciano), Th (magenta), U (amarelo), foi atribuída uma cor, as quais são combinadas pixel a pixel na escala CMY utilizada. Sendo assim, na imagem formada, cada pixel produz a tonalidade de cor que reflete os valores relativos à intensidade da radiação gama entre os três canais. No padrão de cores CMY, os valores relativos ao ciano, magenta e amarelo (cores secundárias) são de tal modo que cores mais esbranquiçadas (menos saturadas) refletem intensidades baixas em todos os canais; enquanto cores mais escuras (mais saturadas) refletem intensidades mais altas (Carvalho, 2006).

O emprego da imagem ternária (Figura 5.1.2), permitiu uma análise com maior detalhe onde foi possível definir uma série de domínios radiométricos que foram sumarizados na Tabela 5.1.1. Esses domínios radiométricos foram definidos de acordo com a coloração da mistura dos teores de K, Th e U. Domínios muito complexos foram ignorados, e reunidos em um único domínio. No entanto, acentua-se fortemente a assinatura do Th, que como dito anteriormente, correlaciona-se muito bem com unidades do mapa geológico fortemente influenciadas por estruturas na direção preferencial NE.

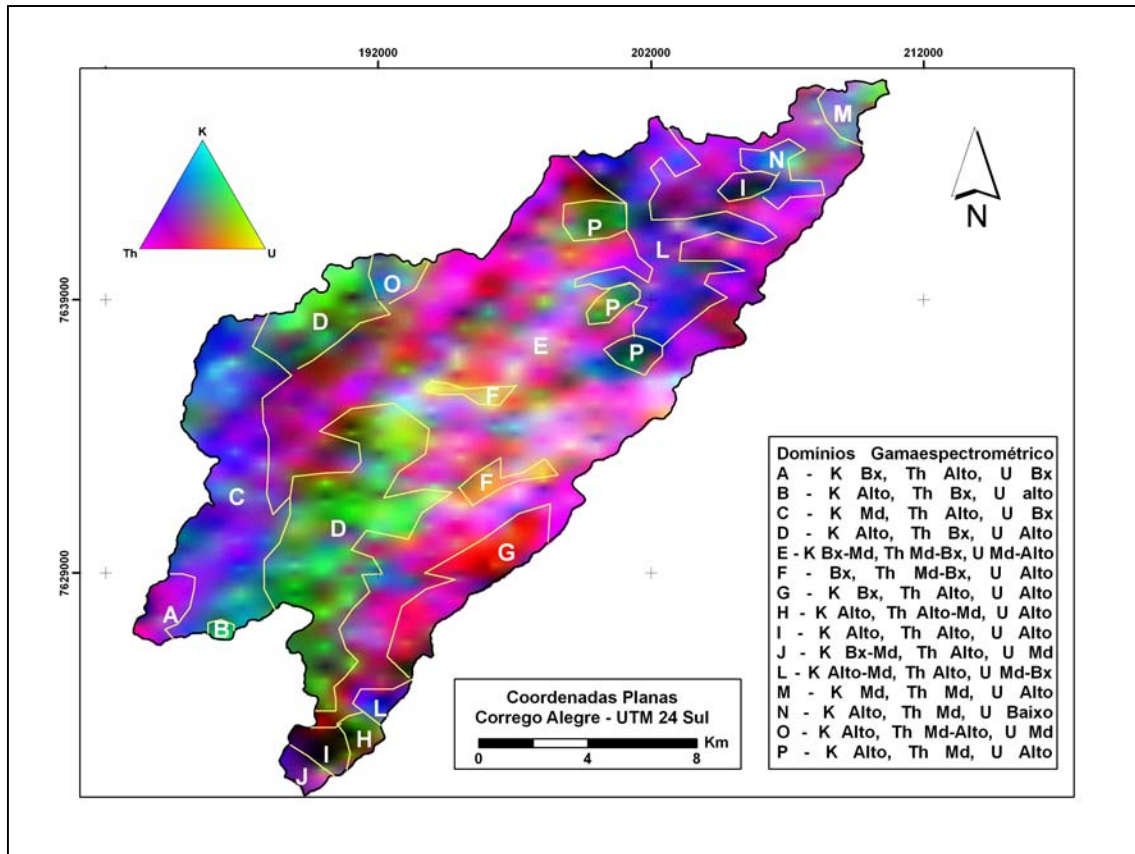


Figura 5.1.2. Mapa da imagem ternária CMY, para a BHRSD.

Tabela 5.1.1. Relação das composições relativas dos radioelementos K, Th e U.

Domínios	Composição Relativa K	Composição Relativa Th	Composição Relativa U
A	Baixo	Alto	Baixo
B	Alto	Baixo	Alto
C	Médio	Alto	Baixo
D	Alto	Baixo	Alto
E	Baixo-Médio	Médio-Baixo	Médio-Alto
F	Baixo	Médio-Baixo	Alto
G	Baixo	Alto	Alto
H	Alto	Alto-Baixo	Alto
I	Alto	Alto	Alto
J	Baixo-Médio	Alto	Médio
L	Alto-Médio	Alto	Médio-Baixo
M	Médio	Médio	Alto
N	Alto	Médio	Baixo
O	Alto	Médio-Alto	Médio
P	Alto	Médio	Alto

“O homem, com a ajuda da natureza consegue tudo o que quer.” (Luther Burbank)

6 ESTUDO DE DETALHE NA PLANTAÇÃO DE TOMATE

6.1 Coleta e preparação das amostras

A etapa de campo, realizada nos dias 21 e 22 de fevereiro de 2006, consistiu na coleta e acondicionamento de 81 amostras de solo. Procurou-se obedecer a uma malha regular definida, com espaçamento de 5x5m. Foram coletadas 75 amostras no solo cultivado e 6 amostras (aleatórias) em solo não cultivado. Três amostras foram coletadas a noroeste e três amostras a sudeste da plantação (Figuras 6.2.1 e 6.2.2). Foram ainda coletadas amostras de uma afloramento rochoso, cerca de 100 metros a leste da plantação. As amostras de solo, pesando cerca de 1kg cada uma, correspondem à porção entre 0 e 15 centímetros de profundidade e foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos, identificados e transportados para laboratório. Elas foram utilizadas para análises químicas, físicas, radiométricas e de difratometria de raios X.

As análises físicas, essencialmente a determinação da textura, foram efetuadas em laboratório privado e no laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília. As análises químicas foram realizadas em laboratório privado. As análises radiométricas foram efetuadas no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília empregando um gamaespectrômetro portátil, e a difratometria de raios X.

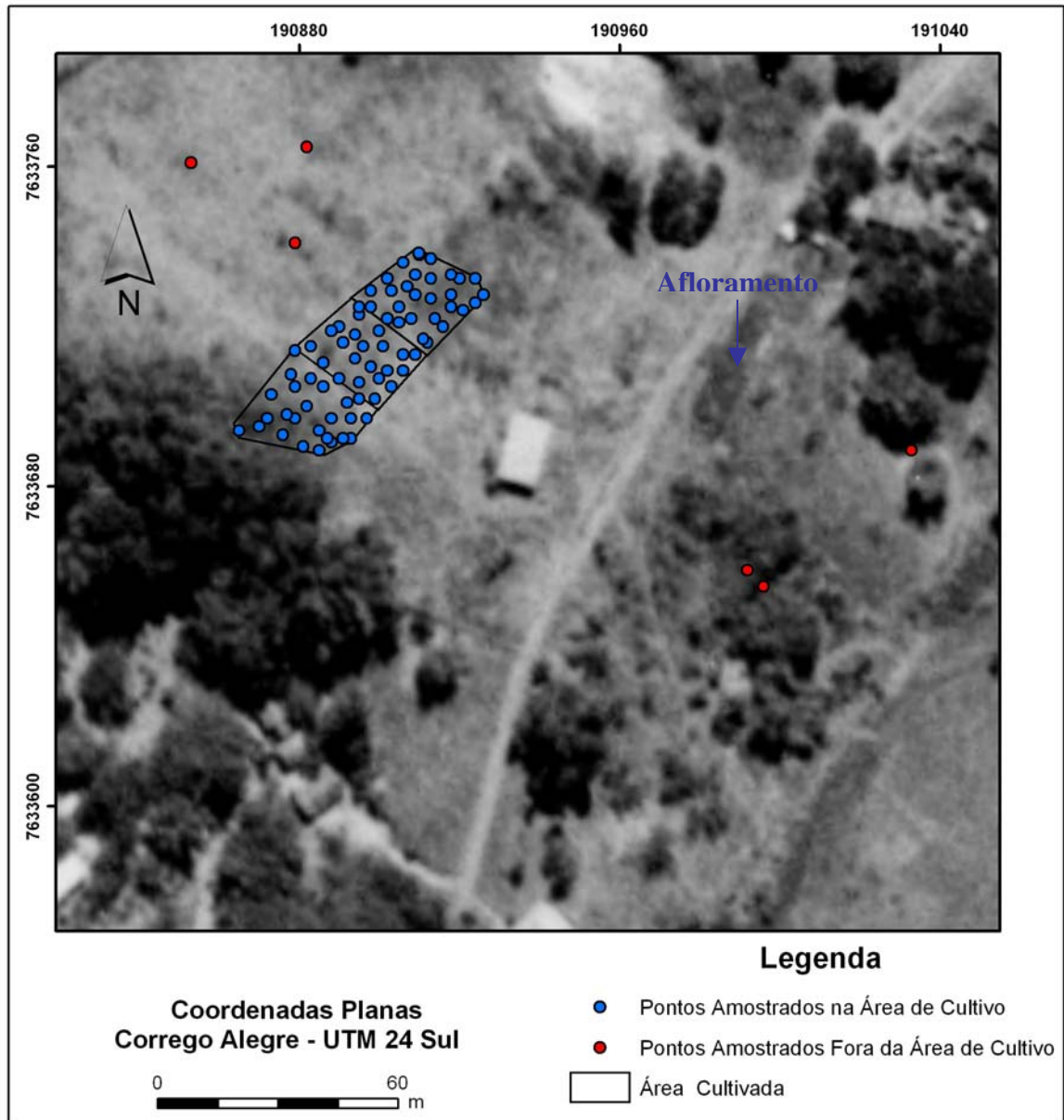


Figura 6.2.1: Mapa de localização dos pontos amostrados.

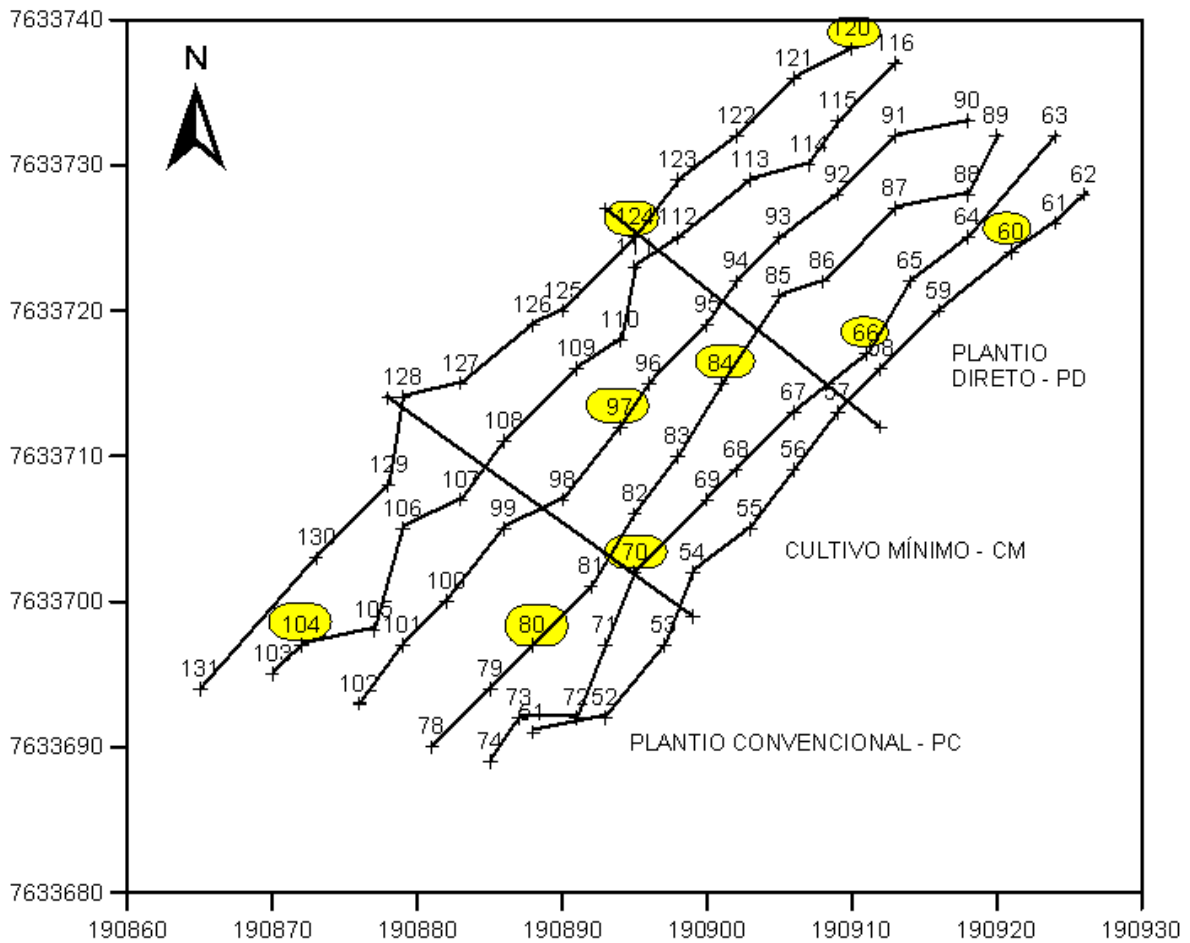


Figura 6.2.2: Mapa de localização dos pontos amostrados na área de cultivo. Destacados em amarelo, os pontos com análises químicas, físicas e de difração de raios X.

