



Número: 345/2005
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Pós - Graduação em Geociências

Área de Metalogênese

INGRID PADILLA RODRÍGUEZ

**AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE DOSES DE RADIAÇÃO GAMA E
MODELAGEM CARTOGRÁFICA DAS ESTATÍSTICAS DE ÓBITOS POR
NEOPLASIAS NA REGIÃO CENTRAL DE CUBA**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos
requisitos para obtenção do título Doutor em Ciências

Orientadora: Prof^aDra. Elisabete M. Pascholati

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto – 2005

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

P134a Padilla Rodríguez, Ingrid.
Avaliação das taxas de doses de radiação gama e modelagem cartográfica das estatísticas de óbitos por neoplasias na região central de Cuba / Ingrid Padilla Rodríguez.-- Campinas, SP.: [s.n.], 2005.

Orientador: Elisabete Maria Pascholati
Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Geofísica - Cuba. 2. Geologia - Cuba. 3. Processamento de imagens. 4. Espectrometria de raios gama. 5. Saúde ambiental. 6. Sistemas de informação geográfica. 7. Tumores. I. Pascholati, Elisabete Maria. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em inglês: Evaluation of the gamma radiation dose rates and cartographic modeling of the death statistics by neoplasias in the central region of Cuba

Keywords: - Geophysics - Cuba;
- Geology - Cuba;
- Image processing;
- Gamma ray spectrometry;
- Environmental health
- Geographic information system;
- Tumors.

Área de concentração: Metalogênese

Titulação: Doutor em Ciências

Banca examinadora: - Elisabete Maria Pascholati;
- Fernando Brenha Ribeiro;
- Eduardo Mello de Capitani;
- José Marcos Pinto da Cunha;
- Bernardino Ribeiro de Figueiredo.

Data da defesa: 26/08/2005



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Pós - Graduação em Geociências

Área de Metalogênese

AUTORA: INGRID PADILLA RODRÍGUEZ

**AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE DOSES DE RADIAÇÃO GAMA E
MODELAGEM CARTOGRÁFICA DAS ESTATÍSTICAS DE ÓBITOS POR
NEOPLASIAS NA REGIÃO CENTRAL DE CUBA**

ORIENTADORA: Prof^aDra. ELISABETE MARIA PASCHOLATI

Aprovada em: _____/_____/_____

EXAMINADORES:

Prof^aDra. ELISABETE MARIA PASCHOLATI _____ **-Presidente**

Prof Dr. EDUARDO MELLO DE CAPITANI _____

Prof Dr. FERNANDO BRENHA RIBEIRO _____

Prof Dr. JOSÉ MARCOS PINTO DA CUNHA _____

Prof Dr. BERNARDINO RIBEIRO DE FIGUEIREDO _____

Campinas, 26 de Agosto – 2005

Esta tese é dedicada a meus pais Raúl e Nieves e a minha irmã Liliana, que embora longe, sempre estiveram perto de meu coração com seus exemplos de vida e amor. É dedicada também a minha maravilhosa filha Anaily que sempre me passou a maior força em momentos de fraqueza com o maior carinho, ela que com a sua juventude tem sido para mim exemplo de coragem e dignidade na luta por alcançar um amanhã com maior qualidade de vida e liberdade.

AGRADECIMENTOS

A minha pequena e unida família, por todo o amor e apoio espiritual que me tem dado em todo momento, embora à distância.

A meus pais em especial pelo exemplo constante de vida, e o traspasso dos valores morais, sociais e espirituais, que são os maiores bens que possuo e me orgulho.

A minha irmã Liliana, nosso sobrinho Raully e a Raisia, a nossa médica e amiga Sari, por garantir, na retaguarda, toda a atenção e carinho a nossos amados pais e, em seu momento, a minha filha, ações todas inesquecíveis.

A Irene, minha mãe brasileira (*in memoriam*) pelo carinho e afeto sinceros, aos meus vizinhos e amizades mais próximas, Cíndira, Inês amiga, Maria Amélia e família por ter me brindado sua amizade sincera e a possibilidade da partilha familiar, Mafalda e Pedrinho exemplo de casal e bondade, Ruth pela amizade e partilha familiar, e as Irmãs do Sagrado Coração de Jesus pelas orações e suporte espiritual; especialmente lembrarei sempre o afeto e partilha da Irmã Ivonne.

A Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati pela orientação, apoio material e espiritual que tem ido além da amizade, compensando os duros momentos de saudades com o desfrute e a cálida partilha na companhia da linda família Pascholati, em especial de seus filhos Gabi e Leo.

A CAPES pela bolsa de estudos como suporte financeiro da pesquisa.

Aos professores: Profa. Dra. Elisabeth Mateus Yoshimura - IF/USP; Prof. Dr. Eduardo Mello de Capitani - FCM/UNICAMP; Prof. Dr. Bernardino Ribeiro de Figueiredo - IG/UNICAMP pelas contribuições na banca de qualificação.

Ao professor Dr. Ardemírio de Barros Silva - IG/ UNICAMP, ao Dr. José M. Fillipini - IG/ UNICAMP e ao professor Roberto Luiz do Carmo - NEPO/ UNICAMP pelas oportunas sugestões.

Ao professor Dr. Álvaro Penteadó Crósta (IG - UNICAMP), pela gentil escuta e apoio.

Aos professores do Instituto de Geociências (UNICAMP), pelo ensino e afeto nestes anos.

A todos das secretarias de Pós-Graduação, pelo gentil apoio e eficiente atendimento, em especial a nosso verdadeiro anjo Valdirene Pinotti, a ativa Edinalva e a doce Helena.

Aos funcionários da biblioteca do IG, em especial Márcia, Cássia e Dora.

Aos funcionários do IG, em especial Juarez, Mauricia, Aníbal e o motorista Rinaldo.

Aos analistas Moacir Cornetti, Ricardo Campos e Paulo Ferreira, este último sempre brincando com meu sotaque.

A Rigoberto pelo afeto de amigo-irmão, e suas oportunas dicas e sugestões para uma melhor estância e convivência, longe de casa.

Ao todos os meus colegas do IG, ao casal Solange e Barata sempre prontos a ajudar e oferecer um sorriso, Bienvenido colega e compatriota amigo, exemplo de partilha e solidariedade como bom camarada, Juliana Bueno sempre sorridente e amigável, Alexandre, Sergião, William sempre com histórias engraçadas ou tristes de sua terra sofrida, a Jose “granola” por seu amor a natureza e partilha, sempre amável e serviçal, Cleyton amigável e carinhoso, Juliano Sena, Julianinho e Irian, Rosmary, Rodrigo, César, Gustavo, Vagney, Ricardo sempre gentil, aos colegas argentinos Diego e esposa, a Jimena sempre comunicativa e animada, Rafael e Carol casal jovem cheio de boas idéias, a Juliane menina simpática e dedicada que me deu apoio e carinho de filha quando mais o necessitei, a Fabianne, pela sua amizade e alento constante, inesquecível porque apesar de sua juventude é exemplo de mãe dedicada e perseverante sem limites para alcançar seus altos objetivos. A todos vocês, grata pelos bons momentos compartilhados.

A todos meus colegas do Instituto de Geologia e Paleontologia (IGP) em Cuba, em especial Lenia Montero, Roly, Dora, Chuchu, Leo, Enriquito, Pantaleón, Petrus, Tony Oviedo, Roberto Sánchez, Betty Rodríguez, Mabel e sua meia laranja, Pardo, colega e amigo, e Jorge L. Chang, grata pelo apoio.

A meus bons afetos e amigos do Laboratório Central de Minerais (LACEMI) em Cuba, Natalia, Lecsy, Angelina, Lilá, Mercy, Maria, graças mil a todos vocês pela força e o alento constante.

A direção técnica do IGP pela liberação da base de dados aerogeofísicos.

A direção técnica do Departamento de Estatísticas do Ministério da Saúde (MINSAP) pela liberação das estatísticas sobre doenças cancerígenas da região central de Cuba.

A direção técnica do Instituto de Planejamento Físico (IPF) de Cuba pelas orientações à liberação do conteúdo do Acordo No. 3 808, do Decreto-Lei No. 147 estadual vigente e as suas dependências provinciais, por ter cedido os dados censitários da região central de Cuba pela mediação inestimável de meu amigo e colega José Vázquez .



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS - GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE DOSE DE RADIAÇÃO GAMA E
MODELAGEM CARTOGRÁFICA DAS ESTATÍSTICAS DE ÓBITOS POR
NEOPLASIAS NA REGIÃO CENTRAL DE CUBA**

RESUMO

TESE DE DOUTORADO

Ingrid Padilla Rodríguez

O estudo desenvolvido visa avaliar as taxas de doses de radiação gama, na região central de Cuba, explorando as possibilidades do levantamento aerogeofísico na caracterização radiogeoquímica e mapeamento geólogo - estrutural do meio ambiente numa área de aproximadamente 16.500 km². Adicionalmente, é propósito dispor de resultados que contribuam ao estabelecimento de uma linha base ambiental, baseado no background da radiação gama terrestre, de grande interesse para o sistema de vigilância radiológica nacional.

As estatísticas sobre óbitos por neoplasias do tipo tumores sólidos na região central de Cuba, a qual apresenta o segundo lugar nas ocorrências de casos no país, induz à seguinte hipótese para a pesquisa: “a radiogeoquímica desses ambientes geológicos poderia gerar taxas de doses de radiação gama correlacionáveis aos resultados estatísticos obtidos para a população dos vinte e sete municípios envolvidos?”.

Com este fim, foram modeladas, analisadas estatisticamente e interpretadas, as variáveis geólogo-geofísicas independentes, de relevo, epidemiológicas e censitárias num ambiente SIG sobre as populações envolvidas, para estabelecer uma possível relação com a taxa de dose estimada para a região central de Cuba. Este procedimento revelou uma razoável representatividade da diversidade geológica do meio ambiente, vinculando-a aos casos registrados e probabilisticamente esperados na população.

A geologia na região é representada por vários ambientes: as unidades da margem continental da plataforma das Bahamas (Jurássico Superior - Cretáceo Superior), os ofiolitos

Mesozóicos com imbricações das rochas do arco de ilha Vulcânico do Cretáceo (AVC), a cobertura neo-plataformal Cenozóica, as metavulcânicas da fácies xisto verde e os anfíbolitos na divisa com as várias unidades lito-tectônicas (Jurássico Inferior - Cretáceo Superior) do Terreno metamórfico Escambray.

As principais análises basearam-se no processamento e na interpretação dos dados gamaespectrométricos aéreos. Embora os contrastes dos teores obtidos sobre os litotipos e as estruturas, sejam sutis as diversidades do ambiente geológico é mapeada com clareza. Através da cartografia como um todo, e das componentes principais, em particular, pode-se reconhecer a correlação das concentrações Th-U, com relativa predominância do primeiro no platô litorâneo e parcialmente, nas bacias frontais e superpostas ao AVC e nos sedimentos recentes.

Observam-se mudanças nos teores de potássio proporcionalmente ao conteúdo de sílica nas rochas ácidas e intermediárias - ácidas, ultrapassando levemente 3,0 %, nos plagiogranitos na divisa do AVC com o complexo Mabujina e, muito localmente, nos sedimentos do Terciário. Os teores Th - U atingem níveis relativamente maiores e anômalos nos sedimentos continentais da plataforma das Bahamas, setor que contém biodetríticos com fosfatos, baixas concentrações residuais de zircônio, monazita e/ou elementos componentes das terras raras, os quais ficaram possivelmente retidos, apesar da movimentação nos processos exógenos, mas sem interesse para a mineração. Embora misturado com as rochas do AVC, a extensa faixa de ofiolitos é reconhecida pelos baixos níveis dos radioelementos. Também foram mapeadas a faixa de acrescência e sutura entre as rochas metamórficas do Terreno Escambray e o Complexo Mabujina, no limite norte, com as rochas do AVC. Existem evidências também de algumas diferenças geomorfológicas na formação de solos e sua relativa movimentação nos córregos e rios da região.

Os dados aeromagnéticos foram processados e interpretados como método complementar para a cartografia estrutural e a validação das origens e locação das fontes gamaespectrométricas na seção, a distribuição dos sedimentos da margem continental, a cartografia dos limites tectônicos, as zonas de sutura marginal e de acrescência do Terreno metamórfico Escambray, dos principais sistemas, Cubano (NW - SE) e Banao (N - S e o SW - NE), além da anisotropia da atual configuração geólogo - estrutural.

Os elementos estruturais e litotipos da região central de Cuba, foram pela primeira vez caracterizados detalhadamente através dos valores médios das concentrações de atividade e das taxas de dose absorvidas, a 1 m sobre a superfície do terreno. Para a ampla área abrangida pelos sedimentos recentes da cobertura neo-plataformal obteve-se um valor médio da taxa de dose absorvida de 16 nGy. h⁻¹, enquanto para os sedimentos continentais da plataforma das Bahamas, considerados os maiores valores médios, atingiu-se 34 nGy. h⁻¹ na Zona Placetas; entretanto, as unidades do Terreno metamórfico Escambray caracterizam-se por um valor médio de 29 nGy. h⁻¹. Ao serem comparadas pela semelhança em área, a bacia frontal com a bacia intramontana passiva meridional, a primeira apresenta uma taxa média de dose absorvida de 21 nGy. h⁻¹, e a segunda de 18 nGy. h⁻¹, enquanto, as bacias Cienfuegos, Santo Domingo e Cabaiguán, cuja área quase dobra em relação à da bacia meridional, apresentam uma taxa média de dose absorvida de 15 nGy. h⁻¹. Também são sutis as mudanças nos valores médios das taxas de dose absorvida para os litotipos do AVC e a sua cobertura, e levemente superiores para os intrusivos que os originam, ficando o conjunto por volta de 19 nGy. h⁻¹, comparável aos valores dos anfíbolitos e das rochas do Escambray.

Obteve-se para toda a região, um valor médio ponderado da contribuição à taxa de dose da componente terrestre em exteriores (*outdoor*) de 22,0 nGy.h⁻¹, que embora baixa, pode ser

incluída no intervalo típico mundial da grandeza (10 nGy.h^{-1} - 200 nGy.h^{-1}) que não ultrapassa os níveis de *background* (resultado favorável para a saúde).

Os resultados obtidos para as taxas de dose nos solos através da aerogamaespectrometria são comparáveis aos apresentados nas escassas publicações existentes. Destacaram também, que não existe um reflexo direto aparente entre os níveis médios para a taxa de dose efetiva anual estimada na região central de Cuba, com a distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças cancerígenas estimadas pelas estatísticas de Saúde. Estatística esta que, pela primeira vez, é expressa e analisada espacialmente, através de um modelo cartográfico, "Modelo de Objetos", proposto na escala regional 1:100 000.

Múltiplas causas podem se vincular à controversa doença, como a idade avançada da população cubana, quando comparada a dos países desenvolvidos, as relacionadas aos hábitos sócio-culturais (consumo de tabaco e a ingestão de bebidas alcoólicas), o stress que vive a população e a deposição de resíduos orgânicos das indústrias e da agricultura, sobre os quais se tem comprovado "internacionalmente" danos ao meio ambiente. A informação regional que disponibiliza esta pesquisa pode servir de suporte a outras que, localmente, intentem relacionar os núcleos de maior densidade populacional aos fatores citados, no intuito de aprofundar os estudos interdisciplinares que abrangem a Geomedicina, para o melhor conhecimento da relação homem - ambiente na região.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS - GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**EVALUATION OF THE GAMMA RADIATION DOSE RATES AND
CARTOGRAPHIC MODELING OF THE DEATH STATISTICS BY
NEOPLASIES IN THE CENTRAL REGION OF CUBA**

ABSTRACT

TESE DE DOUTORADO

Ingrid Padilla Rodríguez

This study developed in the central part of Cuba, attempted to evaluate a gamma radiation dose rate, exploring the airborne geophysical survey possibilities in order to obtain a radio-geochemical characterization and the geological - structural mapping of environment for an area of about 16.500 km². Besides, to dispose through this research, of results that contribute to the establishment of the environmental base line, based on the background of the gamma terrestrial radiation and its possible relationships in the context, is interest for the system of surveillance national radiological.

The statistical data about deaths for neoplasies of the type solid tumors in the region, the one which presents the second one place of occurrences of cases in the country, it induces the following hypothesis: “could be those environment be able to generate gamma radiation dose rates correlated with the statistics facts, that reach the population of the twenty-seven involved municipal districts?”

With this intent, several independent landscape variables (geological, geophysical, physiographic, epidemiologic ones and related to the population's census), were modeled and analyzed using GIS, in order to establish a possible relationship with the mean value about the dose rate estimated in the central region. This procedure provided a reasonable representation of the environmental geological diversity, linking it to current cases incidences and expected probabilistic, in the population.

The geological diversity in the area is composed by the units of the margin of the Bahamas continental platform (Upper Jurassic - Upper Cretaceous), for the Mesozoic ophiolites, partially blended and superimposed for the volcanic rocks of the arch of islands Cretaceous (CVA), for the Cenozoic Neo-platform cover, for the meta - volcanic rocks of green schist facies and amphibolites in the limits with the litho-tectonic units (Lower Jurassic - Upper Cretaceous) of the metamorphic Escambray Terrain.

As a basic method, were processed and interpreted the gamma spectrometric data survey, in which the main analyses were based. Although the subtle contrasts among obtained on the lithotypes and structures, the changes in the varied geological environment were clearly mapping. Through the whole cartographies and from the principal components (CP)'s, in particular, are recognized the correlation between Th - U concentrations with relative prevalence of the first, in the littoral strip and partially, in the frontal basins, in the superimposed basins to CVA and in the recent sediments.

It was also observed the low potassium concentration in proportionally to the silica content in the acid and intermediary - acid rocks, slightly surpassing 3,0% over the plagiogranitic rocks in the proximities of the northern limits with the Mabujina Complex and very locally among into the Tertiary sediments. The continental sediments of the Bahamas platform is characterized for overcome the medium concentrations levels of Th - U, which could be considered anomalous levels for the area, proportionally to content of biotrititic sediments with phosphate, low residual zirconium and monazite concentrations and others elementary components, possibly retained, in spite of the exogenous processes, but without mining interest. Although mixed with the CVA rocks, the extensive ophiolites strip is mapping for the low levels of all radio elements. It was mapping too, the increased strip and its sutures with the CVA rocks in the northern limits between metamorphic Escambray Terrain and the Mabujina Complex. There are evidences too of some regional geomorphologic differences, in order to the soils formation and its relative movement for the local rivers.

The airborne magnetic data was processed and interpreted as complementary method for the structural cartography and the validation of the origin and location of the gamma spectrometric sources in the section, the distribution of the sediments of the continental margin, the cartography of the tectonic limits, zones of marginal suture and increased of the metamorphic Escambray Terrain, the main systems, Cuban (NW - SE), Banao (N - S) and SW - NE, besides the anisotropy of the current geologist - structural constructions.

For the first time in the central region of Cuba, the structural elements and lithotypes were characterized in detail by mean values of activity concentrations and were estimated absorbed dose rates to 1 m above the surface of terrain. For the wide area embraced by the recent sediments of the neo-platform cover was obtained for the absorbed dose rate a mean value of 16 nGy. h⁻¹; meanwhile, for the continental sediments of the Bahamas platform, considered the largest mean values, it reached for the Placetas Zone 34 nGy. h⁻¹. Nevertheless, the litho-stratigraphic units of the metamorphic Escambray Terrain were characterized by a mean value of 29 nGy. h⁻¹. When being also compared by the likeness in the embracing areas, the frontal basin with the southern superimposed passive intramontana basin, in the first, a mean value for the dose absorbed rates reach 21 nGy. h⁻¹, while in the second one 18 nGy. h⁻¹. However, the basin Cienfuegos, Santo Domingo and Cabaiguán, almost together duplicate the area of the southern basin, their sediments are characterized by the less mean value for the dose absorbed rates reaching 15 nGy. h⁻¹. There were also estimated subtle the changes in the means values of the dose absorbed rates for the lithotypes of CVA and its cover and slightly superior for the intrusive ones that originate them, being representative for the group a means values about 19 nGy. h⁻¹;

this results are unexpectedly comparable with the amphibolites and the lithotypes of Escambray Terrain.

It was obtained for the whole area, a pondered mean value of the contribution dose rate of terrestrial component (outdoor) of $22,0 \text{ nGy.h}^{-1}$, value that nevertheless lower, it can be included in the world typical interval, $10 \text{ nGy.h}^{-1} - 200 \text{ nGy.h}^{-1}$, that non surpasses the background levels (favorable result for the health).

The results obtained for the dose rates in soils through the airborne gamma-ray spectrometric data are comparables to the scarce ones published. These shows too, doesn't exist an apparent direct reflex between the mean levels for the annual effective dose rate estimated in the central part of Cuba and the spatial distribution about the mortality rates for cancerous diseases estimated from the health statistics. This statistic is, the first time, expressed and spatially analyzed through a cartographic model, object model, as proposed in this research at the scale 1:100 000.