6.2 Processamento e medidas em laboratório

6.2.1 Análise granulométrica

Em relação a granulometria, a presente pesquisa procurou reunir três metodologias, a da Norma Técnica Brasileira NBR 7181/1984, a utilizada pela EMBRAPA (1997) e a determinada por Malvern (1997), de forma a subsidiar uma análise comparativa.

6.2.1.1 Metodologia proposta pela norma brasileira NBR 7181/1984 da ABNT

As amostras de solo, utilizadas para caracterização através da metodologia proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), foram preparadas e processadas no laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília. Neste ensaio foram processadas 11 amostras, sendo 3 fora da área da plantação e 8 na área de cultivo. Para tal foram realizados os seguintes ensaios:

- Preparação das amostras: NBR 6457/1986
- Determinação da massa específica dos grãos do solo: NBR 6508/1984
- Análise granulométrica: NBR 7181/1984

A análise granulométrica visa determinar a relação entre as dimensões das partículas e os seus percentuais, bem como a graduação desta no solo. Esta metodologia brasileira utiliza a técnica do densímetro para fazer as leituras na fase da sedimentação (Figura 6.2.1.1.1). As dimensões das partículas medidas nos ensaios granulométricos dependem da maior ou menor facilidade de separar as partículas aglutinadas e mantê-las separadas durante o ensaio. Os ensaios foram realizados para amostras com e sem defloculante. O defloculante utilizado foi o hexametáfosfato de sódio preparado nas seguintes proporções: 42,7 gramas de hexametáfosfato de sódio diluído em 1000 cm³ de água destilada, tamponado com bicarbonato de sódio.



Figura 6.2.1.1.1: Ensaio granulométrico através da técnica do densímetro.

6.2.1.2 Metodologia proposta por Malvern (1997)

Para esse processamento, foram utilizadas 81 amostras, sendo 75 amostras da área da plantação e 6 amostras fora da plantação. Para o processo de caracterização através do granulômetro a laser, as amostras após a fase de secagem ao ar livre foram separadas para determinação de umidade, pesadas, aproximadamente 100g, e destorroadas. Após este processo, foram submetidas ao peneiramento (# 2mm). O material retido na peneira de abertura 2mm foi lavado, seco em estufa e posteriormente submetido ao peneiramento grosso (# 50,8 a 4,76mm). O material passante na peneira com abertura de 2mm, foi submetido à peneira de abertura 0,42mm. O material retido neste último peneiramento foi lavado, seco em estufa e submetido ao peneiramento fino (# 1,19 mm e 0,59 mm). O material passante na peneira de abertura 0,42mm foi separado e utilizado para caracterização no granulômetro a laser (Figura 6.2.1.1).



Figura 6.2.1.1 Etapas de preparo utilizadas para ensaios realizados no granulômetro a laser.

Este método propõe a análise do tamanho das partículas do solo, utilizando a tecnologia da dispersão da luz do laser. O granulômetro a laser, modelo Mastersizer S. Standart Bench, adquirido pelo programa de Pós-graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, foi utilizado para a determinação da curva granulométrica dos solos. De acordo com pesquisas desenvolvidas no laboratório, o aparelho apresenta vantagens quanto à rapidez e precisão além de permitir reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados (Manso, 1999; Molinero *et al.*, 2003; Prado *et al.*, 2003, Pessoa *et al.*, 2003).

O equipamento é composto por três peças: a unidade de leitura óptica, a unidade de preparação das amostras e um computador. Observa-se na Figura 6.2.1.2, as duas primeiras unidades.



Figura 6.2.1.2: Granulômetro a laser.

A unidade óptica coleta os dados obtidos durante o processo de medida do diâmetro das partículas do solo. Esta unidade apresenta duas sub-unidades: o transmissor que é o gerador de um feixe de laser e o receptor que mede o espalhamento da luz ao atravessar a amostra, colocada em suspensão dentro de uma célula de fluxo, e as envia ao computador. As leituras são feitas quando as amostras circulam em frente ao dispositivo que regula o feixe de laser. Essa circulação é feita por mangueiras que levam a amostra em suspensão até uma lente

de face dupla, quando então os grãos são captados pelo feixe de laser e a leitura dos tamanhos das partículas é processada.

A unidade de preparação da amostra é um tanque com capacidade de 1000cm³. Sua função é preparar a amostra, ou seja, agitá-la para ser enviada a unidade óptica. É nesta unidade que se aplica o ultra-som, que funciona como um desagregador mecânico. A terceira unidade é o computador que opera com o programa Malvern comandando as operações do sistema de medição (Malvern, 1997).

O equipamento permite controlar a velocidade de bombeamento, velocidade e tempo de agitação e intensidade do ultra-som. A velocidade do bombeamento e o tempo de agitação influem na concentração da suspensão do solo a ser analisado. Este controle é feito pela opacidade que deve estar segundo recomendações do fabricante, entre 10 e 30%. Esta opacidade representa a porcentagem da luz que é perdida ao atravessar a amostra.

Para este trabalho utilizou-se de 0.5g do material numa escala de tempo de 2 minutos para amostra sem ultra-som. Para o ultra-som foi utilizado escala de tempo de 5 minutos. A medida padrão utilizada para determinação do grau de opacidade foi a partir de água destilada, adotando o grau de opacidade menor que 1%. Para cada amostra, o equipamento era limpo e sistema re-calibrado.

6.2.1.3 Metodologia proposta pela Embrapa

As amostras de solo utilizadas para caracterização, pelo laboratório particular, foram preparadas seguindo os procedimentos recomendados pelo Manual de Métodos de Análise de Solos da Embrapa (1997). Neste ensaio, foram processadas um total de 12 amostras, sendo 9 da área de cultivo e 3 da área fora do cultivo.

6.2.1.4 Conclusões parciais para caracterização do solo.

Os resultados obtidos com o granulômetro a laser, para as amostras estudadas, estão sendo apresentados em forma de tabela (Anexo III). Este trabalho confirmou que o equipamento pode oferecer agilidade e precisão nos ensaios granulométricos. Além de apresentar outra vantagem, que é a utilização de uma mesma amostra para o ensaio com e sem o uso do ultra-som, que funciona como desagregador mecânico.

Observando os resultados, percebeu-se que o granulômetro a laser foi muito eficiente no solo como desagregador de areia, mas pouco eficiente como desagregador de silte, uma vez que converteu pouca matéria em argila. De acordo com o resultado do ensaio, o solo submetido ao processo do granulômetro apresentou em sua estrutura uma característica siltosa.

De modo a facilitar a comparação dos três experimentos, buscou-se reunir numa mesma tabela os resultados dos diferentes procedimentos utilizados. Para tal, utilizou-se as mesmas amostras caracterizadas nos três ensaios diferentes (Tabela 6.2.1.4.1).

Tabela 6.2.1.4.1: Resultados referentes à caracterização dos solos a partir de três diferentes métodos: sedimentação com defloculante na UnB, sedimentação sem defloculante na UnB, sedimentação feita com defloculante em laboratório particular, granulômetro sem ultra-som e granulômetro com ultra-som.

Amostra	Sedimentação Com			Sedimentação Sem			Laboratório Particular			Granulômetro Sem			Granulômetro Com		
	Argila %	Silte %	Areia %	Argila %	Silte %	Areia %	Argila %	Silte %	Areia %	Argila %	Silte %	Areia %	Argila %	Silte %	Areia %
104	51	28	21	9	36	55	48	23	29	2	33	40	20	61	6
80	47	25	28	12	38	50	41	19	40	2	21	37	18	53	7
70	35	33	32				42	21	37	2	20	38	17	61	8
97	50	28	22	7	28	65	46	20	34	2	24	37	20	56	6
84	45	25	30	11	36	53	42	19	39	2	20	39	21	57	7
124	47	33	20	8	38	54	46	21	33	1	16	38	19	58	6
66	41	32	27	10	30	60	40	15	45	1	15	43	22	58	9
60							34	15	51	1	18	40	14	51	11
120	52	21	27				43	16	41	2	22	36	15	55	8
118	33	23	44	11	35	54	32	23	45	2	19	29	12	54	7
119	45	30	25	9	33	58	42	22	36	2	23	41	16	61	7
132	21	29	50	8	18	74	18	19	63	1	18	33	9	41	16
médias	38	27	35	10	29	62	35	18	47	2	19	37	15	53	10

Para algumas amostras, caracterizadas através dos procedimentos da ABNT, não foi possível fazer o ensaio utilizando o desagregador químico, por falta de material. As análises através dos métodos padronizados pela ABNT e Embrapa, apresentaram resultados próximos, com exceção da amostra 66 que apresentou no ensaio pelo método da Embrapa, uma característica mais arenosa. Esse fato pode estar relacionado com uso de diferentes desagregadores químicos. Além do que a fração areia considerada pelo laboratório particular foi o somatório das frações areia fina, média e grossa. Enquanto que no procedimento pela ABNT, considerou-se somente a fração areia fina. De modo geral, o material da plantação apresenta uma característica argilosa. Enquanto que as amostras fora da área de cultivo apresentam característica mais arenosa para a amostra 118 e mais argilosa para as amostras 119 e 132.

É possível observar, de acordo com os resultados, que o material apresentado tem dois níveis marcantes de sensibilidade. Comparando os resultados, apresentados na tabela 6.2.1.4.1, das análises submetidas ao ultra-som com as análise submetidas ao desagregador químico, como convencionado pela ABNT e Embrapa, foi possível observar que o Nitossolo apresentou maior facilidade de desaglutinação no procedimento químico. Analisando os resultados, verificou-se que os três procedimentos de defloculação agem de forma diferenciada, sendo assim os resultados também apresentaram diferenças. No entanto com os três procedimentos, independente do uso de defloculante, obteve-se textura menos argilosa no PD, intermediária no CM e mais argilosa no PC. Optou-se por representar a soma dos percentuais de argila e silte para evitar algum efeito da presença de estruturas de agregação de argila não completamente dispersadas durante as análises, conforme observado por Santos (1996) (Figura 6.2.1.4.2).

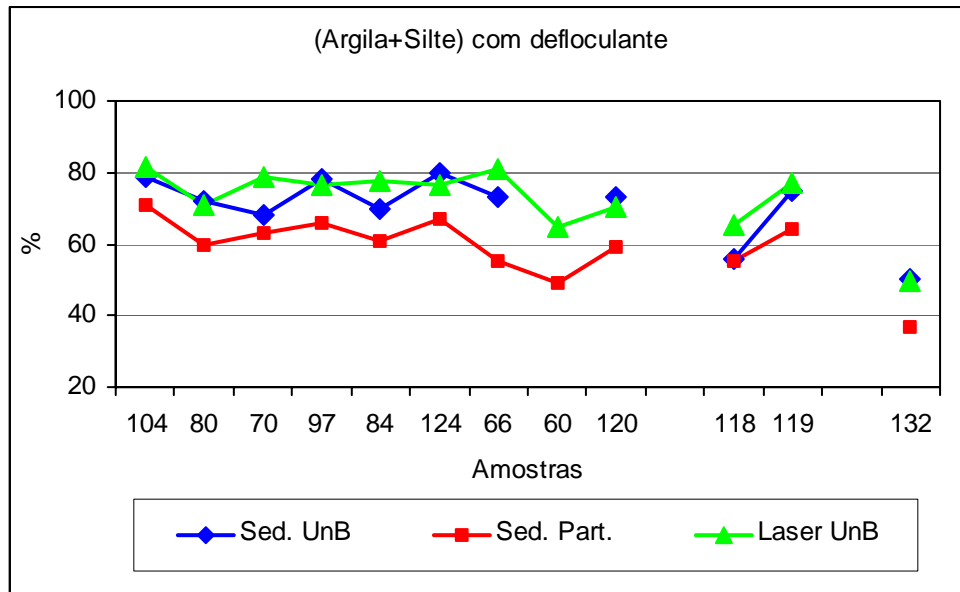


Figura 6.2.1.4.2: Caracterização textural do solo, a partir das três metodologias.

6.2.2 Medidas gamaespectrométricas

Para o levantamento gamaespectrométrico foram utilizadas 300g de cada amostra de solo, rocha e dos fertilizantes superfosfato simples e NPK (4-14-8), todos acondicionadas em sacos plásticos (Figura 6.2.2.1).



Figura 6.2.2.1: Acondicionamento das amostras utilizadas para o levantamento gamaespectrométrico.