Multiples causes can be linked to the controversial illness, as the Cuban population's age, comparable to the developed countries, those related to the socio - cultural habits (consumption of tobacco and the ingestion of alcoholic drinks), the stress that the population live and the deposition of organic residues of industrial or agricultural wastes, in which cases have been proven damages to the environment.

The regional information that places to disposition this investigation, will be useful as support of other local investigation, that could be related to population's nucleus with the mentioned factors, with the purpose of deepening in the interdisciplinary studies that the Geomedicine embraces to increase the knowledge about the relationship man - environment.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| Agradecimentos | vii |
| Resumo | ix |
| Abstract | xiii |
| Índice | xvii |
| Lista de Figuras | xx |
| Lista de Tabelas e Anexos | xxii |
| | |
| Capítulo 1. Introdução | 1 |
| 1.1 - Aspectos gerais | 1 |
| 1.2 - Objetivos | 2 |
| 1.3 - Radiações na natureza | 2 |
| 1.4 - Localização da área de estudo | 10 |
| Capítulo 2. Geologia da região central de Cuba | 13 |
| 2.1 - Introdução | 13 |
| 2.2 - Síntese das características estruturais e estratigráficas | 13 |
| 2.2.1 - Paleo-Margem Continental | 14 |
| 2.2.2 - Bacias Frontais | 15 |
| 2.2.3 - Cinturão Ofiolítico | 15 |
| 2.2.4 - Arco Vulcânico Cretácico | 16 |
| 2.2.5 - Granitóides | 19 |
| 2.2.6 - Núcleo metamórfico (Terreno Escambray) | 20 |

| | |
|---|------------|
| 2.2.7 – Neo-Plataforma | 21 |
| 2.3 – Resumo sobre a evolução geológica da região | 22 |
| Capítulo 3. Processamento e resultados da Geofísica | 29 |
| 3.1 - Introdução | 29 |
| 3.2 - Previsão para os campos físicos | 31 |
| 3.2.1 - Espectrometria de raios gama | 31 |
| 3.2.2 - Magnetometria | 33 |
| 3.3 - Materiais e métodos | 34 |
| 3.3.1 - Materiais | 34 |
| 3.3.2 - Métodos | 35 |
| 3.3.2.1 - Aerogamaespectrometria | 38 |
| 3.3.2.2 - Aeromagnetometria | 40 |
| 3.4 - Espectrometria gama. Resultados e discussões. | 42 |
| 3.4.- Conceito de anomalia geofísica | 49 |
| 3.4.2 - Composições coloridas e mapas elaborados do levantamento aerogeofísico | 50 |
| 3.4.3 - Caracterização gamaespectrométrica dos principais litotipos e estruturas | 73 |
| 3.5 - Campo aeromagnético anômalo. Resultados e discussões | 87 |
| 3.5.1 - Espectro de potência, mapas elaborados e transformados do campo aeromagnético | 87 |
| Capítulo 4. Estimativa das taxas de doses de radiação gama | 101 |
| 4.1 - Introdução | 101 |
| 4.2 - Grandezas dosimétricas e níveis de proteção à saúde | 101 |
| 4.3 - Processos de transferência | 106 |

| | |
|---|------------|
| 4.4 - Estimativa das contribuições à taxa de dose das componentes de irradiação externa | 109 |
| 4.4.1 - Estimativa da contribuição da componente cósmica à taxa de dose efetiva | 115 |
| 4.4.2 - Estimativa da componente gama terrestre à taxa de dose efetiva | 133 |
| Capítulo 5. Meio Ambiente e Saúde | 149 |
| 5.1 - Introdução | 149 |
| 5.2 - Características sociais e econômicas | 152 |
| 5.3 - Paradigmas e modelos para o processamento da distribuição espacial de atributos epidemiológicos | 154 |
| 5.4 - Organização, classificação e modelagem dos atributos censitários e epidemiológicos | 159 |
| 5.5.- Expectativa sobre a espacialização das taxas de mortalidade | 183 |
| Capítulo 6. Conclusões | 201 |
| Capítulo 7. Referências Bibliográficas | 207 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1.1 Localização e fisiografia da região central de Cuba. | 11 |
| Figura 2.1 Mapa de traços estruturais e geológicos da região central de Cuba. | 25 |
| Figura 2.2 Mapa tectônico da região central de Cuba. | 27 |
| Figura 3.1 Mapa de contagem total ($\mu\text{R/h}$), interpolação pela técnica de mínima curvatura, região central de Cuba. | 45 |
| Figura 3.2 Mapa de contagem total ($\mu\text{R/h}$), interpolação pela técnica Kriging, região central de Cuba. | 47 |
| Figura 3.3 Mapa de teores de urânio (ppm), região central de Cuba. | 53 |
| Figura 3.4 Mapa de teores de tório (ppm), região central de Cuba. | 55 |
| Figura 3.5 Mapa de teores de potássio (%), região central de Cuba. | 57 |
| Figura 3.6 Mapa da razão dos teores K/Th e lineamentos tectônicos, região central de Cuba. | 59 |
| Figura 3.7 Mapa da razão dos teores Th/U e lineamentos tectônicos, região central de Cuba. | 61 |
| Figura 3.8 Mapa ternário (RGB), região central de Cuba, onde R - K; G - Th; B - U. | 63 |
| Figura 3.9 Mapa da primeira componente principal (CP1), região central de Cuba. | 67 |
| Figura 3.10 Mapa da segunda componente principal (CP2), região central de Cuba. | 69 |
| Figura 3.11 Mapa da terceira componentes principal (CP3), região central de Cuba. | 71 |
| Figura 3.12 Espectro radial de potência do campo magnético, região central de Cuba. | 89 |
| Figura 3.13 - Mapa do campo magnético anômalo, região central de Cuba. | 91 |
| Figura 3.14 Mapa do campo magnético reduzido ao pólo e lineamentos tectônicos, região central de Cuba. | 93 |
| Figura 3.15 Mapa da continuação para cima ($h = 2.000$ m) do campo magnético reduzido ao pólo e lineamentos tectônicos, região central de Cuba. | 95 |
| Figura 3.16 Mapa da continuação para cima ($h = 15.000$ m) do campo magnético anômalo reduzido ao pólo, região central de Cuba. | 97 |
| Figura 3.17 Mapa da derivada horizontal em X do campo magnético anômalo (sombreamento 45°) e lineamento tectônicos, região central de Cuba. | 99 |
| Figura 4.1 Caminhos possíveis de transferência dos radionuclídeos e doses aos seres vivos. | 107 |

| | |
|--|-----|
| Figuras 4.2 Componentes da taxa de dose de natureza cósmica na atmosfera. | 111 |
| Figura 4.3 Modelo digital de elevação (MDE), região central de Cuba. | 117 |
| Figura 4.4 Mapa de dose efetiva anual da radiação cósmica $E_{c\acute{o}smica}$. | 121 |
| Figura 4.5 Mapa da divisão político - administrativa em municípios, região central de Cuba. | 123 |
| Figura 4.6 Mapas esquemáticos da espacialização dos dados de população, ano base 1998 na região central de Cuba. Técnicas: (a) IDW; (b) Spline; (c) Atribuição de proximidade e reclassificação; (d) <i>Buffer</i> 's. | 127 |
| Figura 4.7 Mapa da taxa de dose efetiva anual em exteriores ($\mu\text{Sv}\cdot\text{ano}^{-1}$) da região central de Cuba. | 143 |
| Figura 4.8 Distribuição de freqüência das medições experimentais na estimativa das taxas de doses em interiores de imóveis nas cidades da Habana, Camagüey e Holguín na República de Cuba (<i>modificado de Danyl 1998</i>). | 145 |
| Figura 4.9 Mapa da taxa de dose efetiva total anual ($\mu\text{Sv}\cdot\text{ano}^{-1}$) da região central de Cuba. | 147 |
| Figura 5.1 Probabilidade de ocorrência de casos, região central de Cuba. | 161 |
| Figura 5.2 Casos de mortalidade nas províncias da região central de Cuba, segundo os códigos CID - 10, período 1988 - 2000. | 163 |
| Figura 5.3 Mapa das áreas de distribuição das populações rurais nos municípios, região central de Cuba. | 169 |
| Figura 5.4 Mapa da densidade de casos de doenças cancerígenas (casos/ km^2), região central de Cuba. | 171 |
| Figura 5.5 Mapa da densidade populacional urbana e rural (habitantes/ km^2), região central de Cuba. | 179 |
| Figura 5.6 Janelas da estimativa através da função <i>kernel</i> , da densidade casos de doenças cancerígenas (casos/ km^2) e da densidade populacional (habitantes/ km^2), em <i>buffers</i> sobre localidades da região central de Cuba. | 181 |
| Figura 5.7 Mapa da probabilidade de ocorrência de casos de neoplasias (ano 1998), baseado no modelo de Poisson, região central de Cuba. | 185 |
| Figura 5.8 Mapa da probabilidade de ocorrência de casos de neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos código (C30 - C39) (ano 1998), baseado no modelo de Poisson, região central de Cuba: a - total de casos; b - casos sexo feminino; c - casos sexo masculino; d - casos sexo masculino com 50 anos de idade e maiores. | 189 |
| Figura 5.9 Mapa das taxas de mortalidade de doenças cancerígenas, região central de Cuba. | 191 |
| Figura 5.10 Mapa da taxa de dose efetiva total anual ($\mu\text{Sv}\cdot\text{ano}^{-1}$) com destaque aos setores anômalos, em relação à distribuição das densidades de casos de óbitos registrados em núcleos urbanos dos municípios da região central de Cuba. | 197 |
| Figura 5.11 Mapa do relevo (sombreamento 45°) com destaque aos setores anômalos da taxa de dose efetiva total anual ($\mu\text{Sv}\cdot\text{ano}^{-1}$), a distribuição das densidades de casos de óbitos registrados em núcleos urbanos incertos na paisagem fisiográfica da região central de Cuba | 199 |

ÍNDICE DE TABELAS E ANEXOS

TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1.1 - Níveis recomendados como excluíveis do alcance do <i>International Commission on Radiological Protection</i> (ICRP). | 9 |
| Tabela 3.1 - Propriedades físicas dos principais litotipos da região central de Cuba. | 32 |
| Tabela 3.2 - Resultados estatísticos dos canais da espectrometria de raios gama. | 42 |
| Tabela 3.3 - Resultados estatísticos obtidos na aplicação de diferentes métodos de interpolação sobre os dados de contagem total ($\mu\text{R/h}$). | 43 |
| Tabela 3.4 - Autovetores das componentes principais de potássio, tório e urânio. | 66 |
| Tabela 3.5 - Principais formações e estruturas mapeáveis na região central. | 73 |
| Tabela 3.6 - Estatísticas da Contagem total (Ct) e teores de urânio (U) nas unidades geológicas da região central de Cuba. | 75 |
| Tabela 3.7 - Estatísticas dos teores de tório (Th) e potássio (K) nas unidades geológicas da região central de Cuba. | 81 |
| Tabela 4.1 - Fatores de ponderação da radiação. | 103 |
| Tabela 4.2 - Fatores de ponderação dos tecidos. | 105 |
| Tabela 4.3 - Mudanças na dose efetiva devido às contribuições dos radionuclídeos naturais distribuídos uniformemente na terra, de acordo com a idade. | 109 |
| Tabela 4.4 - Mudanças na dose efetiva devido às contribuições dos radionuclídeos naturais distribuídos uniformemente na terra, de acordo com a postura do corpo humano. | 109 |
| Tabela 4.5 - Taxas de dose efetiva anual da radiação de natureza cósmica $E_{\text{c}\acute{\text{o}}\text{s}\text{m}\text{i}\text{c}\text{a}}$. | 132 |
| Tabela 4.6 - Valores de meia-vida, massa molar e atividade específica dos isótopos ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th . | 137 |
| Tabela 4.7 - Coeficientes de conversão da concentração de atividade a dose absorvida para os isótopos ^{238}U , ^{232}Th e o isótopo ^{40}K . | 138 |
| Tabela 4.8 - Caracterização de elementos estruturais e rochas pelos valores médios das concentrações de atividade e taxas de dose absorvidas a 1 m acima da superfície do terreno, na região central de Cuba. | 140 |
| Tabela 4.9 - Semelhança entre a concentração de atividade e as taxas de dose absorvida a 1 m acima da superfície do terreno para alguns tipos de rochas. | 141 |
| Tabela 4.10 - Taxas de dose efetiva anual das radiações na região central de Cuba. Comparação com dados internacionais. | 142 |
| Tabela 5.1 - População das províncias da região central de Cuba. | 153 |
| Tabela 5.2 - Cálculo da probabilidade marginal das ocorrências de casos, segundo as províncias da região central de Cuba. | 161 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 5.3 - Caracterização dos casos por grupos etários, sexo e províncias. | 163 |
| Tabela 5.4 - Análise sumária do mapa da densidade de casos de doenças cancerígenas na região central de Cuba. | 175 |
| Tabela 5.5 - Valores dos parâmetros da distribuição de Poisson para os municípios das províncias Villa Clara, Cienfuegos e Sancti Spiritus, segundo os casos de óbitos do ano 1998. | 184 |
| Tabela 5.6 - Probabilidade de Poisson para as neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos código (C30 - C39), na região central de Cuba. | 187 |
| Tabela 5.7 - Tendências das taxas de mortalidade a das taxas de dose efetiva total anual, Villa Clara, Cienguegos e Sancti Spiritus. | 195 |

ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1 - a Estimativa parcial da população rural que mora na faixa ≤ 10 m do modelo digital de elevação (MDE) da região central de Cuba. | 225 |
| Anexo. 1 - b Estimativa da população municipal rural localizada nas faixas de altitude do modelo digital de elevação (MDE) da região central de Cuba. | 226 |
| Anexo 1 - c Distribuição da população urbana segundo as localidades e as faixas de altitude do MDE na região central de Cuba. | 228 |
| Anexo 2 - Classificação das ocorrências de casos de óbitos por neoplasias malignas, segundo o código CID - 10 (OPAS e OMS), sexo e meio. | 232 |
| Anexo 3 – Classificação internacional de doenças CID – 10(OPAS e OMS), neoplasias | 242 |

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 - ASPECTOS GERAIS

Com o objetivo de obter um maior conhecimento geológico do território cubano e unificar os resultados de estudos iniciados dois séculos atrás, foi realizado um levantamento aerogeofísico nacional (gamaespectrometria e magnetometria), como parte de programas de colaboração entre organismos cubanos e russos, desenvolvidos na década 1979 - 1990.

Do levantamento aéreo, executado na escala 1: 50.000, foram elaborados relatórios técnicos, cuja interpretação, na forma convencional, ajudou a melhorar o grau de estudo dos levantamentos geológicos precedentes, permitindo assim, direcionar algumas linhas de pesquisa do IGP (Instituto de Geologia e Paleontologia, República de Cuba) e iniciar a confecção do mapa geológico nacional na escala 1:100.000.

A diversidade e a complexidade dos ambientes geológicos na região central, que abrange uma área aproximada de 16.500 km², e é composta por rochas da Margem Continental da Plataforma das Bahamas (Jurássico Superior - Cretáceo Superior) (PMC), do Cinturão Ofiolítico (Jurássico), do Arco de Ilha vulcânico (Cretácico) (AVC), da cobertura sedimentar (Cenozóica) e do Terreno metamórfico Escambray (Jurássico - Cretácico), além de três bacias superpostas ao (AVC), requer um aprofundamento dos detalhes estratigráfico-estruturais, com base nos campos físicos medidos.

A abordagem do presente estudo na região central de Cuba, através da utilização das técnicas de processamento de imagens e dos sistemas de informação geográfica (*SIG*), pretende fornecer maior detalhe dos resultados anteriormente obtidos, baseados na informação geológica disponível e tentar, pela primeira vez, a integração interdisciplinar da pesquisa geólogo - geofísica, com dados sobre estatísticas médicas de óbitos por neoplasias ocorridos no período 1988 - 2000. A estatística médica coloca a região central de Cuba em segundo lugar entre aquelas afetadas por esse tipo de doença no país. Assim, esta pesquisa pretende contribuir na percepção social de possíveis riscos provocados pelos níveis de doses de radiação a que estão expostas as populações envolvidas, na tentativa de detectar a existência de possíveis relações entre campos físicos e taxas de mortalidade por neoplasias na região.

1.2 - OBJETIVOS

A presente pesquisa tem como objetivos:

- Estudar a região central de Cuba visando caracterizar, através da espectrometria de raios gama, as estruturas e litotipos na área;
- Confeccionar um mapa de Dose Efetiva Total, empregando os dados dos teores dos radionuclídeos naturais urânio, tório e do radioisótopo de potássio, obtidos do levantamento aerogeofísico;
- Integrar e analisar a cartografia de dados geofísicos, geológicos, topográficos e de doses, com as estatísticas médicas sobre óbitos na região, no intuito de identificar indícios de padrões espaciais comuns nos setores onde a incidência de doenças cancerígenas ocorre.

1.3 - RADIAÇÕES NA NATUREZA

Toda vida em nosso planeta está exposta à irradiação natural e grande parte se deve a exposição externa, tratem-se das radiações não ionizantes (NIR) que podem proceder da luz solar ou das descargas elétricas, tratem-se das radiações ionizantes (IR), cujo estudo é o objeto desta pesquisa. As primeiras são caracterizadas por comprimentos de onda maiores que 100 nm, fótons de baixas energias ($< 12,4$ eV) e abrangem, principalmente, a porção do espectro eletromagnético inferior a 10^{15} Hz; entretanto, as ionizantes, sejam de origem cósmica ou terrestre, são caracterizadas, principalmente, por fótons das faixas mais energéticas do espectro eletromagnético e pelos menores comprimentos de onda, sendo capazes de induzir no organismo, efeitos biológicos com diferente grau de severidade (UNSCEAR 2000, Anexo H; ICNIR 2003).

Como a radioatividade natural de fontes ionizantes tem sua origem em fontes cósmicas ou terrestres e as artificiais provêm de fontes antropogênicas, a ubiquidade relativa entre elas indica que os radionuclídeos podem ser encontrados em diferentes concentrações, compondo, tanto os elementos naturais água, ar, solos e rochas, no meio ambiente, quanto no próprio corpo dos seres vivos, formando parte da cadeia alimentar (Kogan 1969; IAEA 1983; UNSCEAR 1993 e 2000; Yoshimura *et al.* 2002; Anjo 2004).

As fontes de natureza cósmica interagem de forma contínua na atmosfera terrestre. Elas constituem um fluxo de partículas carregadas e neutras altamente energéticas, nomeadas partículas primárias, representadas basicamente por prótons, partículas alfa (α) e núcleos pesados

que tem sua origem nos eventos do espaço interestelar e na atividade e aquecimento solares. Apesar do fluxo destas partículas ser atenuado rapidamente nas camadas da atmosfera terrestre, interagem, na sua propagação, com os próprios componentes da atmosfera, gerando as partículas secundárias cujos componentes principais: múons, elétrons e nêutrons contribuem significativamente para as doses absorvidas pela população a diferentes altitudes sobre a superfície da terra (O'Brien *et al.* 1992; Nakashima & Fujisaka 1992; UNSCEAR 2000). Este fluxo de partículas de natureza cósmica, ao ser afetado pelas variações espaciais e temporais que ocorrem na atmosfera, apresenta contribuições diferenciadas sobre as taxas de dose, segundo a altitude sobre o nível médio do mar (NMM) e segundo a latitude da localidade; em consequência, valores mínimos da intensidade da radiação cósmica são registrados na região do equador (por volta de 10% a menos que nas altas latitudes) e valores máximos são atingidos nos pólos geomagnéticos, em correspondência ao incremento da densidade do fluxo de partículas retidas nesta região (Bouville & Lowder 1988; UNSCEAR 1993 e 2000). As características destas variações e as suas incidências sobre as partículas de origem cósmica serão abordadas no epígrafe 4.4.

Das fontes terrestres de radioatividade natural, os radionuclídeos do potássio (K), tório (Th) e urânio (U), presentes na terra desde a criação do universo, são os mais abundantes na crosta terrestre, porém as suas vidas médias são aproximadamente da mesma ordem da idade do planeta. Deles, os radionuclídeos urânio (U) e tório (Th), minoritários comparativamente ao potássio (K) na crosta, compõem duas séries radioativas, nas quais, os radioisótopos ^{238}U e ^{232}Th (nomeados pais) encabeçam as duas séries. Esses radionuclídeos naturais no processo de decaimento radioativo produzem descendentes, também radioativos, até alcançar o equilíbrio num radioisótopo de chumbo (Pb), quando se iguala às atividades de cada membro componente da série. No decaimento, emitem-se partículas alfa (α) e beta (β) que possuem carga e massa, além de radiação gama (γ), de natureza eletromagnética. Ao interagir a radiação gama emitida com as partículas elementares dos membros da série, ou mesmo no processo de detecção das concentrações naturais destes radionuclídeos, ocorre a transferência e a dissipação energética por meio de alguns efeitos físicos conhecidos: espalhamento de *Compton*, formação de pares e efeito fotoelétrico. A probabilidade de ocorrer cada um destes processos depende da energia dos fótons emitidos, sendo que, para baixas energias, existe também a probabilidade da ocorrência da difusão elástica desses fótons, mas sem contribuição energética (IAEA 1989; Bulbulian 1996).