A aquisição dos dados de gamaespectrometria terrestre envolveu medidas da intensidade e natureza da radiação gama com intervalos de três minutos para cada amostra. Ao longo dos três minutos, foram obtidas médias das diversas leituras numa mesma amostra, com o objetivo de minimizar as variações estatísticas nas leituras.

As amostras foram acondicionadas em uma caixa de 14 cm de altura por 17 cm de comprimento, de plástico, revestida com placas de chumbo de forma a eliminar o máximo de variáveis possíveis que pudessem interferir nos resultados (Figura 6.2.2.2).



Figura 6.2.2.2: Aquisição dos dados gamaespectrométricos.

Para obtenção dos dados de raios gama, foi utilizado um espectrômetro portátil, modelo GRS 500, equipado com cristais detectores de 124 centímetros cúbicos de NaI (TI) (cristais de iodeto de sódio ativado por tálio). O instrumento foi calibrado de acordo com instrução do fabricante (GRS – 500, 1997). O tempo de integração utilizado para as medidas gamaespectrométricas foi o CT1.

A metodologia utilizada para o processamento dos dados terrestres envolveu levantamento, avaliação dos dados, interpolação e geração de imagens gamaespectrométricas. A interpretação dos dados consistiu de análise visual das imagens radiométricas, análise estatística e correlação com as demais variáveis disponíveis (Figura 6.2.2.3).

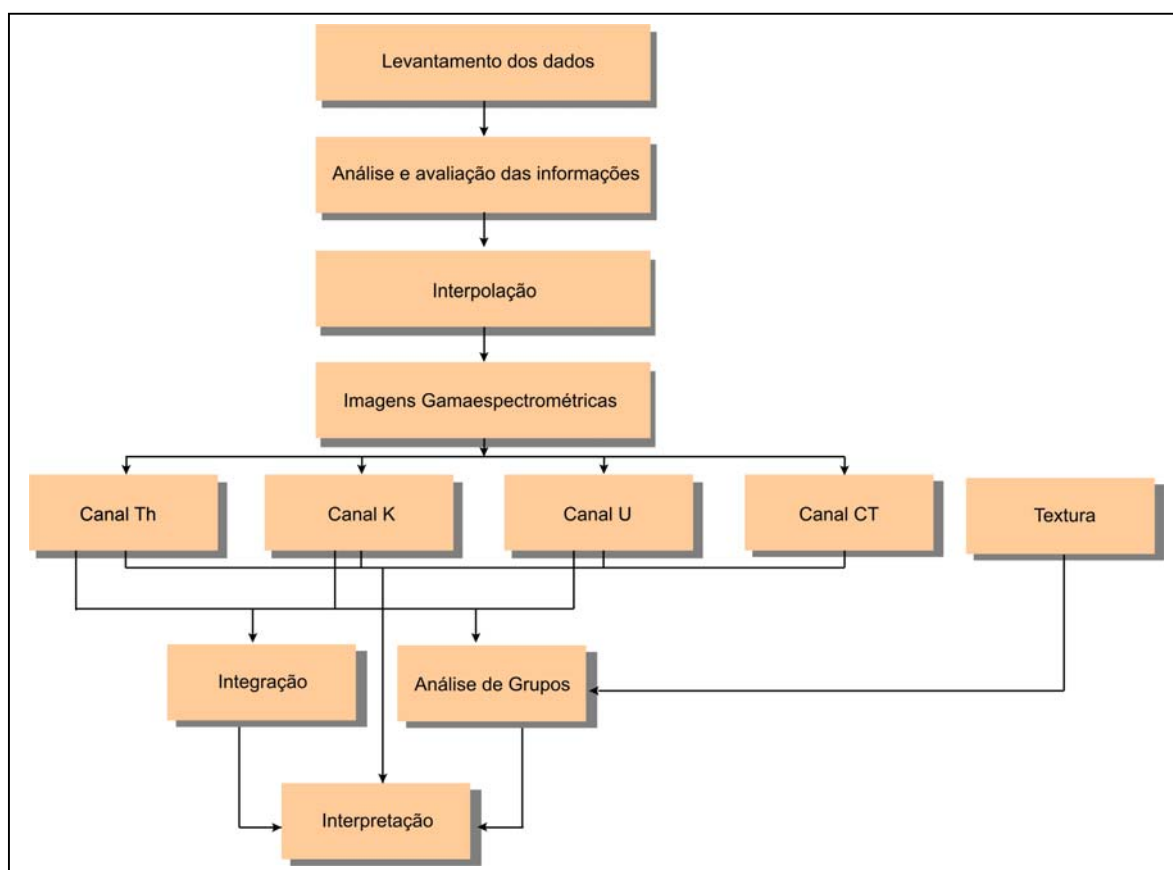


Figura 6.2.2.3: Fluxograma das etapas de processamento dos dados gamaespectrométricos terrestres.

As leituras com o equipamento GRS-500 são expressas originalmente em contagens por segundo (cps) e durante o processamento destas leituras, optou-se por manter esta forma de expressão. Isto se justificou pelo fato de que durante a análise de grupos, todas as variáveis

envolvidas foram padronizadas, com a conseqüente eliminação das unidades. Durante a padronização, cada valor foi subtraído da média da variável e dividido pelo respectivo desvio padrão, conforme Davis (1986).

As leituras obtidas com o gamaespectrômetro foram digitadas e gravadas em arquivo XYZ (Anexo IV). As informações foram organizadas em um banco de dados georreferenciado utilizando-se do programa *Surfer 8.0*. Onde, Z corresponde a cada uma das variáveis radiométricas medidas e X e Y as coordenadas UTM dos pontos em que os solos utilizados para as medidas foram coletados. Os dados foram interpolados por meio de krigagem, após testes preliminares com a triangulação, inverso da distância e mínima curvatura.

6.2.2.1 Mapas de Gamaespectrometria Terrestre

A imagem do K (Figura 6.2.2.1.1) apresenta menores valores na porção nordeste, a qual coincide com a área do PD e maiores valores na porção sudoeste, que corresponde ao PC. Além disto, observa-se uma região de altos valores no limite entre o CM e o PD.

Na imagem do U (Figura 6.2.2.1.2), observam-se valores médios e baixos distribuídos de forma homogênea nas três parcelas, exceto no caso da amostra 125, situada na área de CM.

Na imagem do Th (Figura 6.2.2.1.3), observam-se valores altos, médios e baixos nas três parcelas, embora exista uma tendência dos maiores valores concentrarem-se na borda noroeste da área, enquanto os menores valores concentram-se na borda sudeste.

A imagem da CT (Figura 6.2.2.1.4) exhibe um comportamento semelhante à do Th, contudo, na área do CM é onde predominam os maiores valores.

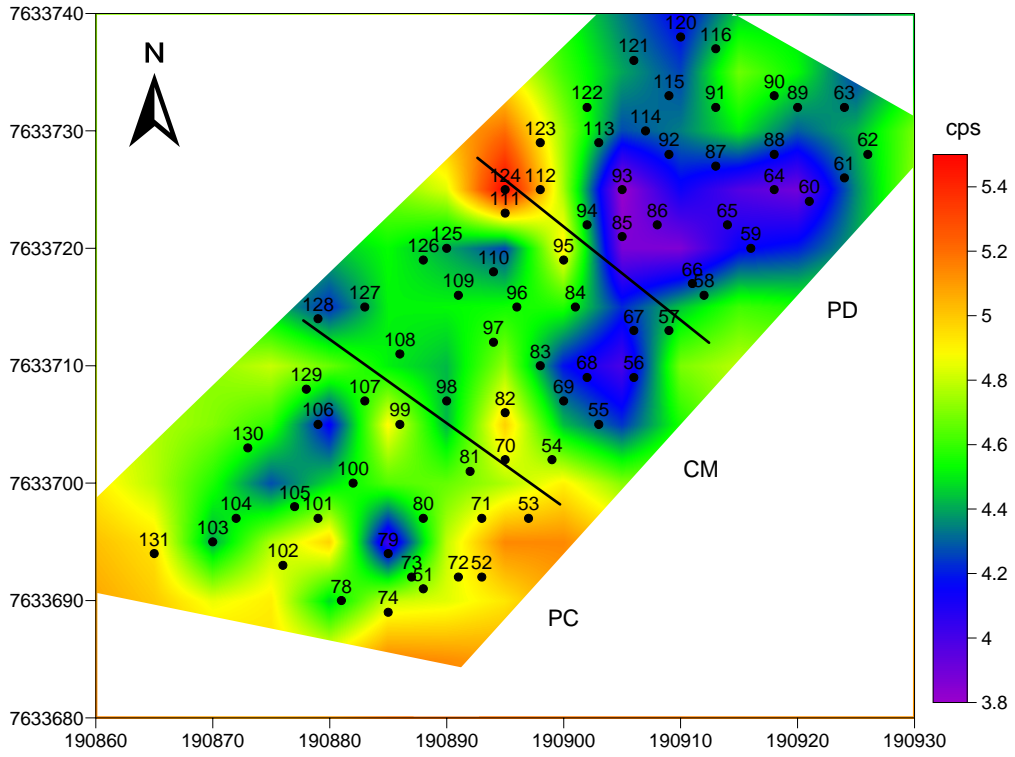


Figura 6.2.2.1.1: Imagem do canal do K da área cultivada.

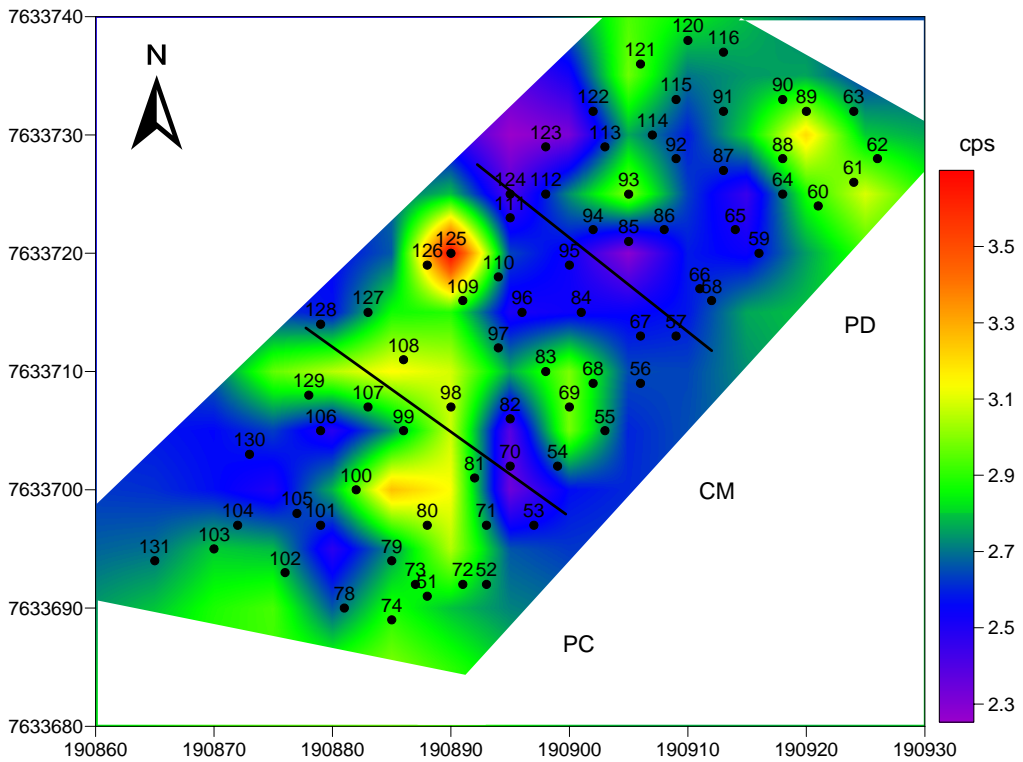


Figura 6.2.2.1.2: Imagem do canal do U da área cultivada.

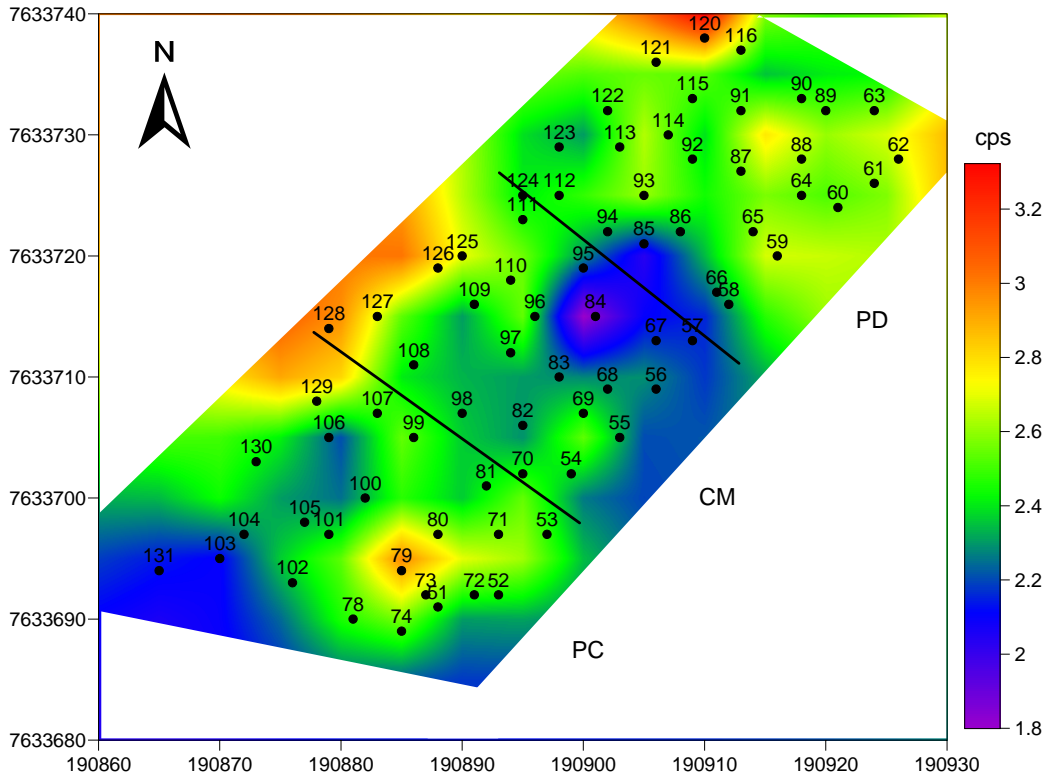


Figura 6.2.2.1.3: Imagem do canal do Th da área cultivada.