Se compararmos as emissões provenientes de massas unitárias dos radionuclídeos naturais urânio (U) e tório (Th), mais de 90 % dos 50 000 fótons/s emitidos originam-se aproximadamente da série do ^{238}U , sendo seus descendentes, ^{214}Pb e ^{214}Bi , os principais emissores de raios gama com energias do espectro no intervalo 242 keV - 2. 448 keV. Também ocorrem emissões de raios X e gama com energias inferiores a 100 keV, além de uma pequena contribuição das emissões do radioisótopo ^{235}U , cuja abundancia na natureza é muito menor. Das transformações nucleares da série do ^{232}Th , resulta a emissão de uma quantidade muito menor de fótons. Dos 15 000 fótons /s emitidos, aproximadamente 33 % deles, são raios X de energias até 105 keV e os restantes, são raios gama com energias no intervalo 129 keV - 2. 615 keV do espectro. Para este radioisótopo, o ^{228}Ac , o ^{208}Tl e o ^{214}Pb são os principais emissores de raios gama. No entanto, para o potássio (K), componente fundamental da crosta terrestre, as emissões de raios gama provêm de seu radioisótopo ^{40}K , o qual ocorre numa fluência monoenergética, a 1.416 keV (IAEA 1989; Sinitsin 1974).

Como já citado, o desenvolvimento geológico no planeta conduz a acumulação dos elementos radioativos das séries principais. Este fato, entre outros assumidos, que levam em conta a distribuição e geometria das fontes e o poder de penetração predominante das radiações gama emitidas em relação às partículas, possibilita que as concentrações dos radionuclídeos possam ser estimadas com sucesso através da quantidade de radiação gama emitida por unidade de massa do solo no meio natural, tendo como base a permanência em equilíbrio radioativo de elementos pais e descendentes, num tempo longo. O referido equilíbrio radioativo significa, porém que, por serem instáveis, todos os descendentes nas séries que decaem, e possuem estes, vidas médias mais curtas que seus elementos pais correspondentes, o processo resulta, em geral, enriquecido, já que o filho decai quase tão rápido quanto é produzido e, conseqüentemente, a atividade total decresce na mesma magnitude que o pai que lhe origina. Contrariamente, o desequilíbrio ocorre quando um ou mais produtos do decaimento são removidos ou adicionados total ou parcialmente ao sistema e, dependendo das vidas médias dos radionuclídeos envolvidos, o restabelecimento do equilíbrio pode precisar de dias, semanas ou até milhões de anos.

Visando a aplicação da espectrometria de raios gama na cartografia radiogeológica do meio ambiente, pode ser destacado que o tório é um elemento estável e raramente se encontra em desequilíbrio na natureza; entretanto, para o potássio, cujo radioisótopo possui uma fluência monoenergética bem marcada pelo fotopico de 1. 416 keV, o desequilíbrio não cria dificuldades.

Mas para a série do urânio, o desequilíbrio no meio natural é mais comum, o qual, favorecido de forma complementar pelos mecanismos físicos ou químicos naturais, propicia a co-precipitação, adsorção ou incorporação do rádio (^{226}Ra) nas rochas com mais facilidade que a do próprio urânio, especialmente em ambientes oxidantes. Em consequência do desequilíbrio na série do ^{238}U , este pode seletivamente ser lixiviado passando a ^{234}U , particularmente em rochas de matriz argilosa ou vice-versa e também decair, passando a rádio ^{226}Ra ou radônio ^{222}Rn . Sendo que este último é um elemento gasoso, se movimenta rapidamente escapando do solo ou das fissuras das rochas. Analogamente, o ^{232}Th , embora mais estável, também pode seletivamente passar a outros radioisótopos da própria cadeia (Dickson & Scott, 1997).

Por outro lado, na ocorrência de grandes perdas de ^{222}Rn , os radionuclídeos como ^{214}Pb e ^{214}Bi , principais emissores gama, que ocorrem posteriormente a ele na série, podem decair a uma atividade insignificante, precisando-se de um tempo relativamente curto, para se restabelecer o equilíbrio. Contrariamente, quando no ambiente resulta preferencial o decaimento de ^{238}U e ^{234}U à ^{226}Ra , podem ser necessários milhões de anos para se restabelecer o equilíbrio. Neste caso, os teores de ^{214}Pb e ^{214}Bi podem se manter elevados um longo tempo no meio, embora seus pais tenham sido removidos parcial ou até totalmente. Em consequência, a relativa abundância dos isótopos no solo e as supostas condições de equilíbrio entre os componentes da série no meio, propiciam o emprego com sucesso da espectrometria de raios gama, tanto no mapeamento geológico, quanto na estimativa dos níveis de doses absorvidas por irradiação sobre as populações envolvidas (IAEA 1989; Dickson & Scott 1997; ICRP 2005).

Como citado, entre os radionuclídeos gerados no processo de desintegração natural do ^{238}U e ^{232}Th , as emanações de gases radioativos como o radônio ^{222}Rn e ^{220}Th são considerados também importantes emissores de radiação gama. A presença destes nos aerossóis, seja nos solos, nas águas ou formando parte dos materiais empregados para a construção de imóveis, representa uma contribuição importante na exposição humana, alcançando às vezes, concentrações significativamente nocivas em recintos fechados (UNSCEAR 1993 e 2000; Bertolo & Verdi 2001; Risica *et al.* 2001; Bishop *et al.* 2004), (<http://www.epa.gov/radon/beirvi.html>).

Apesar das vantagens já referidas sob as possíveis aplicações das técnicas de espectrometria gama, a excitação provocada pela transferência energética destas radiações, pode gerar efeitos de aquecimento, de ionização dos átomos e moléculas do meio irradiado e em consequência, o homem, parte desse meio, terá probabilidades de ver afetada a sua saúde. Porém,

a irradiação gama em qualquer ambiente (exterior ou interior) deve ser preferencialmente avaliada, desde que se comparem seus efeitos e poder de penetração com as partículas alfa (α) e beta (β), que apesar do baixo poder de penetração que possuem, podem afetar o organismo ao atingí-lo parcialmente. As partículas incorporadas ao corpo pela cadeia alimentar, pelas emissões naturais ou ainda, pelas aplicações industriais ou clínicas, podem chegar a contribuir de forma significativa para as doses, principalmente na avaliação da chamada exposição interna (UNSCEAR 1993 e 2000; ICRP 2005), mas seu estudo não é objeto desta pesquisa.

A forma de quantificar os possíveis danos potenciais, resultantes da exposição a radiações ionizantes em exteriores ou interiores (*outdoor* ou *indoor*), é por meio da estimativa da “dose absorvida”, ($D = d/dm$), que expressa a relação entre o valor de energia depositada pela radiação ionizante (d) e o volume elementar da massa irradiada (dm), grandeza que quantificada em joulekg^{-1} , tem o nome especial de Gray (Gy) (ICRU 1980a, 1990 e 1991). Essa energia média ao ser depositada na unidade de volume de um órgão ou tecido pode ser qualificada ou ponderada em função do tipo de radiação incidente, resultando assim a nomeada “dose equivalente”, a qual foi renomeada como “dose de radiação ponderada para o tecido ou órgão” propiciando assim mais clareza no termo, $H_T = \sum_R D_{TR} w_R$. Esta é numericamente igual a “dose absorvida”, quando o fator de ponderação iguala-se à unidade (1); esta grandeza é expressa em Sieverts (Sv) O fator D_{TR} é a dose absorvida média no órgão ou tecido devido à radiação ionizante incidente de tipo R (fótons ou partículas), e w_R é um fator de ponderação adimensional que qualifica o tipo de radiação incidente.

Se as estimativas visam avaliar a irradiação de diversos órgãos ao mesmo tempo no corpo, a média aritmética ponderada da “dose de radiação ponderada” (condizentemente com a nova denominação), quantificará a nomeada “dose efetiva” E , a qual é expressa também em Sv:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_{R,T} w_T \cdot w_R \cdot D_{TR}$$

A forma de determinar os diferentes fatores de ponderação dos tecidos dos diversos órgãos, w_T , possibilita que a “dose efetiva” caracterize o dano total ou “detrimento” provável da irradiação uniforme no corpo todo ICRP (1991). Embora se trate de uma grandeza não mensurável, ela pode, geralmente, vincular-se indiretamente por meio de coeficientes acuradamente estimados (via experimental), com a quantidade física “Kerma” (*kinetic energy*

released per unit of mass) expressa pela relação: $K = dE_{tr} / dm$, grandeza que caracteriza a fluência do campo de radiações através da transferência energética que ocorre desde uma partícula-fóton incidente no material, a uma partícula diretamente ionizante (elétron de alta energia). A soma dessas energias cinéticas representa-se por dE_{tr} e, dm representa a unidade de massa irradiada (ICRU 1980a, 1990). Devido a importância e diversidade das grandezas utilizadas nas estimativas, o tema será abordado com mais detalhe no item 4.2.

Como consequência da irradiação com fontes ionizantes, são reconhecidos, em geral, efeitos biológicos ou danos do tipo estocástico e/ou do tipo determinístico. Os primeiros resultam da irradiação a qualquer nível de dose e tem probabilidade de provocar mudanças e danos no DNA das células, sendo seu desenvolvimento avaliado, geralmente, a longo prazo. Modificadas as células em órgãos reprodutivos pela irradiação, pode-se transmitir, conseqüentemente, códigos genéticos errados aos descendentes. A probabilidade de se observar tais efeitos de tipo somático nas pessoas irradiadas ou nos descendentes vincula-se, principalmente, à magnitude das doses recebidas. Somente a amostragem sistemática e o acurado processamento estatístico das informações epidemiológicas a longo prazo, permitem avaliar esses fatos de tipo hereditário sob as populações atingidas e seus descendentes. No entanto, os efeitos determinísticos resultam da irradiação com altas doses, podendo gerar danos severos e irreversíveis no nível celular em funções orgânicas, e até a morte das pessoas expostas, a curto prazo. Os danos marcantes desses efeitos à saúde das populações irradiadas direcionam o interesse e acompanhamento das pesquisas por entidades internacionais tais como *International Atomic Energy Agency (IAEA)*, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)*, *Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR)*, *World Health Organization (WHO)* e *Radiation Effects Research Foundation (RERF)*, no intuito de avaliar o desenvolvimento de diferentes doenças cancerígenas induzidas pelos níveis de dose e taxas de doses recebidas (ICRP 1984; BEIRV 1990; Dennis 1997; IAEA 2002; Bishop *et al.* 2004; IAEA 2004).

Múltiplas experiências têm sido examinadas nas últimas décadas visando estabelecer as possíveis relações entre as doses aplicadas e a indução a certos tipos de tumores em tecidos e órgãos, em animais inferiores ou em humanos, como consequência da entrada no sangue ou nos pulmões, pela inalação, de diferentes compostos radioativos. Os diversos resultados obtidos refletem os sinais de danos ao DNA e na tentativa de estimar a magnitude desses danos, testaram-se vários modelos para representar as relações entre os níveis das doses aplicadas e a resposta

induzida no organismo. Observa-se dos trabalhos compilados no (UNSCEAR 2000, Anexo G) que tais relações podem ser caracterizadas de maneira consistente pelos modelos lineares simples para níveis elevados de dose absorvida que ultrapassam os 100 mGy e valores intermediários, enquanto modelos linear-quadráticos ou probabilísticos representam, mais adequadamente, as exposições a baixas doses na ordem de 10 mGy - 20mGy e menores, em particular, para casos de leucemia (Ullrich *et al.* 1996; Ullrich & Ponnaiya 1998). No caso de irradiação crônica contínua, aponta-se, geralmente, um significativo incremento do risco para os menores valores de dose, ao se comparar com uma irradiação aguda, embora não se possa fornecer uma informação direta provável para doses inferiores a 100 mGy (UNSCEAR 2000, Anexo G).

As diferentes condições de exposição também têm sido abordadas por diferentes autores e, entre eles, têm destaque os trabalhos de Saito *et al.* (1991, 1995 e 1998), sem subestimar os compilados por (UNSCEAR 1993 e 2000); Chou *et al.* 2001; IAEA (2004), nos quais o objetivo é avaliar, não somente a energia das fontes naturais, mas também as diferentes condições na disposição e distribuição das fontes que irradiam uniformemente o corpo.

Em contraposição aos efeitos da irradiação com fontes ionizantes, têm-se comprovado em organismos inferiores, a existência no nível celular de alguns mecanismos próprios, capazes de reparar e/ou atenuar os danos induzidos pelas radiações (Wolff 1998). Mas, o estudo desses mecanismos, cujo desenvolvimento considera-se ainda preliminar e com amplas incertezas, deve ser aprofundado, no intuito de precisar as possíveis tendências de caráter probabilístico que na atualidade são reconhecidas para a relação entre as doses ou taxas de doses e os principais tipos de câncer. Adicionalmente, deve-se considerar também, nestes estudos, a influência de fatos diversos relacionados à idade, sexo, o modo de vida e hábitos das populações envolvidas que, às vezes, podem conduzir a erros ou a superestimar as doses de radiação ponderada nos tecidos ou órgãos, como resultado da contribuição de diversas fontes. Esses fatos, pela sua importância, são reconhecidos na literatura médica como fatores que confundem as estimativas ou diagnósticos, *confounding factors*, chegando, às vezes, a se impor na comparação com os alvos que, segundo as hipóteses iniciais considera-se potencialmente causadores de dano (UNSCEAR 2000, Anexos G e H), (<http://www.otherdatatocarcinogenicity.html>).

Apesar da inquestionável existência dos fatores citados, das baixas contribuições de muitas fontes nos níveis anuais da dose efetiva E , e/ou da ubiquidade de algumas dessas radiações que, às vezes, dificultam seu controle, justificam-se, pelo grau de desenvolvimento

atual e das incertezas que ainda persistem, as preocupações pelos possíveis efeitos biológicos das radiações ionizantes.

Levando em consideração que o valor médio da exposição natural em muitas localidades é ultrapassado por um fator de dez (10) ou cem (100) vezes, a dose efetiva anual recebida em média pela população, do ambiente e da cadeia alimentar (expressa em microSieverts.ano⁻¹), deve ser avaliada. Justificam também a atenção, as dezenas ou centenas de microSieverts recebidas através dos tratamentos clínicos especializados, que são cada vez mais freqüentes e que, segundo as suas características, podem representar 50 % da media global da exposição natural, especialmente nos países desenvolvidos. Não menos importante resultam as exposições ocupacionais, as quais incluem também o pessoal que cobre com sistematicidade percursos aéreos ou cósmicos. Pela importância de todos esses casos, existem as normativas que estabelecem os limites reconhecidos internacionalmente. Da eficiência e ajustes desses limites e controles, ocupa-se a *International Commission on Radiological Protection* (ICRP).

Assim, as mais recentes recomendações da Comissão são apresentadas em ICRP (2005), onde se propõem os níveis das concentrações de atividade considerados excluíveis do alcance da Comissão, em materiais compostos de substâncias radioativas naturais no meio ambiente. Também se recomenda a exclusão das exposições não controláveis devido aos raios cósmicos nos vôos. O argumento de tais exclusões baseia-se no impraticável dos controles, sem investir em recursos ou incorrer em limitações extremas, como o caso de ter que propor aos passageiros reduzir o tempo de vôo a altitudes elevadas. Para esses casos, estima-se uma dose efetiva anual aproximada de três (3) mSv. A Tabela 1.1 mostra os valores abaixo dos quais as concentrações de atividade de radionuclídeos naturais em materiais são excluídas do alcance do ICRP.

Tabela 1.1 - Níveis recomendados como excluíveis do alcance do ICRP.

| Nuclídeos | Concentração de atividade excluíveis |
|--|--------------------------------------|
| Emissores α artificiais | 0,01 Bq.g ⁻¹ |
| Emissores β artificiais | 0,1 Bq.g ⁻¹ |
| *Nível da atividade dos que encabeçam a cadeia, ²³⁸ U e ²³² Th | 1,0 Bq.g ⁻¹ |
| ⁴⁰ K | 10 Bq.g ⁻¹ |

*Valores também aplicáveis a qualquer radionuclídeo das cadeias do ²³⁸U e ²³²Th, embora estejam em desequilíbrio, excluem-se aerossóis de ²²²Rn e descendentes, que se controlam separadamente, ICRP (2005).

Para avaliar as doses absorvidas pelos órgãos e tecidos do corpo causado pela irradiação de campos externos, tem sido adotado pela *Medical Internal Radiation Dose* (MIRD), desde há muitas décadas, o modelo de Snyder *et al.* 1978 para descrever a anatomia do corpo humano adulto, homem e mulher. Analogamente ao modelo citado, o modelo atual serve para avaliar também as doses absorvidas em órgãos ou tecidos, onde a dose efetiva nos volumes elementares do *3-D voxel phantoms* relaciona-se as quantidades operacionais específicas como o *kerma* no ar, através de coeficientes de conversão do campo de radiações. Esses coeficientes definidos para várias geometrias de irradiação, permitem representar a dose efetiva por unidade de fluência ou do *kerma* no ar em função da energia da radiação. Este modelo é aplicável também às exposições externas no posto do trabalho (ICRP 2005).

A publicação ICRP 60 (1991) continua restringindo e regulamentando as doses em condições normais. Nela, foram definidos os limites anuais operacionais que podem ser recebidos (*Annual Limit on Intake*) (ALI) provenientes dos radionuclídeos e seus produtos. Embora a Comissão hoje não estabeleça valores ALI, os emprega na prática, para caracterizar o perigo relativo das fontes de radiação e assegurar que os controles administrativos sejam os apropriados. O limite anual para a dose efetiva proveniente da exposição ocupacional é 20 mSv e para o público, 1 mSv.

1.4 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na parte central da República de Cuba, a maior das ilhas do arquipélago das Antilhas Maiores, entre 21° 30' N e 23° 00' N e 79° 00' W e 80° 30' W, abrangendo uma área aproximada de 16.500 km², nas províncias Cienfuegos, Villa Clara e Sancti Spiritus (Figura 1.1).

O relevo do território apresenta variações. No platô litorâneo não supera 20 m de altitude enquanto, mais ao sul, numa estreita faixa de direção E-W, supera 200 m. Na porção central do território, o alto de Agabama constitui uma exceção, atingindo 400 m de altitude. Na porção meridional, na cordilheira de Guamuhaya no Terreno Escambray, ultrapassa 1 100 m de altitude.

O Clima é tropical com temperatura média de 28 graus Celsius. O período seco abrange os meses de novembro a abril e o chuvoso de maio a outubro. Na rede de drenagem predominam os rios curtos de pouco caudal, sendo Sagua la Grande e Sagua la Chica, a NW, Jatibonico do Norte, a NE; e Zaza e Jatibonico do Sul a sudeste, os rios que possuem maior caudal.

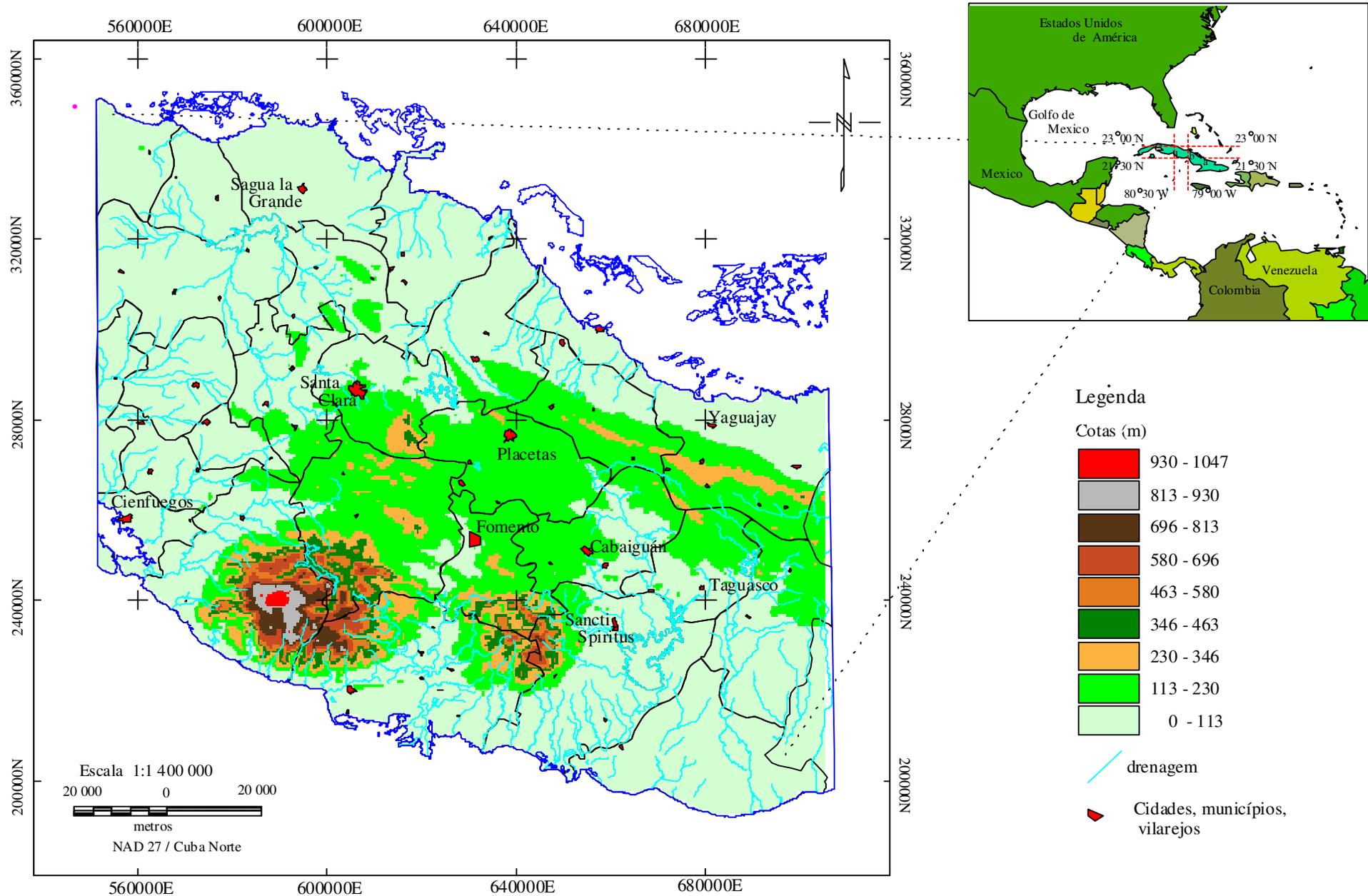


Figura 1.1 Localização e fisiografia da região central de Cuba.

CAPÍTULO 2. GEOLOGIA DA REGIÃO CENTRAL DE CUBA

2.1 - INTRODUÇÃO

A geologia do arquipélago cubano tem sido estudada por inúmeros especialistas desde o começo do século passado, mas a sistematização dos estudos só alcança seu maior auge com os levantamentos básicos executados por geólogos cubanos em parceria com os do antigo campo socialista, no período de 1960 - 1990.

Para encaminhar novas linhas de pesquisa, resultou imprescindível, porém, integrar e compatibilizar os dados existentes sobre a diversidade de ambientes geológicos da região de estudos. Assim, recentes, mas limitadas amostragens e datações têm sido dirigidas ao esclarecimento das dúvidas remanescentes. Deste modo, o Instituto de Geologia e Paleontologia de Cuba (IGP), desenvolve estas pesquisas, com o propósito de poder dispor, em breve, de um mapa na escala 1: 100 000 para todo o território nacional.

Este capítulo tem como objetivo expor, resumidamente, o conhecimento geológico disponível na área de estudos após os trabalhos compilados e integrados por García *et al.* 2000. As informações digitais (formato AUTOCAD), gentilmente cedidas pelo IGP, foram editadas dentro do contexto da presente pesquisa em ambiente SIG, agrupando posteriormente os litotipos diversos, segundo as estruturas reconhecidas na região. O mapa resultante apresentado na Figura 2.1 reflete, porém, os traços estruturais e geológicos da região, e é empregado como material básico para as estimativas estatísticas da radiogeoquímica e a interpretação regional dos campos físicos.

2.2 - SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E ESTRATIGRÁFICAS

A região central de Cuba representa a complexidade das estruturas do cinturão orogênico cubano, onde afloram de norte a sul todas as zonas geotectônicas descritas por estudos precedentes. Os estudos preliminares na área foram pouco desenvolvidos e isolados na década de 50, tendo maior destaque nesse período o trabalho de Hatten (1958). A partir da década de 60, os estudos foram sistemáticos e conduzidos por geólogos cubanos com a colaboração da Academia de Ciências da Bulgária e dos países do antigo bloco socialista (Stanik *et al.* 1975; Kantchev *et al.* 1978; Piotrowska *et al.* 1981; Belmustakov *et al.* 1981; Lobik & Dostal 1986; Vasiliev *et al.*

1989). Na década de 90, os levantamentos geológicos e pesquisas atingiram áreas menores, sendo dirigidos basicamente ao estudo de sulfetos e mineralização aurífera (Zelenka *et al.* 1990; Vázquez *et al.* 1993; Arcial *et al.* 1994; Iturralde - Vinent 1996a, b; Millán 1996 a, b). Tendo em vista o grau de estudo alcançado, o Instituto de Geologia e Paleontologia de Cuba (IGP) decidiu elaborar um mapa geológico de todo o país, compatibilizando e integrando todos os dados existentes, na escala 1:100. 000. Apresenta-se a seguir uma síntese das características estruturais e estratigráficas do texto elaborado por Garcia *et al* 2000 para a região de estudos.

2.2.1 - Paleo - Margem Continental

A região central de Cuba possui elementos de uma Paleo - margem continental, representada pelas seqüências de idades Jurássico Superior - Cretáceo nas zonas Remédios, Camajuaní e Placetas. As seqüências, basicamente de composição carbonática, formam espessas camadas maciças que, às vezes, alcançam certo grau de dolomitização ou podem chegar a ser mais terrígenas apresentando intercalações de quartzitos, arenito, brecha - conglomerados com componentes ofiolíticos e magmáticos do Arco Vulcânico Cretácico.

Zona Remédios

Abrange a região setentrional das províncias Villa Clara e Sancti Spiritus. Nesta zona predominam os calcários micríticos e bio - micríticos, às vezes com argila e areia, biogênicos e detríticos, ou maciços, dolomitizados ocasionalmente, com alguns horizontes de brechas de calcários. As espessuras variam de 600 m a 1 000 m. A unidade litoestratigráfica aflorante é representada pelo *Grupo Remédios* composto pelas formações *Palenque, Vilato e Purio*, com idades de Cretáceo Inferior (Alviano) a Cretáceo Superior (Maastrichtiano) (Díaz *et al.* 1997).

Zona Camajuaní

Situa-se na parte noroeste da região. Seus sedimentos são calcários de idade Jurássico Superior (Tithoniano) - Cretáceo Superior (Maastrichtiano) e afloram em faixas compridas que são cobertas por brechas de calcários e rochas terrígenas do Paleógeno. Compõem-se de calcários micríticos e biogênicos detríticos maciços dolomitizados, com alguns horizontes de brechas de calcários, formando longas faixas de direção noroeste - sudeste ou blocos dentro do olistostroma

Vega Alta. Dentro da unidade são frequentes os betumes e, entre os calcários, as lentes e nódulos de sílica e calcedônia. As espessuras variam entre 150 - 170 m, às vezes alcançando até 400 m.

A unidade litoestratigráfica é representada pelas formações *Trocha, Margarita, Paraíso, Mata e Lutgarda*.

Zona Placetas

Na área aflora, localmente, o olistostroma Vega Alta, formando grandes olistolitos ou blocos, cobertos por uma matriz terrígena, que inclui entre seus componentes, ofiolitos e rochas magmáticas do Arco Vulcânico Cretácico (AVC). A Zona Placetas que se compõe por arenitos calcáreos, calcáreos argilosos, brechas, argilas e rochas magmáticas alteradas é representada pelas *Formações Constancia, Veloz, Santa Teresa, Carmita, Amaro*. As espessuras variam de 40 m a 800 m e as idades de Jurássico Superior (Tithoniano) a Cretáceo Superior (Maastrichtiano).

2.2.2 - Bacias Frontais

São formadas por sedimentos Paleogênicos compostos de conglomerados calcários, calcários biodetríticos e argilas que, geralmente, se dispõem discordantemente sobre as seqüências da Paleo - margem continental. Formaram-se sobre a Zona Placetas a partir do Paleoceno Superior, até o Eoceno Médio, sendo a *Formação Vega Alta* testemunha da orogenia cubana desta etapa. Sobre as Zonas Camajuaní e Remédios, as *Formações Grande, Caibarién e Vega* situadas em longas faixas na direção noroeste - sudeste, são as representantes paleogênicas das Bacias Frontais.

2.2.3 - Cinturão Ofiolítico

O Cinturão Ofiolítico estende-se na direção NW - SE e constitui, estruturalmente, o elemento mais externo do cinturão orogênico. A presença do complexo basáltico - silicático superior da associação ofiolítica, de idade Jurássica, permite inferir que os ofiolitos representam restos de uma crosta oceânica protocaribenha. Essa crosta, em camadas deslocadas e dobradas, estende-se a sudeste do setor e mistura-se com rochas do AVC e sua cobertura sedimentar.

No centro do território apresenta-se na forma de maciços muito foliados, com componentes subordinados e blocos incluídos de diabásios. Os ofiolitos setentrionais apresentam-se em quatro complexos: *metamórficos* (ultramáfico metamorfoseados); *cúmulos de gabro e cúmulos máficos*, cortados, às vezes, por diabásios, *diabásios* Zurrapandilla e *efusivo sedimentar* Sagua la Chica.

Ao sul, no *Complexo de anfibólitos Mabujina*, os ofiolitos estão deslocados, misturados e metamorfoseados com as rochas do AVC; situam-se acima dos metamórficos continentais e são cobertos pelas vulcanitas do AVC. No *Terreno Escambray*, os ofiolitos são alóctones e se localizam entre as camadas tectônicas continentais, numa secção incompleta.

Os estudos mais recentes de classificação dos serpentinitos (ofiolitos cubanos) realizados por Montero Cabrera et al. (2001), com amostras de poços de petróleo, ao norte das províncias Habana - Matanzas (oeste da região de estudos), refletem a baixa tendência da relação FeO_{total} / MgO , condizente com os estudos precedentes realizados por Iturralde - Vinent (1994) e Ando (1996).

2.2.4 - Arco Vulcânico Cretácico

Em Cuba Central, o Arco Vulcânico Cretácico AVC é bem exposto, constituindo um dos elementos importantes na evolução geológica da região.

A vinculação genética entre os vulcanitos e os granitóides da região evidencia uma associação vulcano - plutônica de tipo Arco Vulcânico de ilhas (Díaz de Villalvilla *et al.* 1995).

O complexo vulcano - sedimentar e intrusivo desta associação abrangem, nas províncias Cienfuegos, Villa Clara e Sancti Spíritus, uma área superior a 2.500 km², com idades desde o Cretáceo Inferior até o Cretáceo Superior (Campaniano). Os complexos têm sido classificados em 17 unidades litoestratigráficas e 3 granitóides, sendo descritas a seguir suas principais características.

O complexo vulcano - sedimentar reflete duas etapas de desenvolvimento:

- a primeira (inferior) onde predominam fácies efusivas, extrusivas e sub - vulcânicas (derrames e mantos de lavas ácidas - médio ácidas) sobre fácies piroclásticas;
- a segunda (superior e mais evoluída), onde o arco desenvolve-se em um relevo mais insular (setores de bacias mais amplas e/ou pequenas, independentes), tem característica própria de

sedimentação e vulcanismo, variada composição e diversas formas de ocorrência (lavas, tufos, basaltos, andesitos, dacitos, incluindo corpos subvulcânicos).

Da primeira etapa da evolução do arco (inferior) temos a *Formação Los Pasos* concordante sobre a *Formação Mataguá*, datada como Cretáceo Inferior e definida por Bronnimann & Pardo (1954); a *Formação Porvenir* (Dublan *et al.* 1986), que apresenta baixo teor de K₂O, baixo grau de metamorfismo e composição de básica - intermediária, (Díaz de Villalvilla *et al.* 1995); a *Formação Las Calderas* (Dublan *et al.* 1986), datada como Cretáceo Inferior Albiano - Cretáceo Superior Turoniano, com seu Membro Guaos, mais carbonático, que reflete a diminuição da atividade vulcânica no desenvolvimento desta etapa do AVC nas porções ocidental e oriental da província de Villa Clara; o mesmo não acontece na zona central, onde a etapa culmina com a *Formação Seibabo*. Esta formação, proposta e datada por Bronnimann & Pardo (1954), distribui-se localmente na região do sinclínrio homônimo, e se compõe de tufos e materiais terrígenos subordinados.

A etapa superior de desenvolvimento do AVC, Cretáceo Superior (Cenomaniano - Campaniano), é mais complexa e apresenta ambiente variado de bacias com lavas submarinas das *Formações Arimao e Bruja*, assim como os tufos das *Formações Pelao e Dagamal* com sinais de vulcanismo subaéreo. As variedades dos produtos vulcânicos presentes na seção incluem: basaltos, andesitos, dacitos e tufos andesíticos, rochas típicas correspondentemente, para as *Formações Arimao, La Rana, Dagamal e Pelao*.

Desta etapa, a *Formação Bruja*, definida por Bronnimann & Pardo (1954), ocupa uma faixa de colinas de direção sublatitudinal, desde o sudoeste da cidade de Santa Clara até o sul do povoado de Báez, na província de Villa Clara. A *Formação Bruja* pelos conteúdos de seus macro-componentes e elementos traço, relaciona-se com a série geoquímica Ca e, parcialmente, com a Ca - K.

A *Formação Hilário*, a qual finaliza a coluna estratigráfica do AVC, destaca-se pelo predomínio dos tufos zeolitizados sobre as restantes litologias terrígenas com escassos calcários; suas seqüências, datadas como Cretáceo Superior (Campaniano), fazem parte do núcleo do sinclinal Seibabo e fixam a idade da etapa final do magmatismo na região central. Posteriormente, a partir do Maastrichtiano, desenvolvem-se três bacias do tipo *Piggy back basin*, superpostas passivamente sobre a estrutura deformada do AVC, denominadas *Santo Domingo, Cienfuegos e Cabaiguán*, e uma bacia intramontanha, denominada *Trinidad*.

- *Santo Domingo* localiza-se no centro - oeste da área, com a ocorrência dos sedimentos das *Formações Monos, Arroyo Grande, Santa Clara, Cocos, Yeras, Blanquizar, Ranchuelo, Ochoa, Jicotea, Jía e Tinguaro*, que alcançam uma espessura total aproximada de 2.200 m. A composição dos sedimentos é variável, sendo representados por conglomerados polimíticos de rochas vulcânicas, calcárias, arenitos, siltito, arenitos e argilitos. Esses sedimentos são cobertos, discordantemente, pelos calcários fragmentados, calcários biodetríticos micríticos e argilosos, brecha - conglomerados da *Formação Arroyo Grande* que transicionam para as *Formações Jicotea, Jía e Tinguaro* com o paulatino aumento de tufos, brecha - conglomerados até os fragmentos grandes de calcários biogênicos.
- *Cienfuegos* localiza-se ao norte, a leste e a sudoeste da cidade homônima. A bacia é composta pelos sedimentos *flysh* terrígenos e terrígeno - calcários da *Formação Cantabria*, de cujos calcários se compõe a parte basal (Kantchev *et al.*, 1978); estão presentes também na seção, os sedimentos dos *Membros Carolina, Vaqueria, Saladito e Caunao*, sendo coberta finalmente pelos sedimentos do Neogeno - Quaternário. A espessura total dos sedimentos na bacia alcança aproximadamente, 2.000 m.
- *Cabaiguán* localiza-se na porção centro-leste de Villa Clara, parte de Sancti Spiritus e noroeste da província de Ciego de Ávila (porção que esta fora da área de estudos, onde se conhece como bacia Central). Nela são descritas 10 formações: *Isabel*, composta de conglomerados de vulcanitos do AVC na sua base, que passam, tanto na vertical quanto na horizontal, a areias de calcários e calcários detríticos e biogênicos, sendo coberta de forma transgressiva, pelas formações mais jovens *Fomento, Jucillo e Zaza* todas elas de composição mais terrígena, às vezes com inclusões de rochas vulcânicas e brecha - conglomerados. A seguir na seção, apresentam-se as limitadas e caóticas seqüências de *Taguasco*, em estreita relação com as dobras recumbentes do AVC e os ofiolitos, coexistindo também, com blocos e olistolitos de gabros, diabásios, serpentinas, calcários, tufos, granitóides, *chert* e quartzo, incorporados numa matriz terrígena e/ou de tipo *flysh*. Em seguida, encontram-se as faixas estreitas e intermitentes das seqüências da *Formação Siguaney*, compostas por brecha de calcários, calcários e conglomerados, recobertos discordantemente pelas seqüências das *Formações Zaza, Arroyo Branco, Marroquí, Tamarindo, Chambas e Jatibonico*, que encerra a seção com seus componentes terrígenos calcários e coralinos. A espessura total aproximada dos sedimentos na bacia ultrapassa 3.500 m.

2.2.5 - Granitóides

Segundo os diferentes ambientes tectônicos, estas rochas alcalinas agrupam-se como se descreve a seguir:

- *granitóides originados de um embasamento siálico proterozóico* - compostos de granitos biotíticos e micáceos, às vezes com aspecto pegmatítico. São rochas alcalinas (desde quartzo sienitos até granito alcalino), com elevados conteúdos de Na_2O e da relação $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Pérez & Sukar (1997), que nos limites da área pré - caribenha ocorreram entre o Triássico tardio e o Jurássico Inferior Iturralde - Vinent (1994).
- *granitóides da associação ofiolítica* - representados por corpos de pequeno e médio porte e/ou diques que afloram dentro dos ofiolitos, compostos por dioritos quartzosos, dioritos, tonalitos e plagiogranitos. Na parte superior da seção, intrudem em forma de diques cortando os serpentinitos existentes. Apresentam baixos teores de K_2O e FeO , Li, Rb, Sr, Ba e de terras raras. São considerados, em geral, semelhantes aos plagiogranitos oceânicos.
- *granitóides do Arco Vulcânico Cretácico* - são os denominados “Granitóides Manicaragua”; e se situam numa faixa estreita e alongada que abrange o Terreno metamórfico Escambray nas partes norte e leste. Ao norte tem limite com o complexo vulcânico - sedimentar e os anfibolitos Majubina, cortando ambas unidades; entretanto na parte sul, eles constituem pequenos corpos dentro dos próprios anfibolitos. Em concordância com as etapas de desenvolvimento do AVC, estes se agrupam em 3 formações:

a.- *Formação plagiioriolito - plagiogranítica* - apresenta-se associada com os vulcanitos da *Formação Los Pasos*, possui baixos conteúdos de K_2O , Al_2O_3 , Li, Rb, Sr, Ba, próprios dos granitóides da etapa inicial do Arco de Ilhas Primitivo (PIA), segundo Pérez & Sukar (1997). Apresentam traços lito -geoquímicos semelhantes aos plagiogranitos.

b.- *Formação granodiorito - granítica* - forma pequenos corpos e veias de granitóides sódicos que intrudem os anfibolitos *Mabujina*, ao norte do Terreno Escambray. Os granitóides, deformados e tectônizados, são compostos por dioritos quartzosos que passam a dioritos, tonalitos e plagiogranitos. Diferentemente dos granitóides antes citados, estes caracterizam-se por conteúdos relativamente maiores de K_2O , Al_2O_3 , Li, Rb, Sr e Ba (Pérez & Sukar 1997).

c.- *Formação gabro - plagiogranítica* - representada pelos maiores corpos que afloram no limite entre o complexo vulcânico - sedimentar e os anfibolitos *Mabujina* ou como pequenos

corpos nos ofiolitos a norte e nordeste de Santa Clara. Compõem-se de quartzodioritos e granodioritos, que passam a dioritos, tonalitos e plagiogranitos; apresentando os maiores teores de K_2O , K_2O/Na_2O , Li, Rb, Sr e Ba (Pérez & Sukar 1997).

2.2.6 - Núcleo Metamórfico (Terreno Escambray)

O núcleo metamórfico Escambray, que é representado por 12 formações geológicas, e o Grupo São Juan com seu Membro Felicidad, compõem quatro unidades litoestratigráficas.

Entre as citadas formações, a *Formação Porvenir* que aflora numa faixa estreita no limite tectônico noleste do complexo *Mabujina*, é representada por metavulcanitos ácidos (ricos em plagioclásio), às vezes com intercalações de metavulcanitos básicos. Seu metamorfismo corresponde a facies xisto verde e, segundo Dublan *et al.* (1986), constitui uma porção metamorfisada da parte inferior do AVC.

O *Complexo de anfibolitos Mabujina* é representado por rochas melanocráticas (hornblenda e plagioclásios) convertidas em anfibolitos de alta T/P, sotapostas regionalmente as seqüências do AVC. O complexo está multi - deformado pelos dobramentos face ao metamorfismo e à posterior colisão com o Terreno Escambray.

O Terreno metamórfico Escambray divide-se como citado em quatro(4) grandes unidades lito-tectônicas principais de idades $J_1 - K_2$. As unidades formam conjuntos de *nappes* e mantos tectônicos compostos de mármore grafíticos, quartzoxistos, xistos verdes, metavulcanitos básicos, xistos verdes metaterrígenos e meta-arenitos quartzíticos com intercalações de filitos sericíticos, às vezes, carbonosos.

A primeira unidade litoestratigráfica ocupa a maior parte da megaestrutura ocidental, com elementos metamorfoseados somente na fácies xisto verde, corpos de serpentinito, metagabro e metadiabásios. Nela, foram descritos as Formações: *La Llamagua* no mais baixo nível do Terreno Escambray, as seqüências de mármore do Grupo São Juan, *Los Cedros*, *Loma Quivicán*, *La Sabina*, *Yaguanabo* (com tendência alcalina) e *El Tambor*, *flysh* típico.