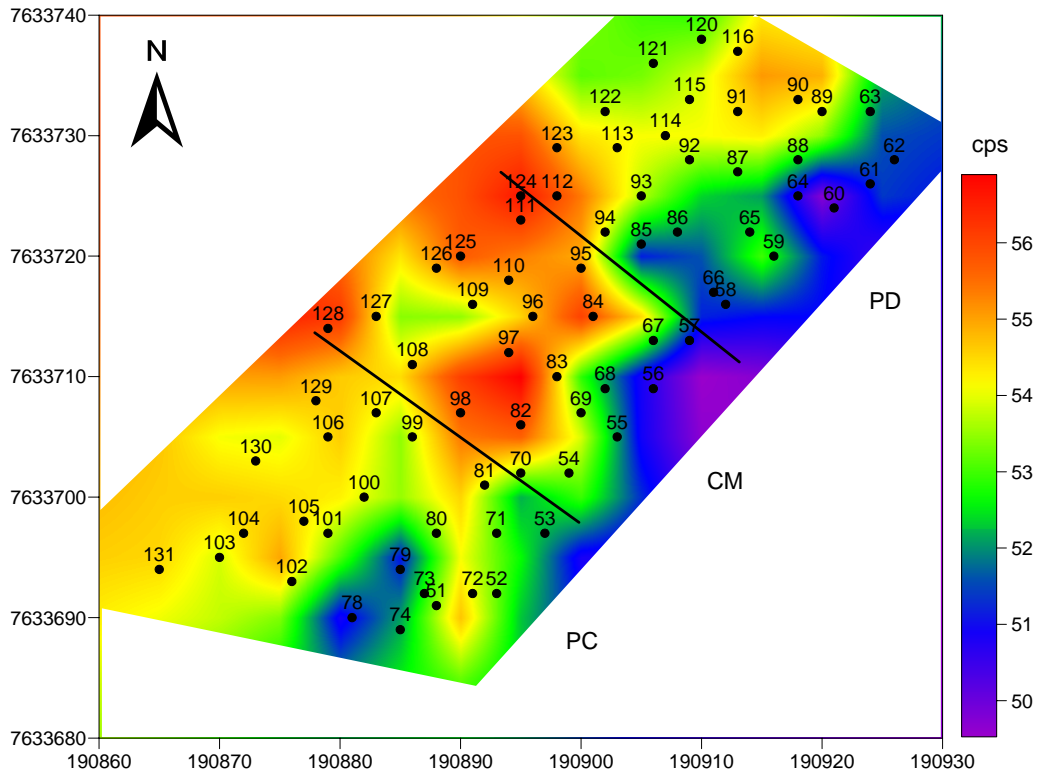


Figura 6.2.2.1.4: Imagem do canal do CT da área cultivada.

6.2.3 Difractometria de Raios – X

O objetivo da realização deste ensaio foi o de definir os argilominerais presentes no solo. A difratometria dos minerais do solo compreende três etapas: preparação, análise e identificação/interpretação do difratograma, conforme descrito por Guimarães (1999).

A difratometria de raios-X foi realizada no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e consistiu em análises realizadas na amostra total (areia fina+silte+argila) não orientada. Na confecção das lâminas da amostra utilizou-se da técnica de *back loading*, na qual o pó da amostra é pressionado em lâmina de alumínio.

6.2.3.1 Conclusões Parciais da Difractometria de Raios-X

Os resultados estão sendo apresentados sob a forma de gráficos, com o solo da área de cultivo (amostras 60, 66, 70, 80, 84, 97, 104, 120 e 124) (Figura 6.2.3.1.1) e o solo da área não cultivada (amostras 118, 119 e 132) (Figura 6.2.3.1.2). A partir do ensaio realizado para as amostras de solo, foi possível identificar a presença dos minerais caulinita e quartzo para todas as amostras. Foram identificados ainda, os minerais illita (amostras 70 e 132), Rutilo (amostras 60, 84, 118 e 132) e zircão (amostra 120).

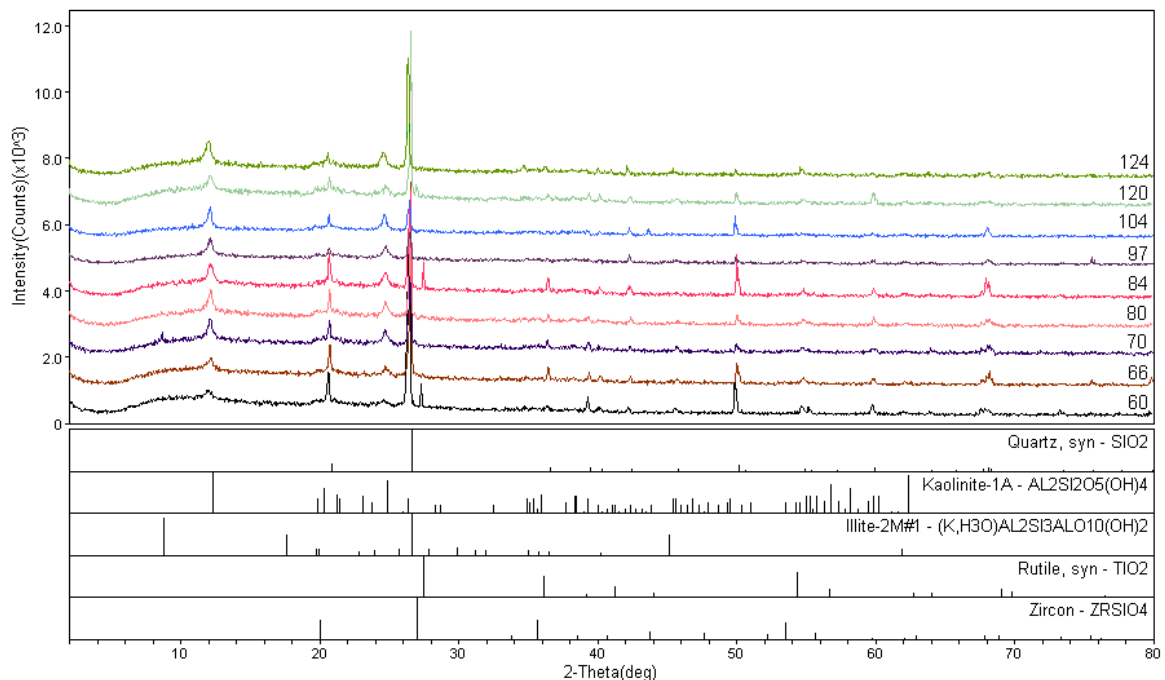


Figura 6.2.3.1.1: Difractometria de Raios-X para os solos da área de cultivo.

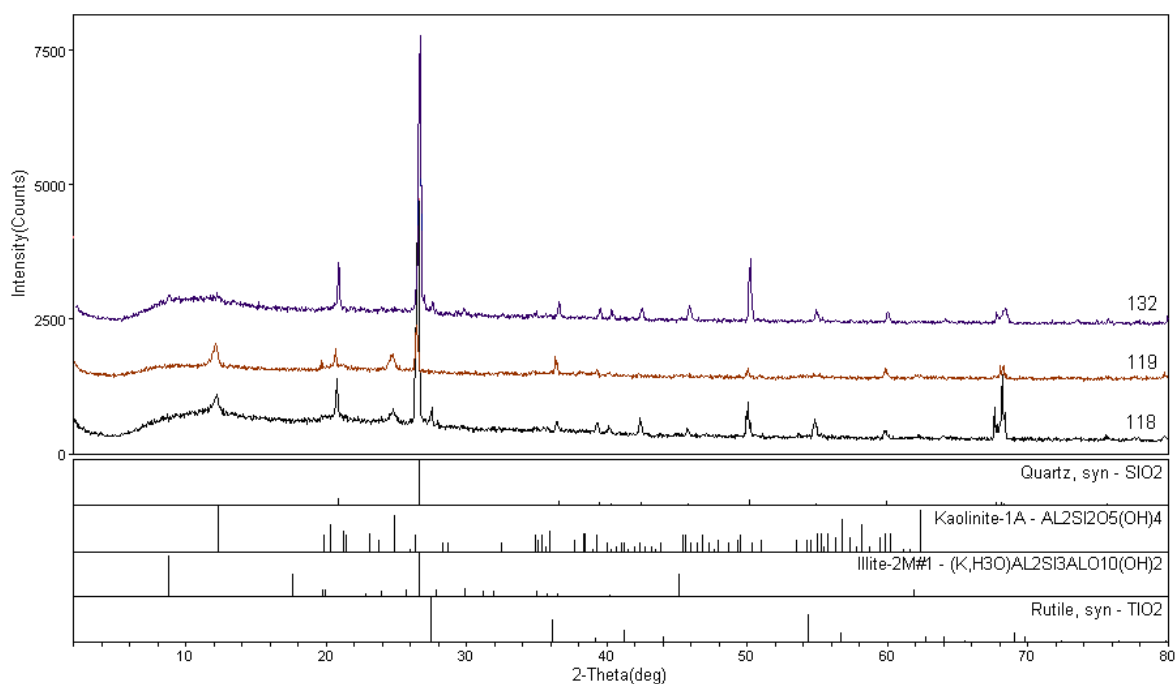


Figura 6.2.3.1.1: Difractometria de Raios-X para os solos fora da área de cultivo.

6.2.4 Análise química

As amostras para análise química foram coletadas em diferentes pontos da cultura, para verificar ou não, o acúmulo superficial de fertilizantes. As análises químicas, para as amostras de solo, consistiram na determinação de pH, MO, P, K, S, Ca, Mg, CTC, B, Zn, Fe Mn e Cu. Foram analisadas amostras de solo, num total de 12 amostras com aproximadamente 400g cada.

6.2.4.1. Conclusões Parciais das análises químicas

Os resultados das análises químicas do solo são apresentados em forma de tabela (Anexo V) e gráficos. Foi elaborado um gráfico para os macronutrientes mais abundantes Figura (6.2.4.1.1) e menos abundantes (Figura 6.2.4.1.2), para os micronutrientes (Figura 6.2.4.1.3) e também para pH e matéria orgânica (Figura 6.2.4.1.4).

Na Figura 6.2.4.1.1, observa-se uma característica decrescente para Ca e CTC. O elemento Mg representa uma exceção. As maiores concentrações de Ca em relação ao Mg, segundo Munoz Hernandez e Silveira (1998), estariam relacionadas ao fósforo adicionado a

cultura. De acordo com os autores, estudos indicam que a aplicação de P aumenta a concentração de Ca e diminuiu a de Mg, no solo. Duas outras explicações poderiam justificar a proporção $Ca > Mg$ para as amostras analisadas: Uma justificativa seria a aplicação de corretivo na área. Outra justificativa estaria relacionada à aplicação no solo ou pulverização na planta, devido, dentre as anomalias que afetam esta cultura, a podridão apical, resultante da deficiência de Ca (Matos, 1972; Plese *et al.*, 1998). Com relação às amostras obtidas fora da área de cultivo, observam-se valores semelhantes àqueles encontrados na área cultivada.

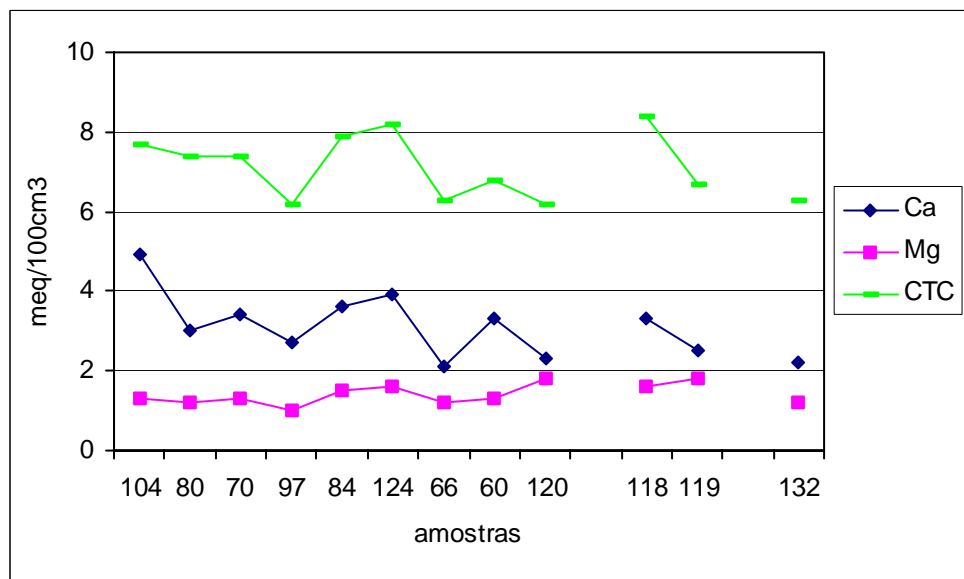


Figura 6.2.4.1.1: Variação nos teores de Ca, Mg e CTC dentro e fora da área cultivada (vide localização das amostras na Figura 6.2.2. p.59).

De acordo com a Figura 6.1.4.2, é possível observar a mesma característica decrescente observada no gráfico anterior. A exceção neste gráfico, está no K, que apresenta uma característica crescente com um pico para a amostra 120. Observa-se a partir do gráfico, que os dois picos mais altos estariam relacionados a amostras da área do PD. Esse aumento pode estar relacionado com o local coletado, que pode ter sido uma das covas onde o elemento é jogado diretamente.

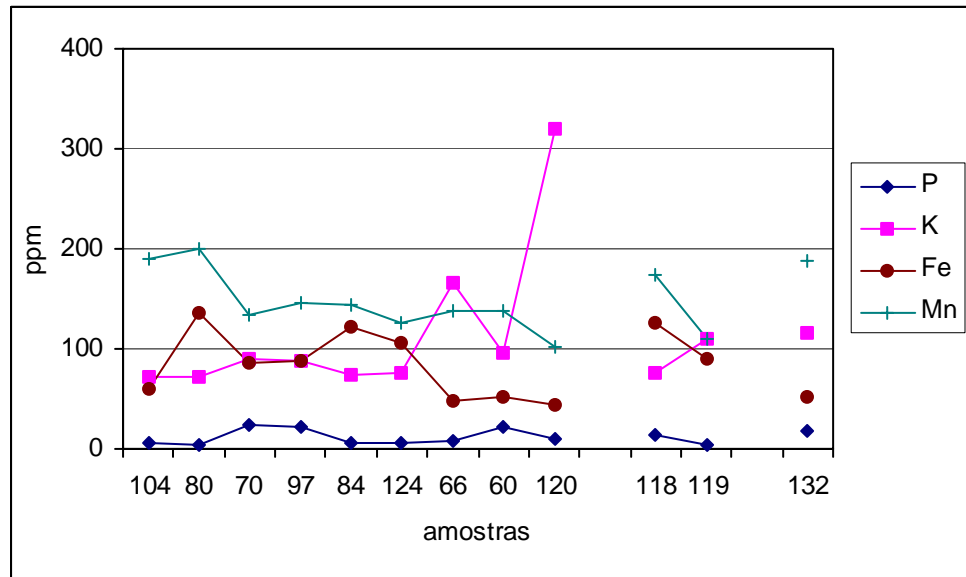


Figura 6.2.4.1.2: Variação nos teores de K, Fe e Mn dentro e fora da área cultivada (vide localização das amostras na Figura 6.2.2. p.59).

O gráfico onde são apresentados os elementos S, B, Zn e Cu (Figura 6.2.4.1.3), também apresenta uma característica decrescente. No entanto, observam-se alguns picos mais elevados para os elementos S e Zn. De acordo com diversos autores, o incremento do S e do Zn, estaria relacionado com o uso intensivo de substâncias químicas na agricultura (superfosfato para S e NPK para o Zn), que somado a elevadas perdas por erosão contribuem para alterar o equilíbrio do agroecossistema e propiciar um acúmulo dos elementos nos solos. Por outro lado, as características químicas e físicas do solo, integradas com as propriedades químicas e físicas dos agrotóxicos irão determinar a persistência do mesmo no solo ou seu transporte para o meio ambiente (Ramalho. 1996; Fayad *et al.*, 2002; Zalidis *et al.*, 2002; Amaral Sobrinho *et al.*, 1992).

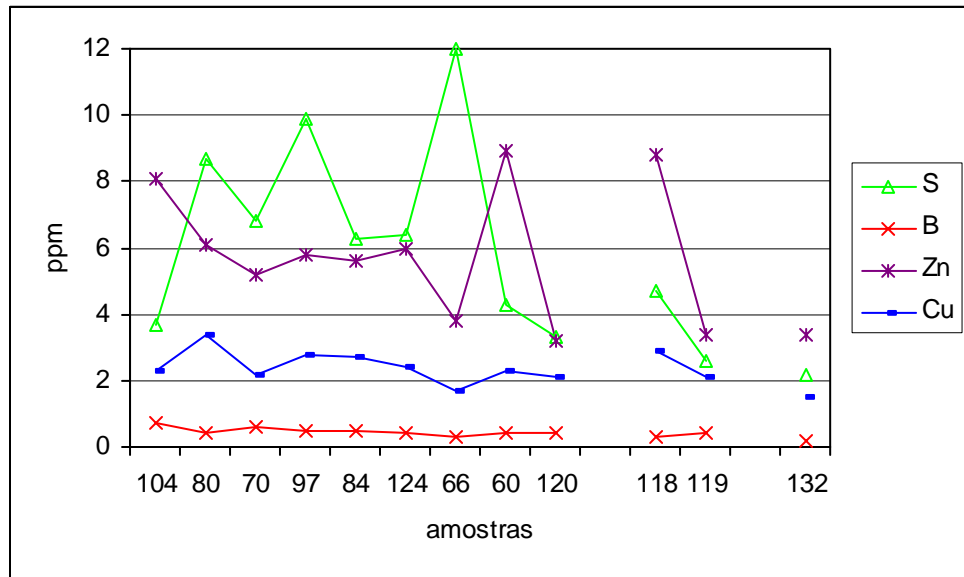


Figura 6.2.4.1.3: Variação nos teores de S, B, Zn e Cu dentro e fora da área cultivada (vide localização das amostras na Figura 6.2.2. p.59).

A Figura 6.1.4.4, apresenta solos levemente ácidos. A MO obedece à mesma característica decrescente dos demais gráficos apresentados. Quanto ao pH, observa-se também uma tendência crescente na área do PD, que pode estar relacionada à aplicação de corretivos num passado recente. Deve ser lembrado que o PD neste local foi implantado a cerca de três anos. Segundo Malavolta (1976), quando um solo recebe calcário, verifica-se a elevação do pH e o aumento no teor de K na solução do solo.

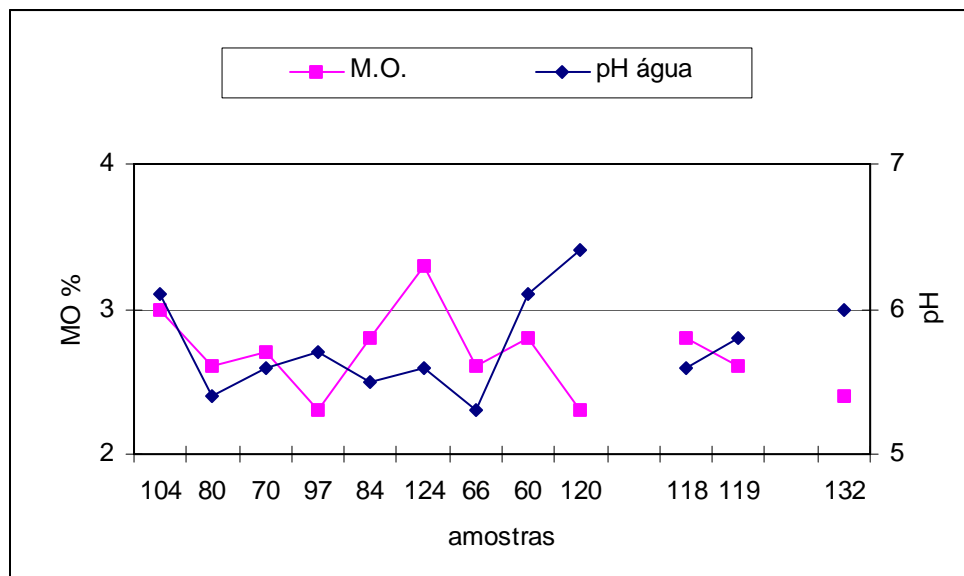


Figura 6.2.4.1.4: Variação no teor de MO e pH dentro e fora da área cultivada. (vide localização das amostras na Figura 6.2.2. p.59).

6.3 Integração da gamaespectrometria com as demais variáveis do solo

A partir dos estudos realizados foi possível concluir que todos os resultados são concordantes entre si. A parcela que apresenta maior CTC coincide com a que mostra as maiores concentrações de MO e solos de característica mais argilosa. À medida que se caminha em direção a leste da plantação, observa-se a redução de argila na ordem de 10% (Figura 6.3.1). Esse solo de característica menos argilosa coincide com a área onde são menos abundantes os elementos U e K. Além da análise granulométrica, efetuou-se também a determinação do teor de umidade presente nas amostras coletadas. Os valores de umidade foram plotados contra os de argila+silte, observando-se uma relação diretamente proporcional (Figura 6.3.2). Trata-se de um resultado esperado, visto que a redução da textura tende a causar um aumento na retenção de umidade.

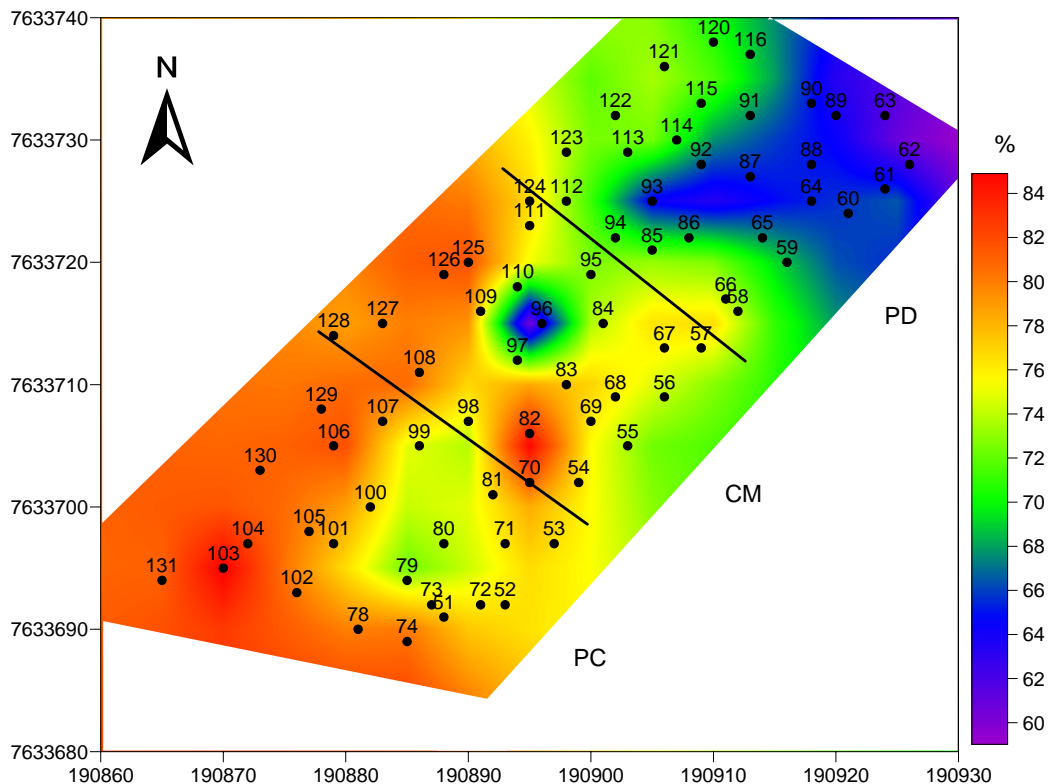


Figura 6.3.1: Distribuição espacial dos teores de argila+silte na área cultivada.