A segunda unidade litoestratigráfica reflete um metamorfismo inverso de alta pressão. Nesta unidade foram descritas as Formações *La chispa e Cobrito*; a primeira, composta de xistos metaterrígenos quartzo moscovíticos, às vezes com muita grafite, com intercalações de quartzitos metasilicíticos com granada, xistos verdes com lawsonita e mármore, enquanto *Cobrito* apresenta xistos calcários e mármore geralmente grafíticos estratificados, em contato tectônico

com *La chispa*. As suas camadas situam-se num nível estrutural inferior aos mármore do *Grupo São Juan*. Nesta unidade, observam-se também, corpos maiores de xistos verdes metavulcânicos básicos com lawsonita, que alcançam até dezenas de metros de espessura, compondo o *Membro Felicidad*.

A terceira unidade, acamadada tectonicamente sobre as duas unidades já descritas, destaca-se na periferia de ambas mega-estruturas e caracteriza a fase mais antiga do metamorfismo do Escambray (fácies xisto verde). A unidade, além de estar representada pelas formações já citadas, compõe-se de fragmentos de crosta oceânica com serpentina antigorítica, gabros e diabásios convertidos em eclogitos e diversos xistos cristalinos polimineráis. Destaca-se também na unidade, os anfibolitos de alta pressão de natureza tholeítica, que compõem a *Formação Yayabo* no extremo leste do maciço de espessura não definida.

A quarta unidade constitui uma estreita faixa na borda setentrional do maciço, num nível estrutural superior em contato direto com a terceira unidade e, às vezes, com a segunda, enquanto ao norte contata com o *Complexo de anfibolitos Mabujina*. A unidade é formada pelas formações jurássicas *Herradura* e *Boquerones*; a primeira, representada por xistos metaterrígenos quartzíticos e quartzo moscovíticos, às vezes, com albita e xistos gráficas intercalados e a segunda, por xistos e mármore gráficas em certa analogia com *Cobrito*, embora tenha *boudins* de mármore dolomítico e restos de fósseis mesozóicos.

2.2.7 - Neoplataforma

A cobertura Neoplataformal transgrediu grande parte das unidades mais antigas. Ela é representada pelas seqüências do Neógeno e Quaternário. O Neógeno é composto pelas unidades *Lagunitas* e *Paso Real*, de fácies terrígeno - carbonática com intercalações de calcários, margas e calcários biodetrítico - argilosos e dolomitizados às vezes com horizontes de pirita, gesso, halita e linito. A ocorrência destas formações é marcada por abruptas mudanças laterais e verticais. Elas são cobertas de maneira concordante pelas *Formações Güines, Guevara, Vedado, Villarroya e Arabos* (Iturralde - Vinent 1996a, b). A *Formação Arabos* está sobreposta de forma transgressiva sobre a *Formação Arimao* do AVC, as formações da PMC, as bacias frontal e superposta passivas, do olistostroma *Vega Alta* e sobre as rochas ultramáficas; é cobertas de forma concordante pela *Formação Güines*, e discordante pelas *Formações Guevara, Villarroya* e da coberta aluvial do Quaternário.

O desenvolvimento do Sistema Quaternário no setor começa no Plioceno Tardio, num ambiente marinho raso ou de arrecife. São sedimentos compostos, geralmente, por calcários biogênicos coralinos, com ocasionais lentes de calco - areias, às vezes com argilas plásticas caoliníticas, arenitos, areia grossa e fragmentos ferruginosos (*hardpan*), concreções carbonáticas com cristais de gesso dispersos, além de outros sedimentos aluviais, eluviais, coluviais - proluviais e palustres.

2.3 - RESUMO SOBRE A EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA REGIÃO

Na região central são expostos todos os elementos componentes de um *Cinturão dobrado* e as suas inter-relações, face a evolução geológica ocorrida internamente ao território cubano, desde o Jurássico até o Eoceno Médio, quando então, o *cinturão dobrado*, já maduro, inicia uma etapa de desenvolvimento plataformal que persiste até hoje.

Além das diversas unidades de natureza continental e oceânica reveladas na região central, existem também duas suturas cretácicas vinculadas com zonas de subducção. A primeira, setentrional, denominada sutura ofiolítica, representando a crosta oceânica protocaribenha jurássica consumida no Cretáceo Inferior, cujos restos constituem uma associação ofiolítica desmembrada tectonicamente, com tendência geral NW - SE (*Sistema Cubano*), ao longo de toda a região (Millán 1996 a). A segunda formou-se com a ocorrência de uma subducção meridional com mergulho a norte, resultante da acreção e sutura com o *Complexo Mabujina*, do Terreno meridional *Escambray* Iturralde - Vinent (1994, 1996 a, b).

Ao sul da sutura ofiolítica foi desenvolvido o Arco Vulcânico Cretácico AVC, cujo vulcanismo é relacionado com a segunda zona de subducção. São evidências disto, a formação tholeítica basal do AVC *Los Pasos*, em contato direto com os granitóides *Manicaragua* (Dublan *et al* 1986, Díaz de Villalvilla *et al.* 1995), a presença de um conjunto metamórfico típico de zona de supra - subducção, formado pelo *Complexo Mabujina* e a *Formação Porvenir*, e também, as semelhanças no caráter bimodal entre o protólito desta última e a *Formação Los Pasos*. Estas evidências permitem inferir uma provável vinculação genética entre o AVC e os cinturões metamórficos.

O *Cinturão dobrado* reflete movimentos e transporte tectônico de sudoeste a nordeste.

O metamorfismo e as deformações do *Terreno Escambray* e do *Complexo Mabujina*, começaram no Cretáceo Médio; entretanto, o núcleo metamórfico consolidou-se no Campaniano,

ao colidir e suturar ambos complexos rochosos, o que provocou a extinção do processo de vulcanismo do AVC. Posteriormente, o AVC foi comprimido e dobrado entre as metamorfitas meridionais e os ofiolitos suturados no Cretáceo Superior; com o conseqüente acamamento de suas unidades em cima dos ofiolitos já suturados e dos anfibólitos Mabujina. Assim, foram consolidados e deformados os diferentes complexos do *Cinturão dobrado*.

No Campaniano Superior e no Maastrichtiano desenvolveram-se três bacias superpostas, aparentemente num processo simultâneo de transporte de todo o conjunto do *Cinturão dobrado* na direção nordeste. Logo, no Paleoceno Superior, começa a colisão deste conjunto com a Paleomargem continental, sendo desenvolvidas, nesse intervalo, duas bacias superpostas *frontais de antepaís*; a primeira, entre as seqüências das *Zonas Remédios e Camajuaní* e a outra, sobre as seqüências da *Zona Placetas*. No frente da colisão ocorreram deformações intensas que incluíram os sedimentos das duas bacias frontais. Os elementos mais setentrionais do *Cinturão dobrado* cavalgaram sobre a paleomargem plataformal, ocorrendo a constituição de um verdadeiro *Cinturão dobrado* - com limites tectônicos, às vezes, bem irregulares. O limite meridional deste cavalgamento sobre o *Cinturão dobrado* é representado pela falha *Las Villas*. A marcante diferença entre as seqüências das *Zonas Camajuaní e Placeta*, evidenciam a sua correspondência com bacias frontais diferentes, sendo provável a ocorrência anterior de uma falha transcorrente sinistral que também influenciou na semelhança e disposição espacial das estruturas antiformal ao sul da Falha Las Villas (Mata, Placetas e Sabana Nueva), cuja formação sugere vínculos com movimentos transformantes sinistrais, refletidos nos acunhamentos a noroeste, com fechamentos periclinais a sudeste, flancos setentrionais cortados, contatos bruscos e tendências com divergência entre 10° e 15° com a Falha Las Villas. A importância desta falha na disposição das estruturas na parte norte de Cuba central, já tinha sido indicada em (Ducloz 1989).

Antes da verticalização das estruturas pela compressão contra a plataforma rígida das Bahamas, elas eram menos abruptas (Hatten 1958).

Apresentam-se a seguir nas Figuras 2.1 e 2.2, os principais traços estruturais e geológicos, resultantes da edição feita no contexto desta pesquisa sobre o mapa de Garcia *et al.*(2000) e sobre o mapa tectônico de Millán 2000.

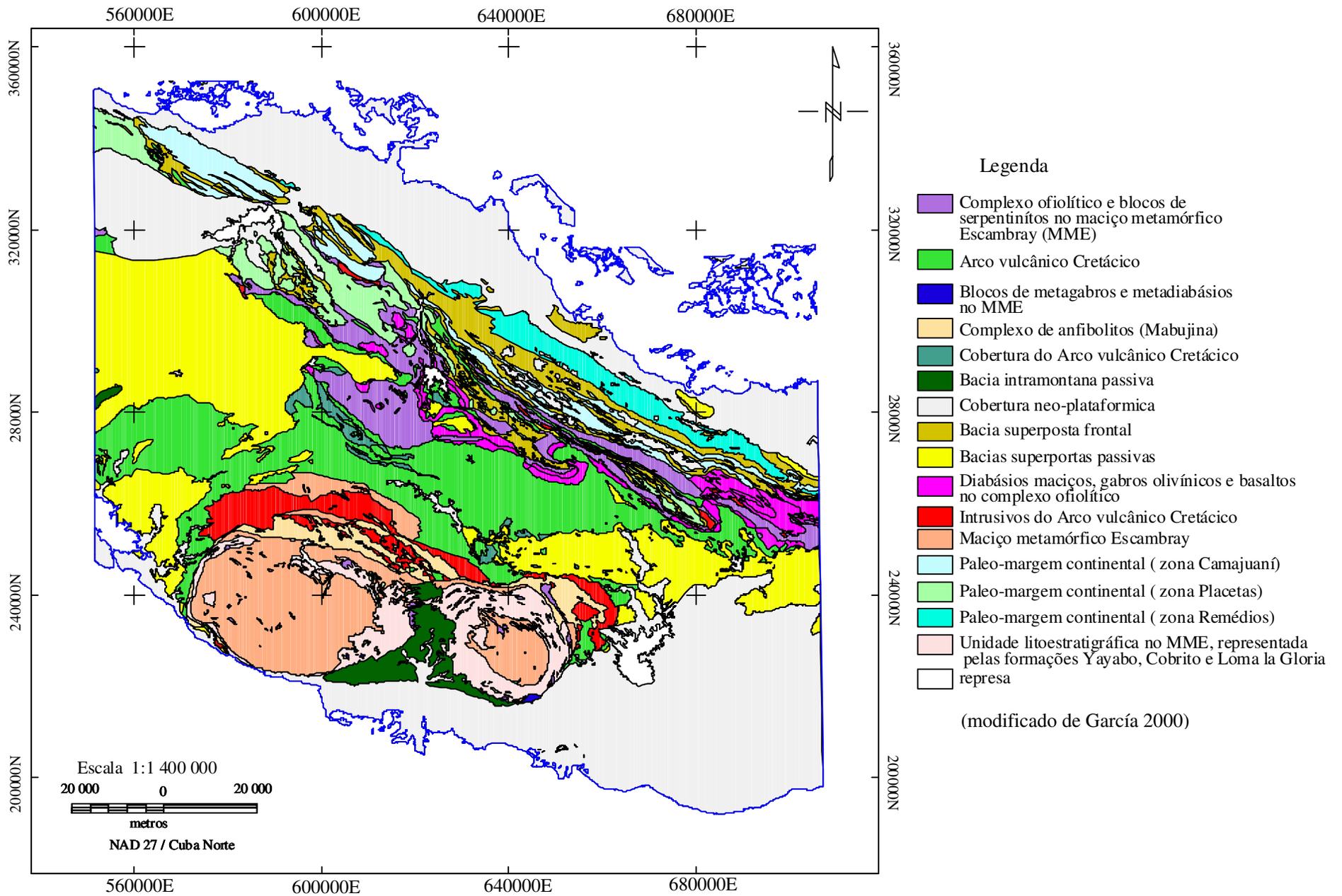
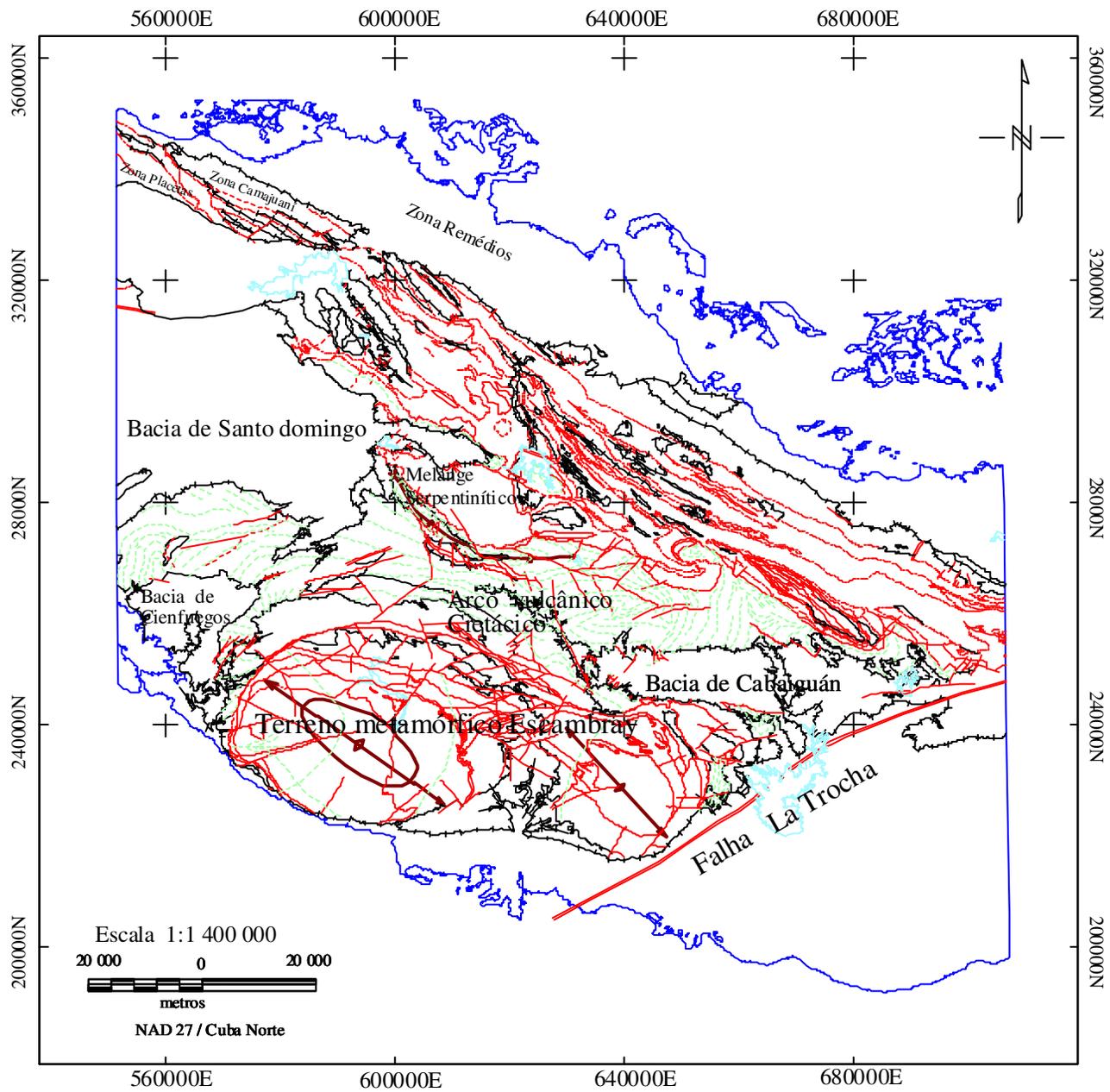


Figura 2.1 Mapa de traços estruturais e geológicos da região central de Cuba.



Legenda

-  Costa
-  Represas e lagoas
-  Falhas definidas
-  Falhas inferidas
-  Zona de sutura
-  Contato discordante
-  Contato normal
-  Linhas estruturais
-  Sin - antiformas
-  Dobras recumbentes

(modificado de Millán, 2000)

CAPÍTULO 3. PROCESSAMENTO E RESULTADOS DA GEOFÍSICA

3.1 - INTRODUÇÃO

Os trabalhos de levantamentos aerogeofísicos, anteriores à década de 80, têm colocado a espectrometria gama como poderosa ferramenta no mapeamento de diferentes ambientes geológicos juntamente com a magnetometria aérea e outros campos físicos. Como exemplo, pode-se citar os trabalhos de King (1978), Brislaw (1979), Grasty (1979), Grasty *et al.* (1984), Killeen (1979). Merecem destaque, os trabalhos mais recentes de Grant (1985), Darnley (1971), Darnley *et al.* (1975), Darnley & Ford (1989), Telford (1990), Jaques *et al.* (1997), Minty *et al.* (1997), Dickson & Scott (1997) e Watson *et al.* (1997), entre outros.

Particularmente, a espectrometria gama destaca a presença e distribuição geoquímica natural dos radionuclídeos na crosta, através do processo de decaimento espontâneo dos átomos de certos isótopos instáveis, através da emissão de diferentes tipos de partículas, como α (alfa) e β (beta), e as radiações gama. A ocorrência deste processo radiogeoquímico detecta-se tanto pelo corpo humano ao ser irradiado, principalmente pelas radiações gama, quanto pelos aparelhos especializados empregados nos levantamentos terrestres e aéreos, os que complementarmente e, não por acaso, integram-se de forma simultânea às informações de campos potenciais.

Ao serem levadas em conta as diferenças energéticas entre as partículas e as radiações, a presença da provável fonte geradora será detectada, sempre que esteja aflorando ou localizada a profundidades rasas, da ordem das primeiras dezenas de centímetros da crosta terrestre; ou ainda, quando simplesmente as fontes contribuem ao incremento dos teores desses radionuclídeos, no solo e no regolito, provocando alterações do *background*. Essas contribuições alcançam, às vezes, níveis de concentração consideradas anômalas na interface solo - rocha ou acima de alguns tipos de estruturas (Galbraith & Saunders 1983; Rybach 1994).

Dos aproximadamente 20 elementos radioativos naturais conhecidos, os radioisótopos do K (potássio), ^{40}K , ^{238}U (urânio) e ^{232}Th (tório) representam os principais radionuclídeos emissores de radiação da crosta terrestre. A relativa abundância na natureza e os desequilíbrios que são gerados em suas séries de decaimento, como consequência dos diferentes processos químicos e físicos naturais, têm permitido a detecção e utilização de seus teores em pesquisas que visam o mapeamento geológico.

Para a espectrometria gama, o potássio, elemento mais abundante na natureza, detecta-se

de maneira direta pelo decaimento da emissão energética do ^{40}K , em 1,46 MeV. Os radionuclídeos urânio e tório, que encabeçam as duas séries radioativas que terminam nos isótopos estáveis de ^{206}Pb e ^{208}Pb , são detectáveis pelos decaimentos do ^{214}Bi e do ^{208}Tl , com energias de 1,76 MeV e 2,61 MeV, respectivamente (Grasty, 1979).

Na detecção dos teores da radiação natural tem-se empregado diferentes equipamentos e formas de levantamento, em laboratório ou no campo, em terra ou no ar, cuja evolução na sensibilidade das medições, ao longo do tempo, tem permitido considerar a gamaespectrometria em geral, e na sua versão aérea, em particular, como uma ferramenta radiogeoquímica altamente eficiente nas pesquisas geólogo - geofísicas de extensas regiões (Doyle 1990). Atualmente, a potencialidade do método é estendida a estudos geomorfológicos e outros mais detalhados do meio ambiente geológico (Wilford *et al.* 1997).

Complementarmente, os métodos geofísicos que aplicam campos potenciais, como a magnetometria, contribuem com o mapeamento geológico, destacando as feições geólogo - estruturais nos diferentes complexos rochosos (Jaques *et al.* 1997; Anderson *et al.* 1997).

Os métodos gamaespectrométricos aéreos, além de contribuir com o mapeamento geológico, podem ser empregados na estimativa do valor dos níveis de exposição externa, devido à radioatividade terrestre natural no meio ambiente de uma região (UNSCEAR 2000, Anexo A). A aplicação da gamaespectrometria aérea abrangendo esta temática é objeto do presente estudo na região central de Cuba, sendo a primeira vez que se empregam, de maneira regional, os dados do levantamento aéreo para tal fim.

As técnicas de processamento digital e a criação de composições coloridas (Duval 1982; Drury 1993) serão utilizadas num ambiente SIG, para avaliar e estabelecer as possíveis regularidades entre as concentrações dos radionuclídeos, o meio geológico e as estatísticas sob óbitos por doenças cancerígenas nas diferentes populações na região central da República de Cuba.

3.2 - PREVISÃO PARA OS CAMPOS FÍSICOS

Dos radionuclídeos da crosta terrestre, o urânio e o tório são os menos abundantes. Com concentrações médias da ordem de 12 ppm e 3 ppm na crosta, respectivamente, apresentam-se, geralmente, como minerais acessórios ou elementos traço, enquanto o potássio, oitavo elemento em abundância na crosta, alcança concentrações médias da ordem de 2,35 % (Adriano 1986).