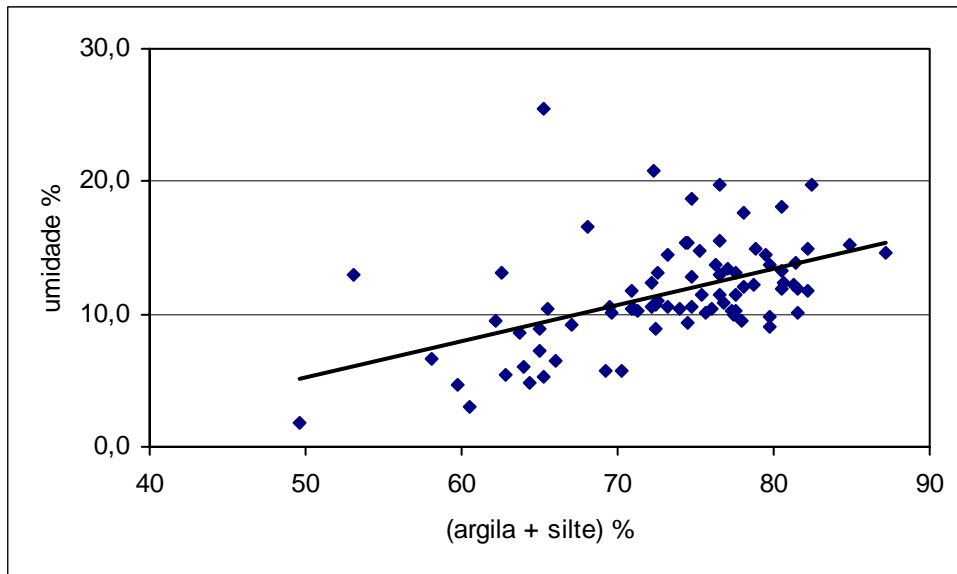


Figura 6.3.2: Teores de umidade *versus* argila+silte.

A Figura 6.3.3, mostra em gráfico o comportamento dos três radionuclídeos dentro e fora da área de cultivo. A partir desse gráfico, pode-se observar que os menores valores para os elementos U e K estão concentrados na parcela de PD. Enquanto que para o elemento Th, na parcela de CM.

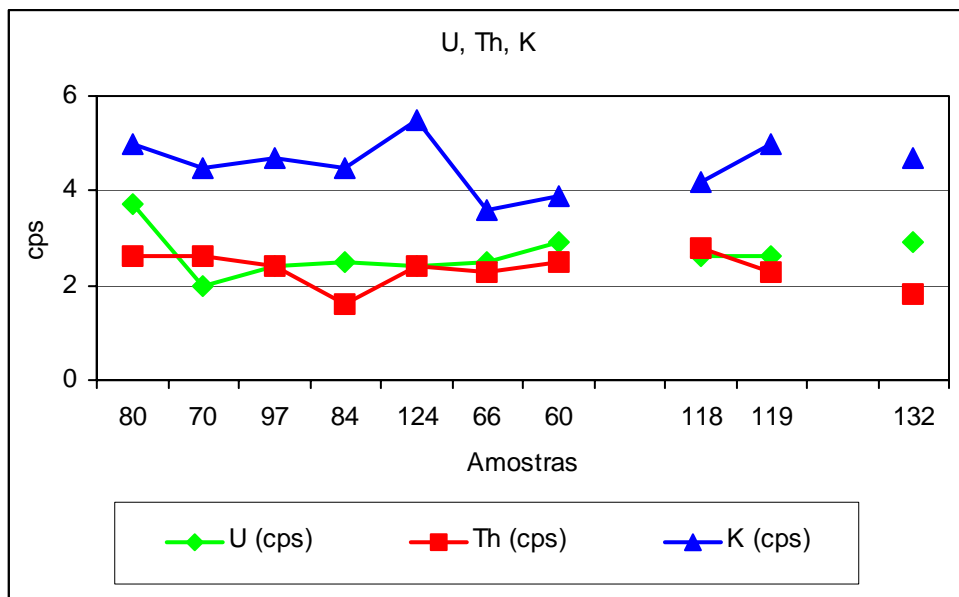


Figura 6.3.3: Comportamento de U, Th e K dentro e fora da área de cultivo (vide localização das amostras na Figura 6.2.2. p.59).

A partir das medidas obtidas com o gamaespectrômetro portátil, foi possível correlacionar as contagens encontradas na área de cultivo, com a área não cultivada (determinada para branco) e os valores referentes aos radionuclídeos nos fertilizantes medidos (superfosfato simples e NPK). As médias destes valores são apresentadas na Tabela 6.3.1.

Tabela 6.3.1: Médias das contagens de U, Th K e CT para a área cultivada, não cultivada, rocha, fertilizantes utilizados na plantação em estudo. AC (a norte), AB (a sul).

Amostra	U (cps)	Th (cps)	K (cps)	CT (cps)
PC	2,7	2,4	4,6	53,5
CM	2,7	2,4	4,4	54,1
PD	2,7	2,5	4,3	53,1
AC	2,6	2,5	5,2	57,2
AB	2,7	2,4	4,4	53,5
Fert SS	3,8	3,2	6,6	76,4
Fert NPK	3	3	5,9	61,8
Rocha	3,2	3,2	4,9	64

Os resultados apresentados na Tabela 6.3.1, indicam que os fertilizantes utilizados na área cultivada, apresentam contagens de radionuclídeos maiores que os observados nas parcelas PC, CM e PD, além das áreas AC e AB. Dos fertilizantes analisados, neste estudo, o superfosfato simples, foi o que apresentou as maiores concentrações de radioelementos. Vários autores atribuem a presença de radionuclídeo, em especial o U, aos fertilizantes derivado de rochas fosfatadas. De acordo com Rothbaum *et al.* (1979), durante a preparação do fertilizante superfosfato, o U permanece como sulfato de uranila e sulfato uranoso, ambos solúveis em água. Os teores encontrados na rocha, indicam que o material de origem dos solos da área estudada, apresenta contagens maiores que os encontrados nos solos. Os solos das parcelas cultivadas e o solo considerado como branco apresentaram características muito próximas de radionuclídeos, sendo possível diferenciá-los com limitações.

Os dados observados estariam indicando que os solos estão perdendo os radioelementos do material de origem a partir de processos pedogenéticos. O intemperismo existente na área estaria exercendo um papel crítico na concentração dos radioelementos como justificam Dickson e Scott (1997) e Wilford *et al.* (1997).

Indicativo do intemperismo atuante naquele local é a presença do quartzo e da caulinita como os minerais mais frequentemente encontrados nas amostras, conforme mostram os difratogramas.

Para algumas amostras, os dados das análises químicas não apresentaram resultados esperados. Este fato pode estar relacionado com o tipo de amostragem realizada na área, que por sua vez poderia estar mascarando uma situação real (alto K na química e baixo na gama). Um fato que se faz importante para um melhor entendimento dos resultados, é o conhecimento do histórico da área.

Com o intuito de complementar as análises anteriores e melhor diferenciar os três tipos de manejo na área cultivada, efetuou-se uma análise de grupos. A análise de grupos é uma técnica que procura estabelecer grupos dentro de um conjunto maior de objetos (Davis, 1986). A análise foi realizada com os valores padronizados de argila+silte, CT, K, U e Th e interpolados com célula de 2,5 metros. O número de grupos é definido pelo analista. Neste caso, efetuaram-se testes usando 2, 3, 4 e 5 grupos. Somente com 5 grupos foi possível obter uma divisão da área cultivada em três segmentos, os quais poderiam estar refletindo os diferentes tipos de manejo. O resultado dessa análise é mostrado na Figura 6.3.4.

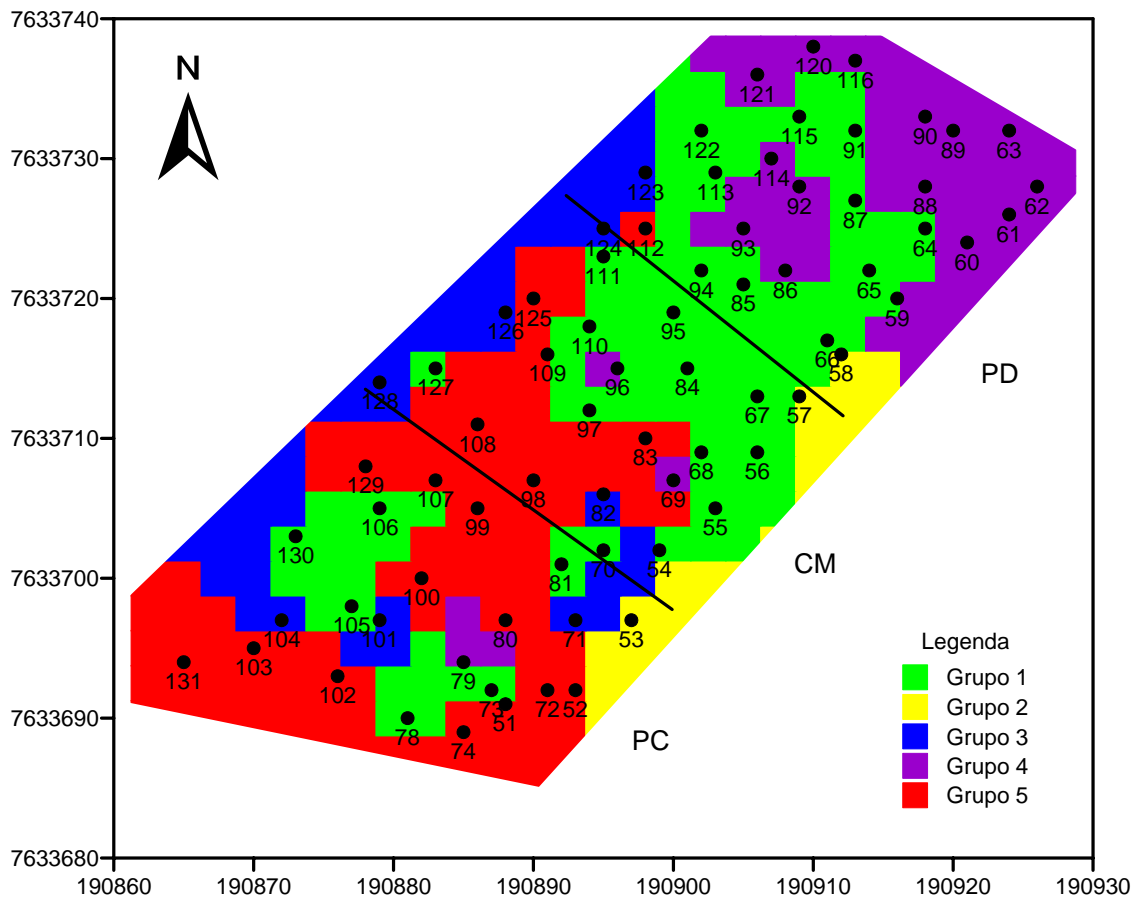


Figura 6.3.4: Imagem da análise de grupos da área cultivada.

Na figura 6.3.4, observam-se três grupos principais (4, 1, 5) e dois grupos de menor importância (2 e 3). A principal variável que pode justificar a existência destes grupos é a textura. Além da textura, as variáveis radiométricas também foram empregadas na geração desta imagem, e, portanto também exercem influência.

Correlacionando as figuras 6.3.4 e 6.3.1, conclui-se que o grupo 5 (vermelho) corresponde à região mais argilosa. De forma semelhante, o grupo 4 (violeta) corresponde à região menos argilosa. O grupo 1 (verde) corresponde à uma condição textural intermediária.

Fazendo agora uma correlação entre as figuras 6.3.4 e 6.2.2.1.4, conclui-se que o grupo 3 (azul) corresponde às áreas mais radioativas, enquanto o grupo 2 (amarelo) corresponde às áreas menos radioativas.

Em princípio, associa-se o grupo 4 (violeta) ao PD, o grupo 1 (verde) ao CM e o grupo 5 (vermelho) ao PC. Contudo, o mais correto é fazer a associação entre os grupos e o efeito combinado da radiação gama e da textura. Deste modo tem-se o grupo violeta representando uma área menos argilosa e menos radioativa. O grupo verde representando condições intermediárias de textura e de radioatividade. Os grupos vermelho e azul correspondendo a condições mais argilosas e mais radioativas. Finalmente, o grupo amarelo corresponde a condições texturais intermediárias e radioativas baixas.

O fato dos grupos azul e vermelho mostrarem condições semelhantes em relação às imagens de CT e de textura não implica que sejam idênticas. As leituras das outras variáveis, de forma independente também foram empregadas na elaboração da imagem dos grupos. A imagem do Th, por exemplo mostra altos valores na borda noroeste da área de cultivo, e estes valores podem estar levando ao surgimento do grupo azul.

*“Nenhuma abundância de recursos resiste ao impacto de uma exploração sem retorno.”
(Paulo Nogueira Neto)*

7 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

7.1 Gamaespectrometria Aérea

O processamento dos dados radiométricos aéreos da BHRSD, possibilitou o entendimento do *background* regional para os radioelementos U, Th e K. Esse fato é significativo, uma vez que 90 % da BHRSD está inserida em um município agrícola.

Foi possível observar que os quatro mapas radiométricos guardam semelhanças entre si. Percebe-se que o mapa do canal do K é bem dividido em três segmentos. São observados a leste e oeste altos valores do elemento, enquanto na porção central, destaca-se uma zona de baixos valores, onde melhor aparece a segmentação de *trend* NS. Esse fato pode estar sugerindo a presença de uma outra litologia com menos K, que as unidades presentes nas demais porções da bacia, não fornecendo grande contribuição do radioelemento para a zona central. O mapa do canal do U apresenta valores mais elevados a oeste que correspondem à segmentação mostrada no mapa do K e também regiões de altos valores a leste embora não divida a área em três segmentos como o mapa do K. Já no mapa do Th, a feição que mais chama a atenção é uma região de baixos valores que corresponde aos limites de alto/baixo K e alto/baixo U. Na parte leste, também ocorrem altos valores à semelhança do que se observa no mapa do K. O mapa de CT apresenta altos valores a oeste, correspondente com a segmentação NS observada nos mapas de U e K. Na porção a leste também se observam valores mais elevados, coincidindo com as anomalias positivas apresentadas pelos mapa do Th e K.