O urânio e tório são considerados elementos *indicadores* da presença de outros elementos como o lítio, céσιο, berilo, nióbio e zircônio e dos elementos componentes das terras raras, que freqüentemente concentram-se em alguns tipos de rochas. Nas rochas, os teores esperados de urânio dependerão da sua presença em hospedeiros como a monazita e o zircônio e da sua mobilidade no meio ambiente específico.

Levando em conta os traços lito - geoquímicos, idade e composição dos granitóides - rochas ácidas na região (Capítulo 2, epígrafe 2.2.1.5), espera-se a presença de teores de urânio levemente superiores em relação aos outros intrusivos do AVC.

Para o urânio é característico seu alto poder de migração em ambientes oxidantes, onde forma parte de complexos carbonáticos, sulfatos e fosfatos. No entanto, em ambiente redutor, seu comportamento muda para baixo poder, associando-se a argilas e óxidos de ferro.

3.2.1 - Espectrometria de raios gama

A constituição geológica da região central de Cuba, conforme exposto no Capítulo 2 e em concordância com a Tabela 3.1, apresenta unidades de diferente natureza, complexidade estrutural e contraste nas propriedades físicas, o que permite seu mapeamento com relativa clareza.

Na região de estudo, espera-se incremento dos teores de urânio nas rochas da Paleo - margem continental, acima dos calcários biodetríticos, brecha - conglomerados, silicitos e depósitos biogênicos - calco - arenitos e argilas, pela possível adsorção e retenção de diferentes componentes e óxidos de ferro; espera-se incrementos também, na Cobertura Neoplataformal e na Bacia Frontal, sobre os calcários ricos em fósseis, calcários detríticos e conglomerados polimíticos, já que é possível esperar teores elevados ou anômalos de urânio nos complexos solúveis formados nestes carbonatos e fosfatos, coexistindo ou não, com incrementos de tório, na proporção em que esses sedimentos se encontrem associados com óxidos de ferro. De tório,

esperam-se também incrementos de seus teores nos ofiolitos e nos blocos de metavulcânitas básicas e solos da mesma natureza e nos metagabros dioritos e eclogitos do maciço metamórfico ao sul.

No AVC e na sua cobertura, espera-se a coexistência dos teores médios de tório e urânio e de certo aumento dos teores de potássio, em proporção ao incremento de sílica em suas rochas ácidas e intermediária - ácidas. A resposta radiogeoquímica esperada para a cobertura do AVC estará em concordância com sua origem e composição. Ela deriva dos processos de decomposição em condições tropicais dos feldspatos (calco - sódicos e potássicos), anfibólios e demais minerais máficos, com relativo enriquecimento de sílica no processo. Logo, a identificação (nestas condições) dos intrusivos intermediários pelo levantamento gamaespectrométrico dependerá dos teores médios de potássio sobre os corpos, do grau de retenção deste nos solos, do possível transporte e do contraste entre os conteúdos de radionuclídeos dos litotipos adjacentes (Wilford *et al.* 1997).

Tabela 3.1 - Propriedades físicas dos principais litotipos da região central de Cuba.

| Unidades geológicas | Litotipos | Densidade média (t/m ³) | Susceptibilidade Magnética média (10 ⁻⁵ SI) |
|------------------------|---|-------------------------------------|--|
| Plataforma das Bahamas | calcários e evaporitos | 2,64 | 5 |
| Neoautóctono | calcários e calcário - terrígeno - biogênicos | 2,62 | 10 |
| Bacia Frontal | calcário - terrígenos | 2,35 | 10 |
| | flysh olistostrômico | 2,45 | 30 |
| Ofiolitos | melange ofiolítico, gabros, peridotitos | 2,60 | 1000 (900)* |
| Bacias | terrígeno e calcário - terrígenos | 2,49 | 100 |
| AVC | efusivos e vulcano - sedimentares | 2,62 | 1300 |
| | granitóides | 2,65 | 1000 (200)* |
| | anfíbolitos | 2,93 (2,96)* | 200 (2300)* |
| Terreno Escambray | metaterrígeno - calcários | 2,66 (2,70) | 15 |

(modificado de Shaposhnikova 1969 e Stanik *et al.* 1975; *determinações em poços)

Nas rochas sedimentares, os teores dos radionuclídeos refletem, geralmente, os teores da rocha fonte, mas a presença de alterações superficiais resultantes da ação do intemperismo deve ser levada em consideração (Minty *et al.* 1997). Quando o intemperismo é fator determinante, são

observados intervalos amplos de variação nos teores dos radioelementos nas superfícies rochosas cobertas (Dickson & Scott 1997). Os autores salientam que nestas condições, a ocorrência potencial do desequilíbrio entre os radioisótopos do urânio e o ^{226}Ra provoca grande diferenciação entre os seus conteúdos.

Logo, se o fator intemperismo for levado em consideração, também é possível esperar que nas rochas sedimentares da Paleo - margem continental os teores de urânio e tório alcancem incrementos pela retenção de zircônio, óxidos de ferro e silicatos nas argilas e carbonatos que situam - se em cima das rochas carbonáticas parcialmente intemperizadas.

No entanto, nas metavulcanitas e nas rochas básicas no Terreno metamórfico Escambray ao sul, são esperados teores de tório e urânio superiores ao valor médio, pela associação destas seqüências magmáticas com materiais detríticos argilo - quartzíticos e intercalações de filitos sericiticos e meta - arenitos, ocasionalmente carbonosos.

Nos anfibolitos, que apresentam natureza vulcano - sedimentar e intrusiva primária de caráter básico, com quartzitos e gnaisses em associação (quartzo - plagioclásio - biotito - hornblenda), espera-se também uma resposta dos canais espectrométricos com destaque nos teores tanto de tório quanto de urânio.

A caracterização radiogeoquímica detalhada dos litotipos da região em estudo será apresentada como parte dos resultados do processamento e análise dos dados aéreos.

3.2.2 - Magnetometria

Considerando os dados regionais da Tabela 3. 1 e os resultados de trabalhos precedentes (Prol & Arriaza 1993; Iturralde - Vinent 1996 a, b), o campo magnético deve fornecer, com clareza, informação sobre as principais estruturas e complexos geológicos.

Ao norte, as zonas Remédios, Camajuaní e Placetas, de natureza continental e composição terrígeno carbonática, devem apresentar contraste no campo magnético, em relação aos complexos rochosos que são fonte dos sedimentos e rochas do Arco Vulcânico Cretácico, mais ao sul.

No plano estrutural regional, é conhecida a complexidade do quadro tectônico que separa as rochas continentais e oceânicas (zona de sutura setentrional) (Ducloz, 1989; García *et al.* 2000). Esta zona deve ser marcada pela alternância de sinal e a variação nos gradientes do campo magnético. No entanto, sobre as rochas da associação ofiolítica propriamente dita, o quadro pode

apresentar diferentes respostas, segundo a dimensão e o grau de conservação das propriedades magnéticas destas rochas e dos outros complexos máficos que compõem o melange.

Pela composição vulcano sedimentar das rochas que preenchem as depressões estruturais superpostas ao AVC, espera-se que os sedimentos sejam mapeados, em geral, por valores mínimos do campo magnético anômalo (Prol & Arriaza 1993; Iturralde - Vinent 1996 a, b).

As rochas do AVC e, principalmente, os espessos derrames de basalto, andesitos e andesito - basaltos que os acompanham, devem ser mapeadas por máximos, locais ou regionais.

Ao sul, no terreno Escambray, o contraste entre rochas metamórficas, anfíbolitos e rochas do AVC (bem delimitadas por contatos tectônicos), devem ser mapeáveis pelo campo magnético. Mudança de sinal e intensos gradientes nas zonas falhadas, máximos locais e mínimos regionais serão o reflexo da presença e complexidade desta estrutura meridional na área de estudos.

3.3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 - Materiais

Os dados disponíveis procedem dos levantamentos aerogeofísicos (espectrometria de raios gama e magnetometria) na escala 1:50 000, efetuados na região central de Cuba em três setores, Villa Clara, Sancti Spiritus e Cienfuegos, os quais abrangem uma área aproximada de 16.500 km². Estes fazem parte do patrimônio técnico do Instituto de Geologia e Paleontologia (IGP) de Cuba e foram fornecidos para a realização do estudo.

Outros materiais também utilizados são:

- A base de dados da informação topográfica, na escala 1: 100.000, digitalizada para esta pesquisa sobre mapas topográficos de arquivo mais detalhados, incluindo a rede hidrográfica superficial (principais rios), que interpolada servirá de apoio na determinação teórica da Dose Efetiva Anual Cósmica recebida pela população da região central de Cuba;
- Informação geológica em formato digital, na escala 1:100 000, para toda a área de estudo em formato AUTOCAD. Essa informação foi editada, processada e unificada em ambiente SIG, com o programa Arc View, versão 3.2, para seu emprego como material básico no desenvolvimento do trabalho;
- Dados estatísticos dos óbitos por câncer para a região no período 1988 - 2000, cedidos pelo Ministério de Saúde Pública da República de Cuba, em formato Dbase. Essa informação foi totalmente editada, convertida em códigos legíveis, em concordância com as características

nominais de cada província, município e vilarejo e a recente classificação dos Códigos Internacionais de Doenças, CID - 10, reconhecidos pela OMS e OPS;

- Dados censitários sobre as populações, cedidos pelas áreas de Planificação Física de cada província envolvida.

3.3.2 - Métodos

Esses levantamentos foram executados como parte da cooperação técnica entre organismos cubanos e russos. As principais linhas de vôo foram na direção N - S, espaçadas de 500 m, enquanto as transversais de controle foram na direção E -W e espaçadas de 10 km. Os vôos individuais, realizados em diferentes datas no período 1981 - 1990, foram compensados e levados ao nível geral da Rede de Apoio Nacional, efetuada no ano 1987 (Russanov & Prieto 1987).

As aeronaves empregadas no levantamento foram o MI - 8 (helicóptero) e o AN - 2, ambas de fabricação russa, sendo registrada a informação numa altura média de 60 m, controlada por meio do radar altímetro, com exatidão no plano de 50 m. A navegação foi controlada por fotografia aérea com um intervalo médio de 3,5 km.

O equipamento empregado na aquisição dos espectros energéticos dos canais ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th foi o AGS-71s de fabricação russa, com 96 canais, possuindo quatro (4) monocristais inorgânicos de Iodeto de Sódio ativado a Tálcio NaI(Tl) de 200 mm x 100 mm cada, completando uma massa volumétrica total de cintilação de 12.500 cm^3 , aproximadamente. Esse volume é adequado para a detecção das emissões gama em aeronaves de pequeno porte, capazes de manter uma velocidade cruzeiro de aproximadamente 100 km.h^{-1} , para alturas médias de vôo de 50 m a 70 m, sobre o relevo. A contagem das emissões gama recebidas é integrada e distribuída para os intervalos energéticos padrão seguintes: K (1,35 MeV - 1,55 MeV); U (1,65 MeV - 1,85 MeV) e Th (2,50 MeV - 2,80 MeV), nos quais podem ser destacadas as linhas espectrais das energias 1,46 MeV, 1,76 MeV e 2,62 MeV, respectivamente. A estabilização de ganho nas fotomultiplicadoras foi mantida para cada cristal com base no fotopico do potássio, tendo sido estabelecida a taxa de amostragem do gamaespectrômetro em 1 s, o que representou medições a intervalos de 25 m - 35 m no terreno, aproximadamente, sendo empregado um sistema de registro com fita de papel perfurada.

Para o controle sistemático diário das medições (antes e depois de cada vôo), foram

empregados padrões compostos de elementos radioativos em concentrações fixas de alta pureza e foram sobrevoados polígonos padrões naturais para a calibração dos registros das contagens por canal e o controle da sensibilidade do equipamento.

Para garantir a calibração se selecionaram três setores nas proximidades da área do levantamento, sendo que cada um deles caracterizou, pelos níveis de seus teores, pelo menos um dos radionuclídeos, potássio (K), tório (Th) ou urânio (U). Efetuada a seleção empregou-se, simultaneamente, aparelhos de mapeamento tanto aéreo quanto terrestre para o detalhamento dos polígonos correspondentes, garantindo assim que, ao medir na vizinhança, pudessem ser atingidos diferentes níveis (mínimos, médios e máximos) do radionuclídeo específico.

Os setores selecionados devem apresentar, preferencialmente, declividades não maiores que 3° - 5° , abranger uma área não menor de 1.000 m x 300 m e serem sinalizados de maneira que possam ser facilmente distinguidos do ar. Devem ser o mais simples possível em sua estrutura geológica e com bons afloramentos. Em cada setor, são marcados 5 perfis ou linhas de caminhamento paralelos entre si, uma linha central e duas laterais, a distâncias de 50 m e 150 m, respectivamente, localizadas lateralmente à linha central. As linhas são convenientemente estaqueadas com distância de 50 m entre pontos; nestes pontos, são efetuadas as medições de espectrometria gama terrestre e a amostragem geoquímica, empregando a metodologia de “*envelope*”, que consiste em definir um quadrado de 1 m^2 de área com centro no ponto de referência da amostragem onde, cada ângulo do quadrado e o ponto central foram amostrados na própria estaca. As amostras são moídas até uma fração de 0,07 mm, homogeneizadas e misturadas ou não, segundo as medições obtidas da espectrometria gama terrestre e levando em consideração as observações visuais e a descrição dos afloramentos. O peso total das amostras deve atingir uma massa de 300 g - 400 g, devendo-se manter seladas em sacos plásticos por quatro (4) semanas, propiciando o restabelecimento do equilíbrio das séries ^{238}U e ^{232}Th com seus respectivos descendentes, antes de se medir as amostras. Estes resultados permitiram calibrar as medições feitas, convertendo em partes por milhão (ppm) para ^{238}U e ^{232}Th e em porcentagem (%) para o ^{40}K , as contagens registradas nos vãos sobre os 5 perfis nos polígonos naturais selecionados. O propósito de empregar tais polígonos naturais é conseguir, de forma econômica, calibrar os aparelhos em condições semelhantes às condições de semi-espaço infinito e distribuição uniforme assumidas para as áreas a serem levantadas na região. Esses procedimentos

sobre os polígonos naturais de calibração repetiram-se antes do início dos vôos do levantamento em cada setor e depois de qualquer ajuste técnico do equipamento aéreo.

Para a aquisição dos dados no canal magnético, foi utilizado um magnetômetro de prótons, denominado YAMP - 3, com precisão de 0,1 nT e com sistema de registro em fita magnética. Como variômetro terrestre foi empregado um magnetômetro M - 33 com precisão de 1 nT, localizado num setor de campo calmo dentro da área de levantamento. Os magnetômetros empregados eram de fabricação russa.

A primeira etapa de processamento, que consiste no controle da informação registrada e a referência fotogramétrica das observações no setor do levantamento, foi executada em Cuba, mas o processamento digital final e a aplicação de correções, na Rússia.

Para os canais de registro (espectrométrico e magnético), as principais correções efetuadas foram as seguintes:

Correção pela radiação de fundo (remoção do ruído atmosférico): efetuou-se tomando medições diárias a mais de 450 m de altura ou sobre represas de água doce para obter apenas a influência das radiações cósmicas e do aparelho de vôo com seus componentes. Este valor foi subtraído das medições realizadas em cada linha;

Correção pela influência mútua entre canais (efeito do espalhamento Compton): efetuou-se para eliminar as influências das radiações gama de energia mais alta nas janelas de energia mais baixa. As correções sobre os valores das medições, já corrigidas do ruído, conseguem eliminar os excessos das contagens nos canais de urânio e potássio pela influência do tório, assim como das contagens de potássio pelas radiações de urânio. O algoritmo específico aplicado para este fim usa os coeficientes de espalhamento Compton fornecidos pelo fabricante;

Correção pela altura de vôo: utiliza-se para normalizar os valores observados na altura média do levantamento, neste caso, estabelecida em 60 m sobre o terreno. Apesar dos efeitos da temperatura e pressão sobre as contagens serem normalizados à altura nominal, o erro pela atenuação das radiações gama com relação à distância fonte - detector, é corrigido pela equação

$$N_{\text{corr}} = N_{\text{obs}} \cdot e^{-\mu (h - h_0)}$$

a qual, para obter a taxa de contagens normalizada a altitude h_0 de vôo, leva em consideração as contagens N_{obs} já corrigidas pelo *background* e pela interferência entre canais à altura de vôo (h)

e o coeficiente de atenuação linear das radiações gama (μ_j) para cada um dos canais (janelas). Estima-se o valor de (μ_j) sobrevoando uma mesma anomalia no terreno para várias alturas, sendo possível calcular todos os pares de valores medidos para as correspondentes alturas de vôo e obter assim, os respectivos valores por canal de (μ_j). Na região de estudos utilizando a regressão linear dos valores do log (N_{corr}) vs h, foram obtidos os valores para μ_{Th} , μ_U e μ_K , que caracterizam a atenuação das energias das linhas do ^{214}Bi , ^{208}Tl e ^{40}K ;

Correção das variações diurnas do campo magnético total: efetua-se ao editar os registros da intensidade total do campo magnético (segundo a hora da amostragem), seguindo o registro analógico do magnetômetro de referência terrestre que acompanha a aquisição dos dados aéreos;

Correção de IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) do ano 1990. O valor foi removido para obter o campo magnético anômalo que caracteriza as fontes de interesse geofísico.

Os resultados obtidos dos vôos individuais realizados em diferentes datas no período 1981 - 1990, já corrigidos, foram compensados e levados ao nível geral da Rede de Apoio Nacional. O erro quadrático médio de nivelamento por canal foi potássio (0,16 %), urânio (0,19 ppm) e tório (0,27 ppm) (Ruslanov & Prieto 1987).

Após a execução dos levantamentos, os dados foram interpolados e compilados em mapas de curvas de contorno em papel, sendo acompanhados de relatórios técnico-econômicos em cada setor (Liubi *et al.* 1981, 1982; Martinova *et al.* 1985; Padilla *et al.* 1994).

3.3.2.1 - Aerogamaespectrometria

A base de dados das 13 folhas na escala 1:100 000 que abrangem a área levantada foi interpolada e unificada, numa malha de 500 m x 500 m, utilizando o programa de processamento e Geosoft. A qualidade dos dados primários na malha inicial 500 m x 500 m permitiu realizar o processamento estatístico com a menor alteração possível entre a distribuição da amostragem da região e a espacialização dos dados originais observados. Não se recorreu, portanto, à aplicação de filtros de pequena frequência de corte, embora persistam nas imagens os problemas de *aliasing* e de ausência de informação. Posteriormente, efetuou-se a escolha do método mais conveniente para a interpolação.

Somente com o propósito de apresentar imagens de melhor qualidade, após o tratamento estatístico, o espaçamento entre linhas de vôo foi reduzido a 1/4 do original, como sugerem os trabalhos de Lipski & Vasconcelos (1993), entre outros, obtendo-se uma malha com células de

125 m * 125 m, sem a incorporação de frequências espúrias (Davis 1973). Assim interpolados, foram representados espacialmente os teores dos radionuclídeos U, Th e do radioisótopo ^{40}K , incluindo também as imagens correspondentes às razões K/Th e Th/ U.

Com o propósito de avaliar a contribuição de cada radionuclídeo, foi aplicada a técnica de Componentes Principais (CP) aos dados gamaespectrométricos. Esta técnica, importante ferramenta na análise de dados geológicos, permite a manipulação das imagens multiespectrais que caracterizam um espaço de atributos (Drury 2001). Baseada na estatística multivariada, analisa as frequências de distribuição das intensidades das bandas espectrais nas imagens e extrai destas, as possíveis combinações lineares aditivas entre as variáveis não correlacionadas, levando em consideração a informação do *pixel* e de sua vizinhança, com variâncias sucessivamente menores entre si (Singh & Harrison 1985).

Na área de estudos, o espaço de atributos é caracterizado por três bandas, uma para cada canal de registro espectrométrico. No processo para calcular as componentes principais determina-se primeiro, a direção relativa ao centróide (centro de gravidade da distribuição, onde um hipotético *pixel* de intensidade média da imagem seria localizado) que possui a máxima variância ou espalhamento, atribuindo a ele o eixo da CP1; essa é a direção que descreve a correlação entre as três imagens. Em seguida, determina-se a direção relativa ao centróide que possui a segunda maior variância, sendo exigida a condição de ortogonalidade entre ambas direções e a esta segunda direção é atribuído o eixo da CP2. O processo se repete até determinar o eixo da terceira banda e, finalmente, rotaciona-se a distribuição do espaço de atributos em volta do centróide, até que cada uma das três direções encontradas fique paralela a um dos eixos originais.

O processo implementado de forma algébrica no programa ERMAPPER calcula os coeficientes de correlação ou as covariâncias para se determinar os autovalores e autovetores correspondentes às possíveis combinações lineares aditivas. Os autovalores representam o comprimento dos eixos das CP's e os autovetores, que operam como fatores de ponderação nas combinações lineares, fornecem a contribuição de cada banda original para a PC avaliada. Porém, as CP's contém a melhor distribuição em composições coloridas das bandas analisadas, sendo reflexo da correlação entre elas (Crósta 1992). Assim, a CP1 contém a informação comum às bandas originais dos três canais gamaespectrométricos (urânio; tório e potássio), a CP2 contém a feição melhor correlacionada do conjunto e, de forma sucessiva, o resto das CP's terão

correspondentemente feições cada vez menos significativas, mas não qualitativamente menos importantes, até concentrar na última componente o resto da informação. A utilidade da técnica é marcante, porque a variância estatística nas imagens está relacionada ao comportamento espectral dos alvos e a dimensionalidade estatística dos dados da imagem, fato extremamente útil para o mapeamento.

Em seguida, com as malhas dos três canais, realizou-se a integração de suas imagens coloridas para obter o mapa Ternário no espaço RGB (Duval 1982), conseguindo-se assim, uma representação dos teores para a avaliação qualitativa regional do meio geológico em apenas uma imagem.

Através da caracterização radiogeoquímica de litotipos e estruturas nos diferentes ambientes geológicos, estimam-se os níveis de doses por irradiação gama que atingem as populações envolvidas e, no ambiente SIG, avalia-se o possível relacionamento destas doses com as doenças refletidas nas estatísticas médicas da região. Porém, como será observado no capítulo quatro (4), as malhas dos teores dos radionuclídeos serão o elemento básico para caracterizar estatisticamente o meio geológico e estimar as contribuições externas às doses.

Outras estimativas em relação às componentes cósmicas serão também abordadas de forma teórica e, finalmente, ambas contribuições poderão ser mapeadas pela primeira vez na República de Cuba, servindo de suporte à análise das estatísticas disponíveis sobre câncer na região e com a possibilidade de serem empregadas como “*base de referência ambiental*” no país, pelo Sistema de Vigilância Radiológica Nacional de Cuba.

3.3.2.2 - Aeromagnetometria

A base de dados aeromagnéticos da área, foi interpolada também numa malha regular de 500 m x 500 m e representada como imagem digital, para ter uma idéia qualitativa inicial das mudanças espaciais deste campo físico, antes de estimar as profundidades aproximadas dos topos das fontes geradoras das anomalias magnéticas através de seu *Espectro de Potência* (Hsu 1984; Hsu *et al.* 1996; Blakely 1996) para, posteriormente, proceder à aplicação de algumas transformações úteis para o realce da expressão do campo magnético anômalo. O espectro de potência se calcula através da equação de energia total:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |F(k)|^2 dk$$

onde: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - número de onda e, λ - comprimento de onda

Essa expressão, através da transformada rápida de Fourier, estende o módulo da função $F(k)$ no plano 2D, obtendo assim, uma representação gráfica do logaritmo da potência da função dependente do número de onda expresso em ciclos.km⁻¹, a qual permite, através das mudanças nas declividades da parte útil da curva (porção de frequências inferiores a *Nyquist*), estimar as profundidades dos topos das fontes magnéticas geradoras de anomalias, classificando-as e qualificando-as na seção. Também pode ser avaliada a faixa de ruídos, caracterizada por frequências maiores a *Nyquist*. A estimativa desta frequência é necessária para poder isolar eventos entre observações sucessivas, sabendo-se que o comprimento de onda que a caracteriza é o dobro (2δ) da distância δ entre observações sucessivas. A implementação desses cálculos é tarefa quase implícita dentro do processamento e mapeamento para campos potenciais no programa Geosoft. Após a classificação das fontes, através das técnicas de filtragem, podem ser isolados e realçados os diferentes tipos de fontes, desde que seus números de onda sejam conhecidos.

A seguir, foi aplicado o filtro de *Redução ao Pólo* sobre os dados do campo magnético anômalo observado, com o propósito de centrar a resposta às suas fontes correspondentes. O filtro aplicado tem como propósito, e consegue, eliminar os efeitos de assimetria, que a inclinação do vetor de campo magnético induz para $I \neq 90$ sobre os corpos e as suas adjacências para diferentes latitudes (Baranov & Naudy 1964). Desta forma, a redução ao pólo mapeia apenas anomalias causadas pela indução, sempre que não exista remanescência.

Para atenuar os efeitos das fontes supracrustais, afloradas ou próximas à superfície terrestre e ressaltar a assinatura das fontes magnéticas intracrustais, foi aplicado o filtro de *continuação ascendente*, segundo as estimativas dos intervalos de profundidades refletidas no Espectro Radial de Potência do campo magnético anômalo.

Levando em conta as possibilidades de análise empregando o SIG, o campo magnético reduzido ao pólo foi comparado ao mapa geólogo - estrutural para melhor caracterizar os diferentes níveis anômalos das principais estruturas.

Para realçar a resposta das fontes magnéticas, segundo as principais direções conhecidas da tectônica do setor, foram mapeadas as derivadas horizontais do campo magnético anômalo, que em conjunto com a espectrometria de raios gama permitiram adicionar (na condição de

elementos tectônicos supostos) alinhamentos vários no extremo NW da região (Millám in Garcia 2000). Outras transformações não foram consideradas necessárias para atingir os objetivos do trabalho.

3.4 - ESPECTROMETRIA GAMA. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Para se obter as malhas finais dos teores dos radionuclídeos, os dados das malhas primárias de cada canal foram analisados para a identificação de *spikes*, possíveis valores suspeitos ou aberrantes; os valores identificados foram rejeitados ou substituídos por valores mais consistentes. A Tabela 3.2 apresenta as estatísticas antes e depois do ajuste, na qual pode ser observado que a erradicação conduz ao ajuste dos teores dos radionuclídeos em geral, com pequenas mudanças nos teores de urânio e tório e ainda menores nos teores de potássio, o que reflete a repetição ou frequência relativa das ocorrências de valores em volta à média por canal, além da pouca representatividade dos valores isolados aberrantes na base de dados. A seguir, escolheu-se o método de interpolação mais conveniente, testando-se os oferecidos pelo programa Geosoft, sobre o canal de contagem total. As estatísticas obtidas são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.2 - Resultados estatísticos dos canais da espectrometria de raios gama.

| Radionuclídeos | Antes do ajuste | | | | Depois do ajuste | | | |
|----------------|-----------------|--------------|-------------|---------------|------------------|--------------|-------------|---------------|
| | Valor mínimo | Valor máximo | Valor médio | Desvio padrão | Valor mínimo | Valor máximo | Valor médio | Desvio padrão |
| urânio (ppm) | 0 | 22,3 | 1,2 | 0,9 | 0,1 | 14,0 | 1,3 | 0,9 |
| tório (ppm) | 0 | 49,9 | 2,0 | 2,0 | 0,2 | 31,3 | 2,4 | 1,8 |
| potássio (%) | 0 | 10,6 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 4,6 | 0,4 | 0,2 |

Ao serem aplicados sobre os dados de contagem total as diferentes técnicas de interpolação, verifica-se da Tabela 3.3 e das Figuras 3.1 e 3.2, que o método de mínima curvatura oferece certas vantagens por se tratar, entre elas, de uma técnica mais simples e eficiente. As pequenas diferenças obtidas nos resultados e no desvio padrão, facilitaram uma escolha condizente à boa qualidade, distribuição e alcance da correlação dos dados processados. As diferenças obtidas atingem só o segundo algarismo decimal, quando a precisão da base de dados é bem expressa pelo primeiro. Assim, praticamente em igualdade de condições, não se justifica

neste caso o emprego de uma técnica muito mais sofisticada, como o Kriging, pois sua utilização acrescentaria somente anisotropia estrutural, inerente aos dados (Handcock & Wallis 1994; Hutchinson & Gessle 1994). No caso particular da região central de Cuba, este fato evidencia-se independentemente da técnica de interpolação utilizada, sendo destaque o *trend* das estruturas com mergulho de 135° - 160° e *razão de 2 - 3* que apresentam as dimensões dos corpos e estruturas mapeados pelos campos físicos, cujos dados correlacionam-se, em média, até a distância de 10 km.

Tabela 3.3 - Resultados estatísticos obtidos na aplicação de diferentes métodos de interpolação sobre os dados de contagem total ($\mu\text{R/h}$).

| Parâmetros Estatísticos | Mínima Curvatura | Kriging | | Bi-Direcional Akima-Akima | Linear | Vizinho mais próximo |
|-------------------------|------------------|---------|-------|---------------------------|--------|----------------------|
| | | (a) | (b) | | | |
| mínimo | 1,47 | -0,34 | 0,34 | -1,38 | -1,84 | 0,01 |
| máximo | 21,45 | 21,45 | 20,94 | 24,43 | 23,33 | 21,45 |
| valor médio | 2,05 | 2,04 | 2,07 | 2,05 | 2,05 | 2,05 |
| desvio padrão | 1,21 | 1,24 | 1,20 | 1,24 | 1,28 | 1,23 |

Kriging: (a) modelo de tipo linear; (b) modelo de tipo parabólico (Rational Quadratic)

As composições coloridas apresentadas nos epígrafes subseqüentes, 3.4.2 e 3.4.3, que caracterizam os teores dos canais espectrométricos, fazem visíveis estas propriedades; entretanto, as mesmas somente se tornarão indiscutíveis, quando analisadas na seção, através da resposta geólogo-estrutural regional que apresentam as cartografias dos campos potenciais e as suas transformações. Na região, estas características são evidenciadas pelo campo magnético anômalo, epígrafe 3.5, através do qual avaliam-se as continuidades dos corpos e estruturas na seção e às vezes, até permite pressupor o possível caráter alóctone ou autóctone destes, fatos de interesse geológico e meio ambiental, no estabelecimento de possíveis vínculos das distribuições dos teores radiativos com as fontes correspondentes e as suas geometrias.

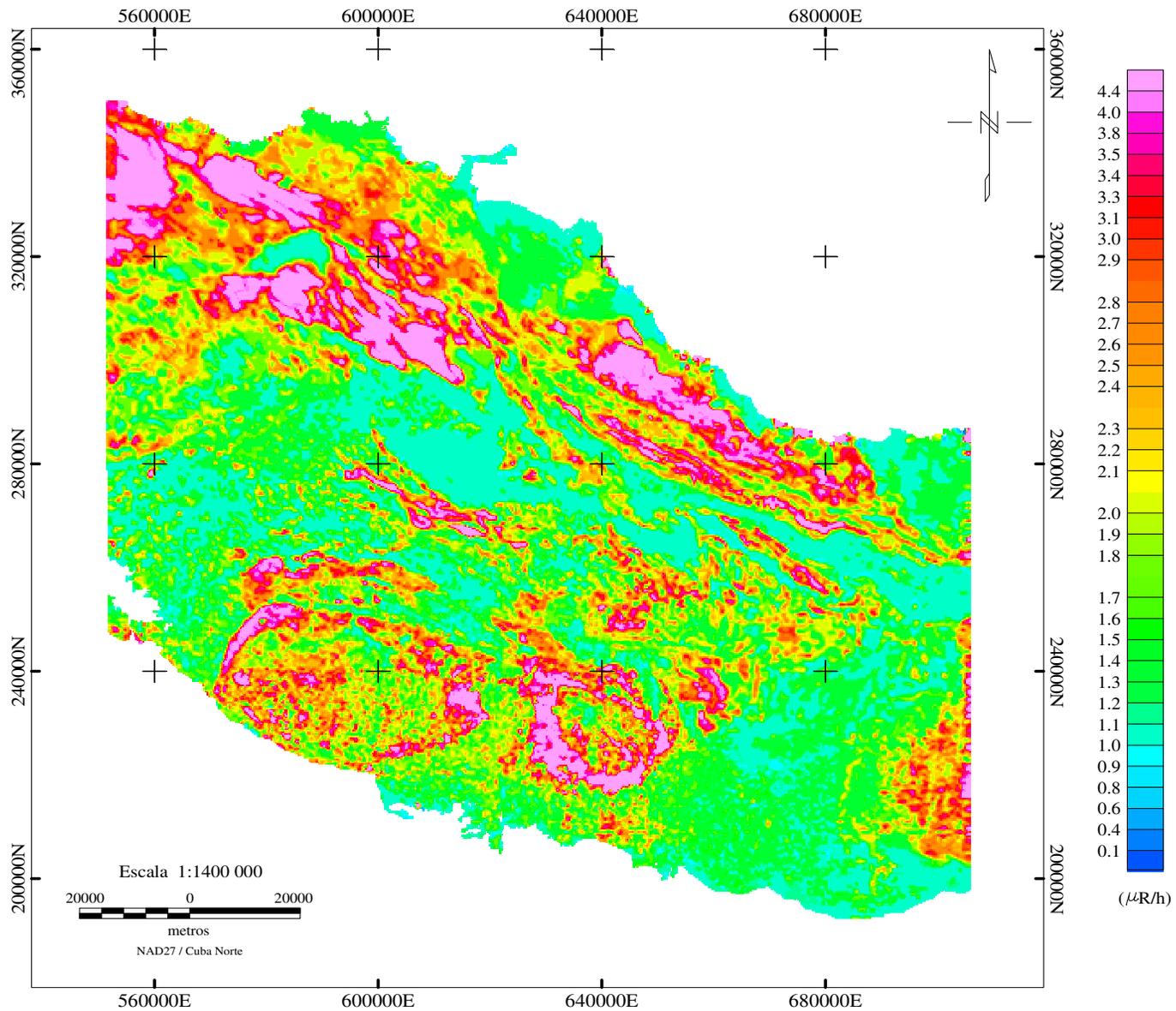


Figura 3.1 Mapa de contagem total($\mu\text{R/h}$), interpolação pela técnica de mínima curvatura região central de Cuba.

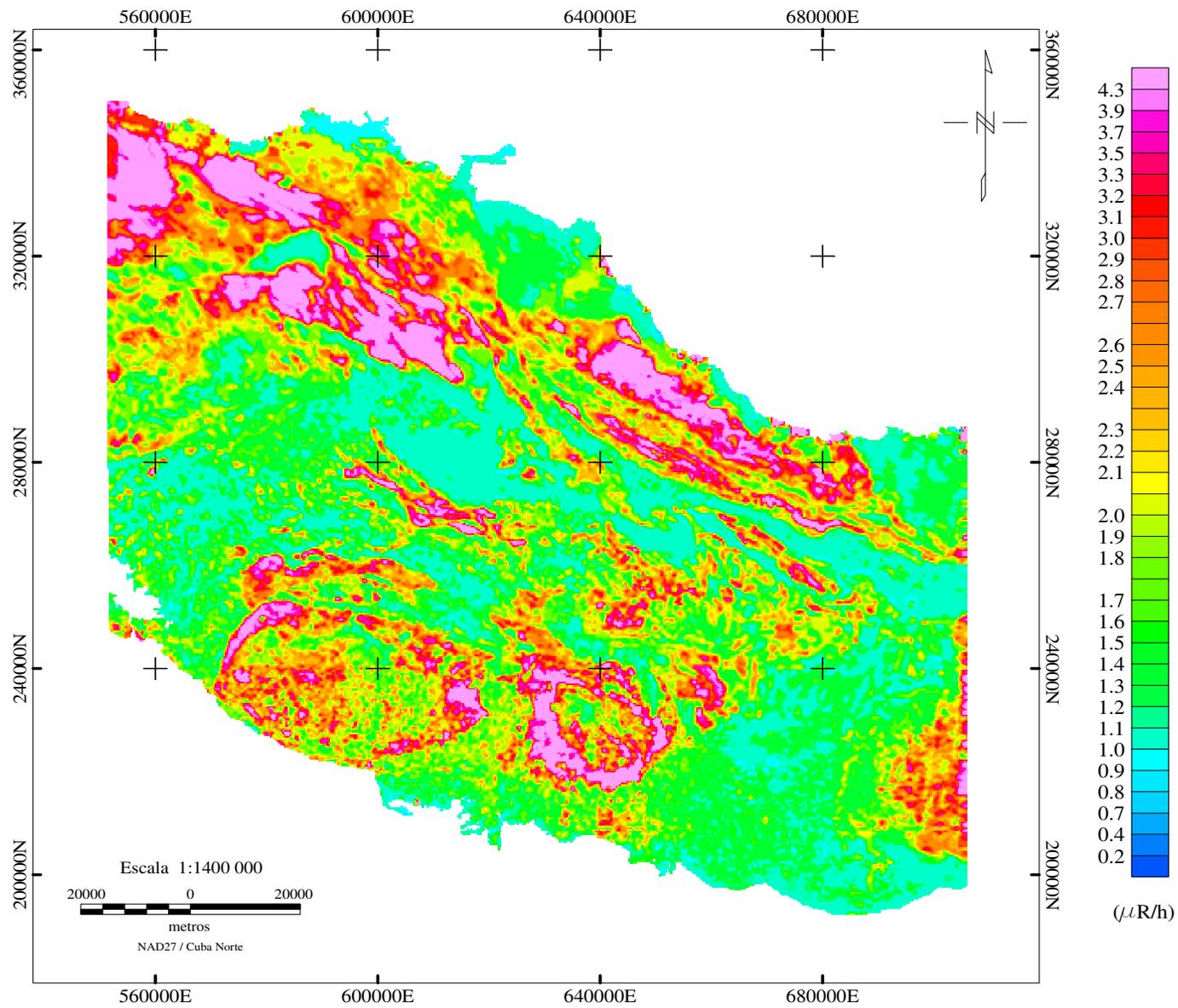


Figura 3.2 Mapa de contagem total($\mu\text{R/h}$), interpolação pela técnica Kriging região central de Cuba.

3.4.1 - Conceito de anomalia geofísica

O conceito de anomalia tem sido amplamente discutido em diferentes contextos da geoquímica e da geofísica, sempre condizentes com as técnicas de amostragem, o método e o modelo aplicado, levando em consideração, além disso, a geometria da fonte causadora do efeito anômalo observado.

Aponta-se em Miesh (1981), Roquin & Zeegers (1987) e Licht & Tarvainen (1996), para a prospecção geoquímica, e em Sinitsin (1974), Duval (1977) e Goodchild (1986) para a geofísica, a necessidade de realizar uma cuidadosa análise das observações e das suas autocorrelações espaciais. Sobre as observações Licht (1996) alega que, *“apesar da geoquímica se caracterizar por distribuições truncadas a direita ou esquerda pelas escassas observações, consegue-se estimar médias aritméticas confiáveis sempre que as populações sejam manipuladas com critérios probabilísticos, muito embora estas não sejam representáveis por modelos estritamente aplicáveis a distribuições normais”*. σ

Destas referências e da análise prática, conclui-se que a proporção de área entre a média (\bar{X}) ± 1 desvio padrão (σ), em relação ao total da curva de frequência das observações é, aproximadamente, 68,5 %, o que significa que para qualquer observação, existe essa probabilidade para que o valor observado se localize dentro da faixa compreendida entre a média do universo da população $\bar{X} \pm 1 \sigma$. Logo, no intuito de avaliar anomalias desta natureza, pode-se afirmar que a probabilidade de registrar teores maiores que a média é de 50%; entretanto, existe uma probabilidade em torno de 16% para observar teores maiores que $\bar{X} \pm 1 \sigma$, sabendo que restam para teores maiores, $\bar{X} \pm 2 \sigma$ e $\bar{X} \pm 3 \sigma$, apenas 2,5% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Assim, baseados na prática, Garret (1983) e Sinclair (1991), confirmando os critérios probabilísticos, rebatem e apontam que resulta perigosamente simplificado assumir como limiares anômalos os teores maiores anteriormente colocados, já que desta forma, anomalias sutis podem ser apagadas ou criadas outras, não significativas.

Mais recentemente, Lyatsky (1994), com sentido mais amplo, afirma *“pode-se considerar anômalo o valor que representa a diferença entre o valor observado de um campo físico, com respeito ao valor que poderia ter sido observado na mesma localidade, se a Terra fosse mais uniforme do que ela é”*, definição que embora muito geral, permite encontrar nas variações

regionais e se possível, locais, a resposta anômala nas propriedades das rochas, embora estas não possam relacionar-se diretamente a um tipo particular de característica geológica, sem um conhecimento prévio da geologia.

Apresentam-se a seguir, razões que visam várias causas, muitas além do valor e da resposta física. Observa-se, comumente, que distintas geometrias ou localização das fontes são capazes de causar anomalias semelhantes. Mas, apesar das mudanças nas propriedades físicas provocarem anomalias, estas podem ou não ser relacionadas a significativas mudanças na litologia e vice-versa. Daí, a importância do conhecimento, tanto dos elementos de tipo estrutural quanto litológico através dos campos físicos observados para que, aliado às propriedades físicas das rochas, se possa estimar os níveis do *background*. Esses níveis permitem assinalar as perspectivas possíveis de uma região ou, simplesmente, avaliar as perdas da uniformidade do meio ambiente, estreitamente vinculadas a um contexto geológico estrutural específico. As razões levemente maiores que o *background* podem indicar alterações geoquímicas e as feições a elas correlatas, fato este de grande interesse na exploração de depósitos minerais. Na realidade, as anomalias geoquímicas ou geofísicas indicam mudanças nas propriedades das rochas e não apenas mudanças litológicas.