De acordo com o mapa de solos elaborado na escala 1:50.000, as unidades de borda da área foram cartografadas, tanto a nordeste como a sudeste como afloramento rochoso. Por outro lado, a porção central foi cartografada, principalmente, como argissolos (70% da BHRSD) e ao longo dos cursos de água como gleissolos. Contudo, não se observa correlação entre as unidades de solo e a segmentação observada nos mapas radiométricos. Observando-se o mapa elaborado na escala 1:10.000 para a sub-bacia BB, percebe-se a presença de uma classe que não aparece mencionada no mapa elaborado para a BHRSD, o nitossolo. Nitossolos e argissolos guardam características muito próximas, sendo possível

sua diferenciação através de análises físicas que conferem ao argissolo característica mais argilosa no horizonte Bt. A presença de um domínio de nitossolos a montante e a jusante, e de argissolos na porção central da BHRSD justificaria a anomalia de baixos valores existente, uma vez que os argissolos são solos pouco mais intemperizados que os nitossolos.

No MDT, os níveis de cinza mais escuros referem-se às porções mais elevadas do terreno sobre o qual adicionou-se o *layer* de drenagens. Este modelo mostra acentuadamente a planície aluvionar do rio São Domingos, que de acordo com o mapa de solos encontra-se associada uma classe de solo, o Gleissolo.

Comparando o MDT com o mapa de solos, observa-se que as áreas de altos topográficos são justamente as áreas que aparecem no mapa de solos como afloramento rochoso. Nos mapas radiométricos, principalmente o Th exhibe valores mais elevados. As áreas de depressão, com exceção das porções a montante (para o K e o U) e jusante (para o Th e o K) do rio São Domingo, são as que apresentam valores mais reduzidos dos três radioelementos, acentuando-se mais o canal do K. Na porção a montante e a jusante do da BHRSD, observa-se um incremento do elemento K. Supõe-se que essas anomalias positivas sejam provenientes da contribuição do K da rocha mãe e de materiais oriundos de transporte e deposição do elemento.

Os mapas radiométricos indicam um elevado grau de intemperismo, com atividades mais intensas na zona central da BHRSD. A imagem do K mostra baixos valores do elemento na porção central. Isto sugere forte lixiviação. Segundo Dickson e Scott (1997) a geomorfologia e o intemperismo numa determinada área exercem um papel importante na distribuição das concentrações dos radioelementos na superfície. De acordo com Wilford *et al.* (1997), o radioelemento K é geoquimicamente móvel e solúvel na maioria das condições de intemperismo, o que indica que esse radioelemento pode estar sendo lixiviado para maiores profundidades por fluxo superficial. No entanto para uma melhor interpretação dos radioelementos no solo, é necessário que haja um entendimento maior dos processos intempéricos locais.

A integração com os dados fisiográficos permitiu estabelecer o papel de cada fator na distribuição dos radioelementos no município de São José do Ubá. Fato esse que contribuirá para um monitoramento de áreas agrícolas, com vistas a otimizar recursos, por meio de um melhor manejo de adubos, bem como proteger o meio ambiente. No entanto, devido à ausência de informações mais detalhadas dos fatores físico-químicos, não foi

possível correlacionar com maior precisão a presença de zonas de diferentes situações intempéricas na área. Para isso, sugere-se:

- Fazer um levantamento de solos, mais detalhado, buscando associar diferentes solos para a parte central da BHRSD, visto que os mapas radiométricos não apresentaram boa correlação com o mapa de solos existente;
- Fazer um levantamento aerogamaespectrométrico de alta resolução para a BHRSD;
- Instalar estações pluviométricas ao longo da BHRSD, de forma a identificar zonas de diferentes aspectos climáticos;
- Fazer um levantamento gamaespectrométrico terrestre, para a BHRSD, com material de profundidades maiores que 30 cm. Este levantamento teria o objetivo de verificar concentrações mais elevadas dos radionuclídeos, o que poderia indicar na região um processo de lixiviação para subsuperfície.
- Processar os dados de magnetometria, com o objetivo de descobrir uma possível estrutura de *trend* NS na parte central da BHRSD, a qual não está cartografada no mapa geológico existente.

7.2 Gamaespectrometria Terrestre

A integração com as diferentes variáveis do solo analisado permitiu a interpretação do comportamento dos radionuclídeos U, Th e K na área estudada. Os estudos mostram uma concordância de todos os resultados. A parcela PC, que apresenta maior CTC coincide com a mesma onde se observa as maiores concentrações de MO e solos de característica mais argilosa.

A área do PD apresenta característica menos argilosa que os outros dois manejos, com uma redução de argila na ordem de 10%. Esse solo de característica menos argilosa coincide com a área onde os elementos U e K são menos abundantes. Além de menos úmida, o que seria esperado, visto que a redução da fração argila, tende a causar uma redução na retenção de umidade.

Os resultados apresentados por meio da caracterização do solo confirmaram que os três procedimentos de defloculação são coerentes. Para o granulômetro a Laser, concluiu-se que o equipamento pode oferecer agilidade e precisão nos ensaios granulométricos.

Além de apresentar outra vantagem, que é a utilização de uma mesma amostra para o ensaio com e sem o uso do ultra-som. Contudo, para o nitossolo, o equipamento foi muito mais eficiente como desagregador de areia e pouco eficiente como desagregador de silte. O que confere ao equipamento, para o solo analisado, pouca eficiência no processo de desaglutinação por ondas de ultra-som. Sendo assim, o nitossolo apresentou maior facilidade de desaglutinação no procedimento químico.

Não foi possível observar grande diferenciação com base na radiometria para os três diferentes manejos, o que pode estar relacionado com a falta de conhecimento do histórico da área. Contudo, é de se esperar que ao longo do tempo, mantendo-se as mesmas características de plantio, possa se observar melhor a diferenciação radiométrica entre as parcelas.

Um dos aspectos mais importante neste trabalho envolveu a comparação entre os dados radiométricos coletados em rocha e no solo da plantação. Esta comparação indica que o U e o Th estão sendo lixiviados na ordem de 20%. Em contrapartida, o K apresenta taxas de lixiviação menores, cerca de 10%. Interpretou-se esta menor taxa de queda devido ao emprego dos fertilizantes na plantação. Os números aqui apresentados confirmam a interpretação da existência de zona de lixiviação realizada nos dados aéreos. Essa lixiviação pode ser uma das possíveis causas para a necessidade da grande quantidade de aplicação de fertilizantes na região.

O estudo aqui apresentado mostra que é possível a utilização da gamaespectrometria para fins de identificação e monitoramento de processos pedogenéticos e de agricultura na região do noroeste do estado do Rio de Janeiro. Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se:

- Realização de monitoramento radiométrico na plantação estudada com a realização de levantamentos de 6 em 6 meses, visando melhor definir o processo de lixiviação na região, bem como verificar ao longo do tempo a possível influência dos diferentes tipos de plantação;
- Aplicar essa abordagem em outras áreas da BHRSD;
- Coletar solos em profundidades maiores, nos diferentes tipos de manejo, para saber se os radionuclídeos estão se depositando em camadas mais profundas;
- Fazer análise de água de forma a confirmar a lixiviação dos elementos aplicados na cultura.

“A sabedoria não se transmite. É preciso que a gente mesmo a descubra depois de uma caminhada que ninguém pode fazer em nosso lugar, e que ninguém nos pode evitar. Porque a sabedoria é uma maneira de ver as coisas.” (Proust)

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. NBR 6508: Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação de Massa Específica. Rio de Janeiro, 8 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. NBR 7181, Método de Ensaio de Solo- Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 13 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1986. NBR 6457, Método de Ensaio: Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro, 9 p.

Adams J. A. & Gasparini P. 1970. Gamma-Ray Spectrometry of Rocks. Elsevier Publ. Co., New York. Elsevier. 295 p

AGRIANUAL. 2006. Anuário da Agricultura Brasileira. Instituto FNP, 504 pp.

Almeida F. F. M. de., Hasui Y., Brito Neves B. B. de., Fuck R. A. 1981. *Brazilian Structural Provinces: An Introduction*. Earth-Sci. Reviews, 17:1-21.

Almeida F. F. M. de., Hasui Y., Brito Neves B. B. de., Fuck R. A. 1977. *As Províncias Estruturais Brasileiras*, In: SBG, Simpósio Geológico NE, 8, Atas, p.363-391.

Amaral Sobrinho N. M. B., Costa L. M., Oliveira C., Velloso A. C. X. 1992. *Metais Pesados em alguns Fertilizantes e Corretivos*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 16:271-276.

Aranha P. R. A., Augustin C. H. R. R. Sobreira F. G. 2002. *The Use of GPR for Characterizing Underground Weathered Profiles in the Sub-Humid Tropics*. ELSEVIER, Journal of Applied Geophysics, 49: 195-210.

Arshad, M. A.; Martin, S. 2002. *Identifying Critical Limits for Soil Quality Indicators in Agro-Ecosystems*. ELSEVIER, Agriculture, Ecosystems and Environmental, 88:153-160.

Bacchi O. O. S., Reichardt K., Oliveira J. C. M., Nielsen D. R. 1998. *Gamma-Ray Beam Attenuation as an Auxiliary Technique for the Evaluation of the Soil Water retention Curve*. Sci Agrícola, Piracicaba, v.55, 3: 498-502.

Barreto A. B. da C., Monsorens A. L. M., Leal A. de S., Pimentel J. 2000. *Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro*. In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília. CPRM. Ministério de Minas e Energia. 59 p.

Barreto E. E. da S., Bruno G. B., Oliveira A. P. de., Lima E. D. P. de A., Lima C. A. de A., Bruno R. L. A. 2001. *Características Químicas de Frutos de Tomateiro Adubado com Esterco Suíno e Fertilizantes*. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 19: 276.

Barreto E. E. da S., Bruno G. B., Oliveira A. P. de., Bruno R. L. A. 2001. *Rendimento do Tomateiro em Decorrência de Doses de Esterco Suíno e Fertilizantes*. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 19: 276.

Becegato V. A. 2004. *Integração de dados Multifonte para Determinação do Grau de Concentração dos Elementos Radioativos (U, Th e K) em Solos Agrícolas Oriundos das Formações Serra Geral e Caiuá no Noroeste do Estado do Paraná*. Exame de Qualificação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Paraná, 48 p.

Blum M. L. B. 1999. *Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 380 p.

Brady N., Weil, R. R. 1996. *The Nature and Properties of Soils*. 11. ed. New York, Prentice-Hall, 740 pp.

Bonomo R. A. V., Barbosa K. de A., Churata-Masca M. G. C. *Efeito de Doses Crescentes de Termofosfato Associados a Nitrogênio e Potássio, via Convencional e em Fertirrigação, na Produção de Tomate de Crescimento Determinado, para Mercado*. 2001. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 19:288.

Calderano Filho B., Chagas C. da S., Prado R. B., Perez D. V., Gonçalves A. O., Souza J. S. de. 2006. *Levantamento Semidetalhado dos Solos da Microbacia do Barro Branco, no Município de São José de Úba, Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Boletim de Pesquisa, Embrapa Solos, (no prelo).

Carvalho L. M. M. 2006. *Integração de Dados de Geofísica Aérea Aplicada à Geologia e à Prospecção Mineral no Distrito Esmeraldífero de Itabira-Ferros, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 178 p.

Carvalho Filho A. de., Lumbreras J. F., Santos R. D. dos. 2000. *Os solos do estado do Rio de Janeiro*. In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília. CPRM. Ministério de Minas e Energia. 59 p.

Carvalho G. A., Parra J. R. P., Baptista G. C. de. 1999. *Ação Residual de Alguns Inseticidas Pulverizados em Plantas de Tomateiro Sobre Duas Linhagens de Trichogramma pretiosum Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Under Greenhouse*. Revista Ciência e Agrotecnologia, 23:770-775.

Cézar L. 2001. *Horticultura do tomate e a Organização do Território em São José de Ubá – Noroeste Fluminense*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 135 p.

CIDE – Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro. 1997. *Território do Estado do Rio de Janeiro*. CIDE, 80 p.

Cunha Filho E. M. da. 2004. *Contribuição Aerogeofísica para a Geologia e Avaliação do Potencial Mineral da Região de Januária-Itacarambí-Montovânia (MG)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 141 p.

Dantas M. E. 2000. *Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro*. In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília. CPRM. Ministério de Minas e Energia. 59p.

Davis J. C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, 646 pp.

Dickson B. L., Fraser S. J., Kinsey-Henderson. 1996. *Interpreting Aerial Gamma-Ray Surveys Utilising Geomorphological and Weathering Models*. ELSEVIER, Journal of Geochemical Exploration, 57:75-88.

Dickson B. L. & Scott K. M. 1997. *Interpretation of Aerial Gamma-ray Surveys- Adding the Geochemical Factors*. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17:187-200.

DRM – Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. 2004. *Mapeamento Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos*. Rio de Janeiro, DRM, Versão preliminar.

Ebbing D. D. 1998. *Química Geral*. 5. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos editora S.A. 569 pp.

Elias E. A. 2004. *Equations Gamma – Ray Attenuation Systems With Beam Directed Vertically, Along Gravitational Field*. Revista de Agricultura, 79:169 - 176.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 1997. *Manual de Métodos de Análise de Solos*. Brasília: Embrapa Produção da Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212 pp.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação do Solo*. Brasília: Embrapa Produção da Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 pp.

Fayad J. A., Fontes P.C.R, Cardoso A. A., Finger F. L., Ferreira F. A. 2002. *Absorção de Nutrientes pelo Tomateiro Cultivado sob Condições de Campo e de Ambiente Protegido*. Horticultura Brasileira, Brasília 20:90-94

Ferreira C. R. do C., Laterra E. F., Menezes P. de T. L., Fontes S. L., Roig H. L. 2005. *Prospecção Geométrica em Aquíferos Fissurais: Estudo de Caso em São José de Ubá (RJ)*. In: 9 CIBGF, Salvador. CD-ROM 9 CIBGF. 2005. v. 1, p. 1-5.

Fidalgo E. C. C. & Abreu M. B. de. 2005. *Uso de Imagens ASTER para o Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, RJ*. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, p. 3747-3753.

Gonçalves A. O., Fidalgo E. C. C., Bastos C. L. 2006. *Caracterização Climática do Município de São José de Ubá - RJ*. Rio de Janeiro, Boletim de Pesquisa, Embrapa Solos (no prelo).

Gomes, M. J. da S. 2003. *Utilização de Métodos Geofísicos em Sambaquis Fluviais, Região do Vale do Ribeira de Iguape – SP/PR*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Letra e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 135 p.

GRS – 500. 1997. *Operations Manual*. Scintrex Limited, 2:1-50.

Guimarães, E.M. 1999. *Difratometria de Raio-X*. XXVII Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Brasília, 49 p.

Horsfall, K. R. 1997. *Airborne Magnetic and Gamma-ray Data Acquisition*. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17: 23-30.

IAEA. 2003. *Guidelines For Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 173 p.

IBGE, 2000. *Sinopse Preliminar do Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE.

Kiehl E. J. 1979. *Manual de Edafologia*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 262 pp.

Kogan D. B., Nazarov I. M., Fridman S. D. 1969. *Gamma-Spectrometry of Natural Environments and Formations. Theory of the Method Applications to Geology and Geophysics*. Atomizdat, Moskva (Reprinted in English in Israel Program for Scientific Translations). Jerusalém, 1971, 337 p.

Lange A. 2002. *Palhada e Nitrogênio Afetando Propriedade do Solo e Rendimento de Milho em Sistema de Plantio Direto no Cerrado*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Agronomia, Universidade de Federal de Lavras, 148 p.

Lepsch I. F. 2002. *Formação e Conservação dos Solos*. Oficina de Textos, São Paulo, 178 pp.

Lumbreras J. F., Naime, U. J., Motta, P. E. F., Palmieri F., Carvalho Filho A. de., Baruqui A. M., Calderano S. B., Fidalgo E. C. C., Moreira D. M., Abreu M. B. de. 2006. Solos da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, Municípios de São José de Ubá e Itaperuna – RJ. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1 CD ROM.

Manso E. A. 1999. *Análise Granulométrica dos Solos de Brasília pelo Granulômetro a Laser*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 113 p

Malavolta E. 1976. *Manual de Química Agrícola*. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 528 pp.

Malvern Instruments. 1997. *Sample Suspension Unit Manual*. England.

Manual de Adubação. 2000. *Fertiliza: O Adubo em Ação*. São Paulo, 80 pp.

Matos J. K. de. 1972. *A Podridão Apical em Tomate*. Cerrado, 5. 17:20

Matta L. E. S. de C. 2001. *Aspectos Radiológicos Ocupacionais Relacionados à Presença de Radionuclídeos Naturais em Estações de Extração e Produção de Petróleo*. Tese de Doutorado, Instituto de Pós Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 67 p.

Mello S. C. & Vitti G. C. 2002. *Desenvolvimento do Tomateiro e Modificações nas Propriedades Químicas do solo em Função da Aplicação de Resíduos Orgânicos, Sob o Cultivo Protegido*. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 20:200-206

Menezes, J. M. 2005. Hidrogeoquímica da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá/RJ. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 176 p

Metternicht G. I. & Zinck J. A. 2003. *Remote Sensing of Soil Salinity: Potentials and Constraints*. ELSEVIER, Remote Sensing of Environment, 85:1-20.

Minty B.R.S. 1991. *Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data*. Expl. Geoph. 22:591-592.

Minty B. R. S. 1997. *Fundamentals of Airborne Gamma-Ray Spectrometry*. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17:39-50.

Minty B. R. S., Luyendyk A. P. J., Brodie R. C. 1997. *Calibration and Data Processing for Airborne Gamma-ray Spectrometry*. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17:51-62.

Moliner G. R., Aguiar C. S. de., Souza N. M. de., Carvalho J. C. de. 2003. *Análise Granulométrica por Sedimentação e com Emprego do Granilômetro a Laser*. I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos erosivos no Centro-Oeste, p. 187-194.

Munoz Hernandez R. J., Silveira R.I. 1998. *Efeitos da Saturação por Bases, Relações Ca:Mg no Solo e níveis de Fósforo sobre a produção de Material Seco e Nutrição Mineral do Milho*. Sci Agrícola, Piracicaba, v.55, 1.

Nascimento C. T. C. 2003. *Resistividade Elétrica e Radiação Gama Natural no Estudo de Solos sob Cerrado Nativo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 111 p.

Netto L. F. 2000. *Feira de Ciências*. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala23/23_MA05.asp>. Acesso em 14 jun. 2005.

Nunes M. U. C. 2001 *Efeito da Aplicação de Biofertilizante e Outros Produtos Químicos e Biológicos, no Controle da Broca Pequena do Fruto e na Produção do Tomateiro Tutorado em Duas Épocas de Cultivo e Dois Sistemas de Irrigação*. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 19:53-58.

Peixoto J. R., Silveira A. A. da., Mattos J. K. A. de. 2001. *Efeito da Adubação Química na Qualidade do Tomateiro cv Bonnus*. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 19:274.

Perez, H. 2001. *A Radiatividade*. Disponível em: <http://fisica.usac.edu.gt/public/tesis_lic/hector_p/node1.html>. Acesso em 15 jun. 2005.

Pessini, M. M. O. 2003. *Resíduos de Acetamiprid e Thiamethovam em Tomate Estaqueado (Lycopersicon Esculentum Mill), em Diferentes Modalidades de Aplicações*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo Piracicaba, 71 p.

Pessoa G. R., Aguiar C. S. de., Carvalho J. C. de. 2003. *Uso do Granulômetro a Laser como Ferramenta da Análise da Estabilização dos Solos*. I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos erosivos no Centro-Oeste, Brasília, p. 201-206.

Peruzzo T. M. & Canto E. L. do. 1993. *Química na Abordagem do Cotidiano, Físico-Química*. 1. ed. São Paulo, editora Moderna. v.2, 470 pp.

Plese L. P. M. 1998. *Efeitos das Aplicações de Cálcio e de Boro na Ocorrência de Podridão Apical e Produções de Tomates e Estufa*. Sci Agrícola, Piracicaba, 55:1.

Prado I. D. M. do., Souza N. M. de., Gurjão C. M. C. 2003. *Uso do Granulômetro a Laser para Análise Granulométrica da Fração passante na peneira #40 de Solos Tropicais*. I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos erosivos no Centro-Oeste, Brasília, p. 194-200.

PRODETAB. 2003. *Planejamento Conservacionista das Terras e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevo Acidentado*. Projeto PRODETAB AQUÍFEROS – CÓDIGO 087-02/01

Pozdnyakova L., Pozdnyakov A., Zhang R. 2001. *Application of Geophysical Methods to Evaluate Hydrology and Soil Properties in Urban Areas*. ELSEVIER, Urban Water, 3:205-216.

Raij B. V. 1991. *Fertilidade do Solo e Adubação*. São Paulo, Ed Agronômica Ceres. 343 pp.

Ramalho J. F. G. F. 1996. *Metais Pesados em Solos com Diferentes Usos Agrícolas no Estado do Rio de Janeiro*. Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 209 p.

Rebello A. M. A. de. 2000. *Processos Supergênicos na Distribuição de Radônio em Paisagens Tropicais Úmidas*. Curitiba. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 209 p.

Resende M., Curi N., Rezende S. B. de., Corrêa G. F. 1999. *Pedologia: Base Para Distinção de Ambientes*. Viçosa, NEPUT, Minas Gerais, 3, 338 pp.

Rigoti A. 2001. *Exploração Geofísica por Métodos Magnetométricos*. ADIMB, Universidade Federal do Paraná. 52 p.

Rothbaum H. P., McGaveston D. A., Wall T., Johnston A. E., Mattingly G. E. G. 1979. Uranium Accumulation in Soils from Long-Continued Applications of Superphosphate. *Journal of Soil Science*, 30:47-153.

Roza S., Moccia S. M., Ribaudó C., Chiesa A., Frascina A. 2001. *Sistemas Hortícolas Sustentables: Uso de Biofertilizantes em la Obtención de Plantas de Tomates “Cherry”*. *Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira*, 19:246.

Sardella A. 1997. *Curso de Química, Físico-Química*. 17. ed. São Paulo, editora Ática. v.2, 407 pp.

Santos P. C. V. 1996. *Estudo da Contaminação de Água Subterrânea por Percolado de Aterro de Resíduos – caso Jockey Club – DF*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 133 p.

Santos P. R. Z., Pereira A. S., Freire C. J. S. 2001. *Cultivar e Adubação NPK na Produção de Tomate Salada*. *Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira*, 19:35-38.

Saunders D. F. & Potts M. J. 1976. *Interpretation and Application of High-Sensitivity Airborne Gamma-ray Spectrometer Data*. In: *Exploration for uranium ore deposits*. Proc Series. Vienna, Austria : IAEA, p. 107-125.

Silva S. R., Alvarez V. H., Ferreira A. S., Martins L. G. C. 2004. *Resposta do Sorgo à Adubação Fosfatada com FOSMAG, nas Formas Granulada e Moída, e Superfosfato Triplo, em Dois latossolos de Minas Gerais*. *Revista CERES, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais*, v.L1, n.296, p.511-520.

Silva Filho R. S. 2005. *Metodologias de investigação da potencialidade de aquíferos Fraturados Bacia do Rio São Domingos – RJ*. Monografia, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 62 p.

Silva J. B. C., Santos R. A., Delgado I. M., Cunha H. C. C. 2000. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro. In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília, CPRM. Ministério de Minas e Energia. 59 p.

Silva J. B. C. da. & Magalhães J. S. 2001. *Curva da Absorção de Nutrientes por Tomate Industrial*. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 19:215.

Silva L. F da. 1995. *Solos tropicais: Aspectos Pedológicos, Ecológicos e de Manejo*. São Paulo, editora Terra Brasilis, 137 pp

Silveira A. A. da., Peixoto J. R., Mattos J. K. A. de. 2001. *Efeito da Adubação Química na Produtividade do Tomateiro cv Bonnus*. Revista da Sociedade de Olericultura do Brasil, Horticultura Brasileira, 19:274.

Souza J. L. 1998. *Anomalias aerogamaespectrométricas (K, U e Th) da quadrícula de Araras (SP) e sua relação com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 218 p.

Stepniewski W., Horn R., Martyniuk S. 2002. *Managing Soil Biophysical Properties for Environmental Protection*. ELSEVIER, Agriculture, Ecosystems and Environmental, 88:175-181.

Tabbagh A., Dabas M., Hesse A., Panissod P. 2000. *Soil Resistivity: A Non-Invasive Tool to Map Soil*. ELSEVIER, Geoderma, 97:393-404.

Thiessen K. M., Thorne M. C., Maul P. R., Pröhl, G., Wheeler H. S. 1999. *Modelling Radionuclide Distribution and Transport en the Environment*. ELSEVIER, Environmental Pollution, 100:151-177.

Vasconcellos R. M., Metelo M. J., Motta A.C., Gomes R. D. 1994. *Geofísica em Levantamentos Geológicos no Brasil*. Rio de Janeiro, CPRM, 172 pp.

Vaz C. M. P., Naime J. M., Macedo. A. 1999. *Soil Particle Size Fractions Determined by Gamma-Ray Attenuation*. *Soil Science, Baltimore*. 6:403-410.

Vieira L. S. 1988. *Manual da Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 2ª Edição, 464 pp.

Teixeira G. 2002. *Aqui, o Brasil Também Pode Ser Campeão Mundial*. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/texto/rev25/9.htm>>. Acesso em: 31 maio. 2005.

Teixeira W., Toledo M. C. M., Fairchild T. R., Taioli F. (Orgs.). 2000. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 557 pp.

Wilford J. R., Bierwirth P. N., Craig M. A. 1997. *Application of gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and geomorphology*. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17:201-216.

Zalidis G., Stamatiadis S., Takavakoglou V., Eskridge K., Misopolinos N. 2002. *Impacts of Agricultural Practices on Soil and Water Quality in the Mediterranean Region and Proposed Assessment Methodology*. *ELSEVIER, Agriculture, Ecosystems and Environmental*, 88:137-146 .