3.4.2 - Composições coloridas e mapas elaborados do levantamento aerogeofísico

- **Mapas de contagem total, dos teores de urânio (U), tório(Th), potássio(K) e das razões dos teores K/Th e Th/U**

O mapa de contagem total (Figura 3.1) reflete de forma integrada a variabilidade dos teores dos radionuclídeos urânio, tório e do radioisótopo de potássio, num intervalo de baixos valores, que oscila entre os níveis do *background*, em torno de 0,5 $\mu\text{R/h}$, e máximos locais de 16,2 $\mu\text{R/h}$. Nas porções norte e noroeste, as intensidades são elevadas, variando de 4,0 $\mu\text{R/h}$ a 10,0 $\mu\text{R/h}$, principalmente, sobre os sedimentos Pleistocênicos, Mioceno - Pliocênicos da Neoplataforma e sobre os sedimentos das zonas Placetas, Camajuaní e Remédios da Paleo - margem continental. No centro do setor, no AVC, e ao sul, no Escambray, intensidades, embora menores, permitem o mapeamento das formações e das estruturas existentes.

Os mapas de teores de urânio e tório (Figuras 3.3 e 3.4) acompanham a assinatura dos valores elevados e anômalos descritos para a contagem total nas mesmas localidades; os valores do primeiro situam-se no intervalo de 0,3 ppm até 4,0 ppm, e no segundo, de 1,0 ppm até 8,4

ppm. Entretanto, no centro do setor, sul de Santa Clara, as formações refletem maiores teores de urânio que de tório. No Terreno Escambray e na direção sudeste do setor, este comportamento é invertido. O potássio (Figura 3.5) apresenta, na sua distribuição, uma assinatura contraposta às do urânio e do tório. Os teores variam de 1,2 %, em média, até máximos de 4,6 % localmente, sobre formações e estruturas ao sul, centro e centro - oeste do setor.

Apesar dos baixos níveis dos teores dos radionuclídeos, as razões K/Th e Th/U (Figuras 3.6 e 3.7) apresentam uma boa diferenciação das feições das rochas. Em concordância com os resultados dos outros canais, a relação K/Th evidencia que as rochas levemente ácidas localizam-se na faixa central e sul, alcançando valores médios de 0,2 até máximos de 3,1 sobre as feições mais calco - alcalinas do AVC. Porém, a relação Th/U apresenta seus menores teores nestas localidades. Essa relação alcança teores ao redor de seu valor médio 2,2, nas zonas Placetas, Camajuaní e Remédios da PMC e, localmente, atingem o valor 6 sobre zonas de alteração conhecidas. Apresenta também valores entre 1,5 - 4,0 sobre os plagiogranitos, na divisa com o complexo Mabujina. Além destas localidades, a faixa litorânea, o centro - sul e o sudeste da região, apresentam valores maiores para a relação, embora mapeiem sedimentos terciários ou depósitos resultantes do arraste de materiais pelos pequenos córregos e rios da região.

- **Mapa ternário no espaço (RGB)**

O melhor resultado da aplicação da técnica de composições coloridas sobre os dados de espectrometria gama obteve-se no espaço RGB com o mapa ternário (Figura 3.8), o qual apresenta os resultados do mapeamento de maneira qualitativa, baseado na distribuição das concentrações dos três canais espectrométricos. Observa-se que as concentrações de potássio se distribuem, preferencialmente, na porção centro - sul, em imbricações alternantes dentro do melange ofiolítico em tons avermelhados e magenta, confirmando o caráter ácido - intermediário - ácido das rochas do arco vulcânico e dos diferentes corpos de granitóides intemperizados das séries calcio - alcalina normal e alcalina (Pearce *et al.* 1984; Darnley & Ford 1989; Zelenka *et al.* 1990; Pérez & Sukar 1997; Lipski & Vasconcelos 1993; Prieto *et al.* 2000), semelhante ao quadro observado no mapa da relação K/Th (Figura 3.6).

Os setores que apresentam tons escuros correspondem aos baixos níveis de radioatividade das rochas máficas, em geral, e dos corpos de serpentinas e rochas da associação ofiolítica, em particular, que prevalecem nas porções centro - norte da área.

Destaca-se na porção sul, tanto faixas circulares, tectonicamente delimitadas sobre as antiformas do terreno Escambray, como faixas estendidas, ambas brancas, na direção dos lineamentos tectônicos NW - SE “Sistema Cubano”, a noroeste da cidade de Santa Clara e numa limitada porção centro - nordeste. Elas refletem a coexistência e maior contribuição dos três radionuclídeos em torno das zonas de alteração de velhas jazidas e manifestações de cobre - zinco conhecidas.

Nos setores centro - oeste e leste, sobre as bacias de Santo Domingo e Cabaiguán, observa-se o predomínio de tons verdes no mapa ternário, representando o tório. Neste caso, estão sendo mapeadas as depressões estruturais superpostas ao AVC que, como já salientado, estão preenchidas por rochas vulcânico - sedimentares. Porções limitadas ao norte, nordeste e sudeste, também podem ser mapeadas pela presença dos teores de tório. Estas são zonas de acumulação, no platô litorâneo, preenchidas com sedimentos da plataforma e recentes (neo - autóctone), geralmente arrastados pelas águas dos córregos intermitentes ou rios principais, na direção de suas desembocaduras, ao norte, transportados pelos rios Sagua la Grande, Sagua la Chica, e Jatibonico do Norte e, a sudeste, pelos rios Zaza e Jatibonico do Sul.

Quase toda a porção setentrional do setor de estudo apresenta tons verde - azulados que refletem a coexistência de urânio e tório e, portanto, a possível correlação espacial dos radionuclídeos sobre os complexos rochosos da Paleo - margem continental.

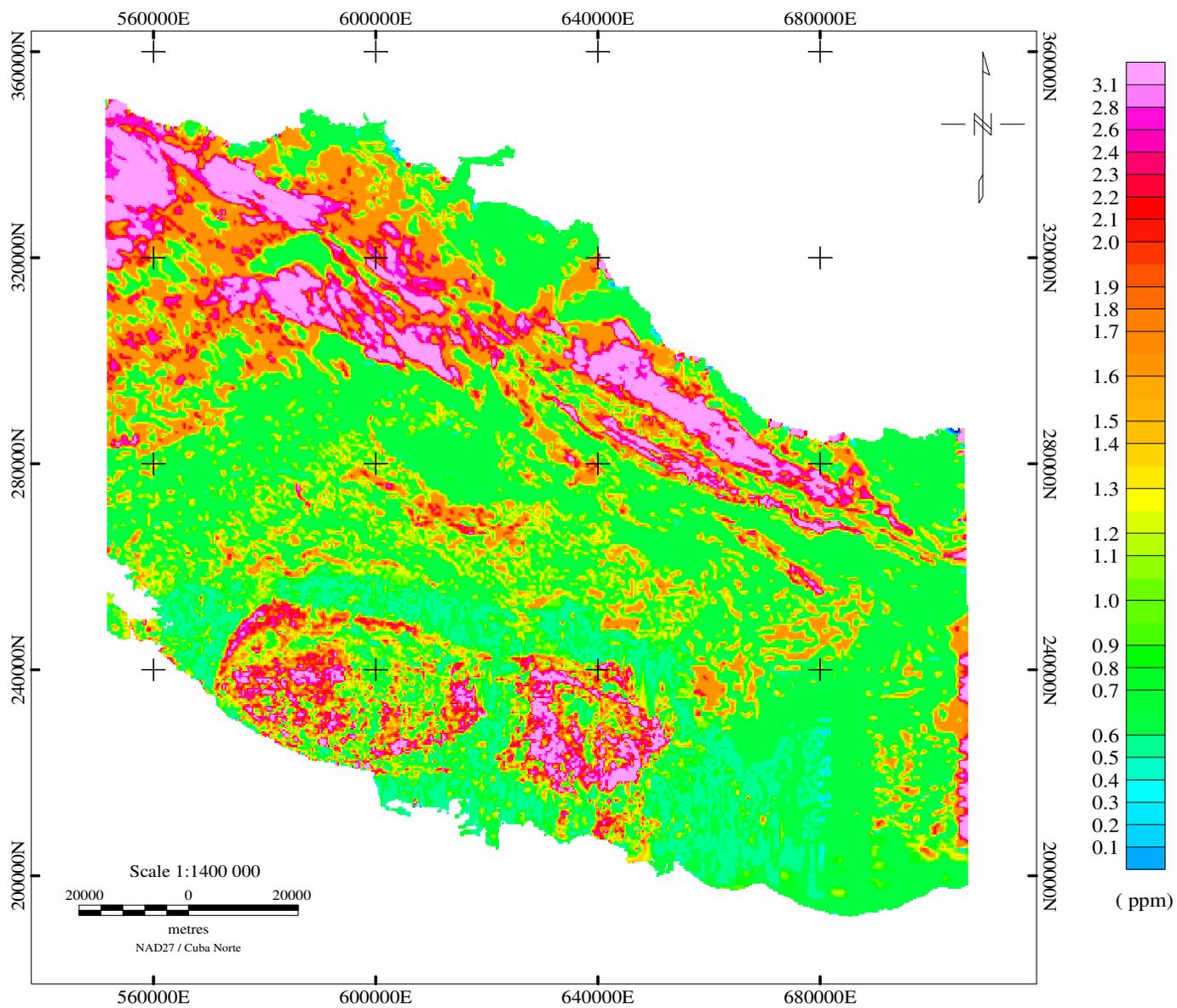


Figura 3.3 Mapa de teores de urânio (ppm), região central de Cuba.

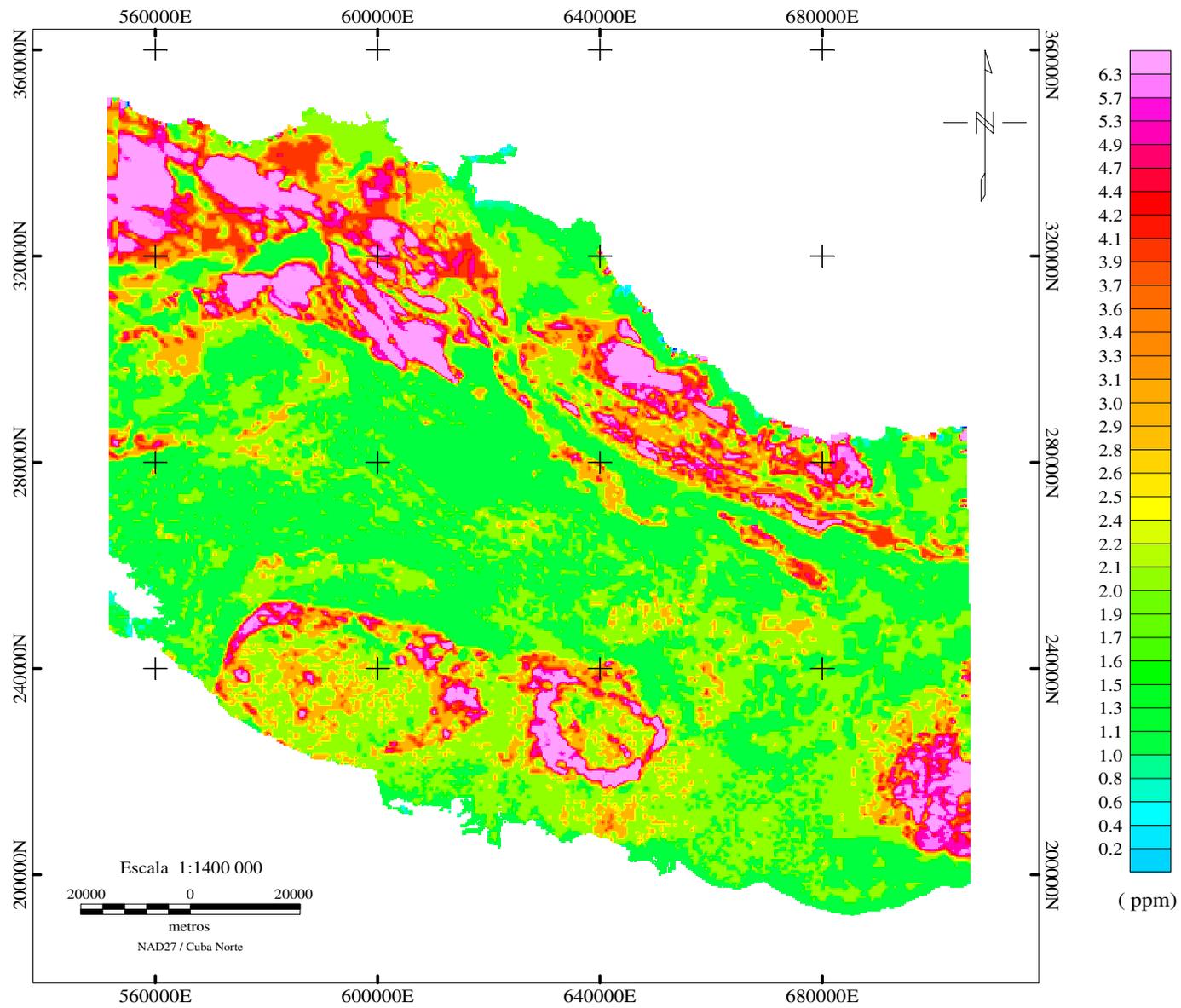


Figura 3.4 Maa de teores de tório (ppm), região central de Cuba.

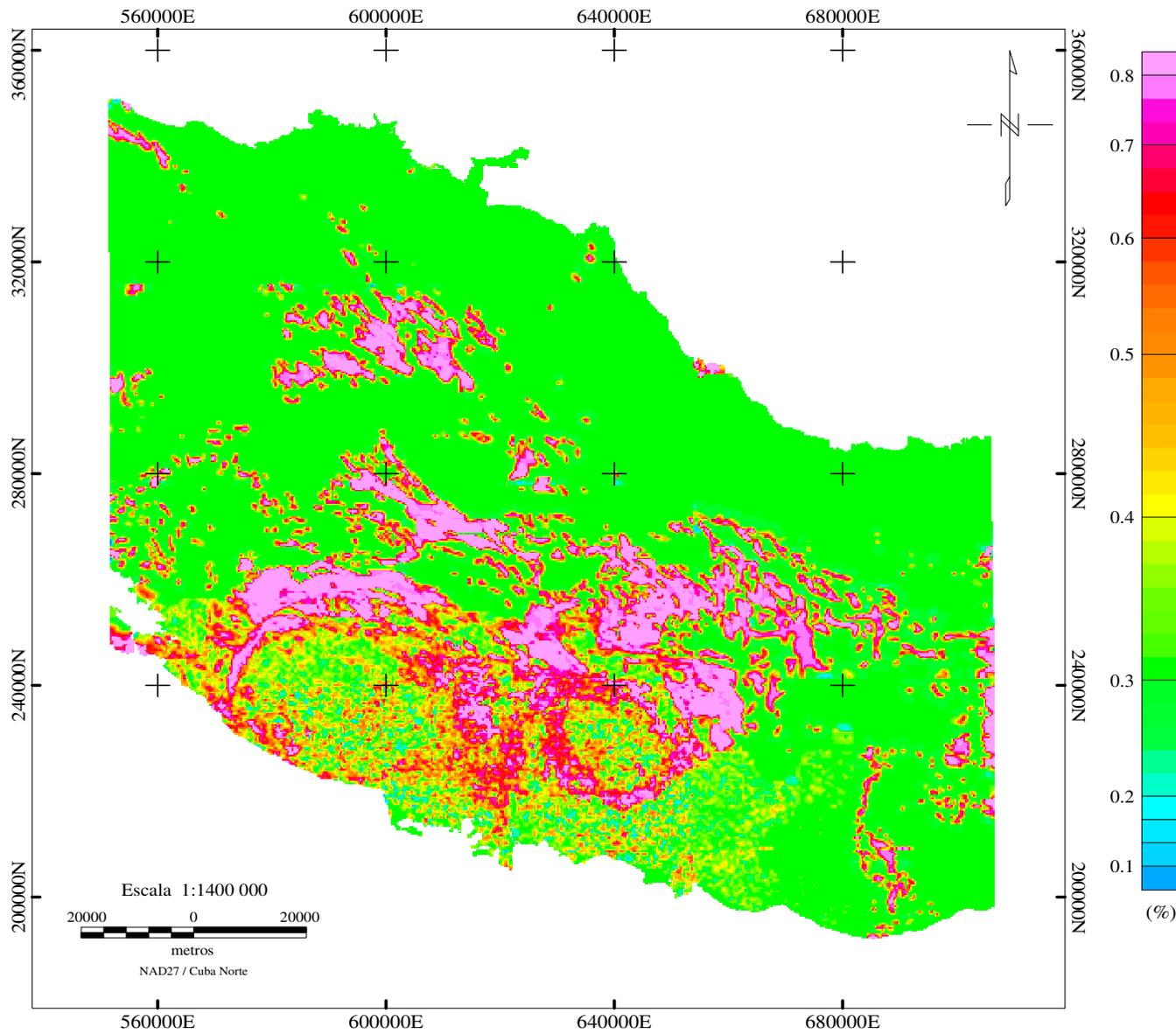


Figura 3.5 Mapa de teores de potássio (%), região central de Cuba.

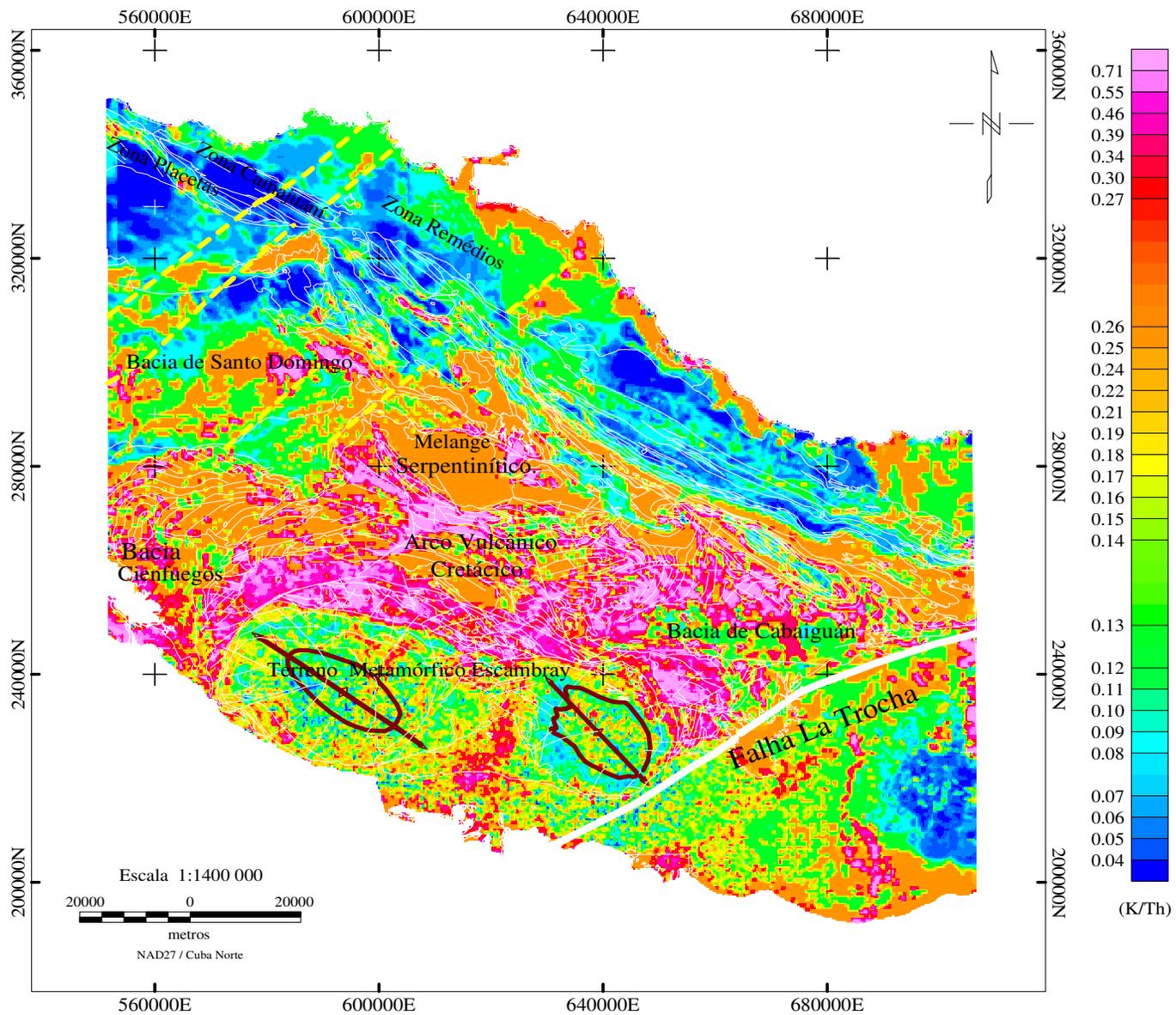


Figura 3.6 Mapa da razão dos teores K/Th e lineamentos tectônicos, região central de Cuba.

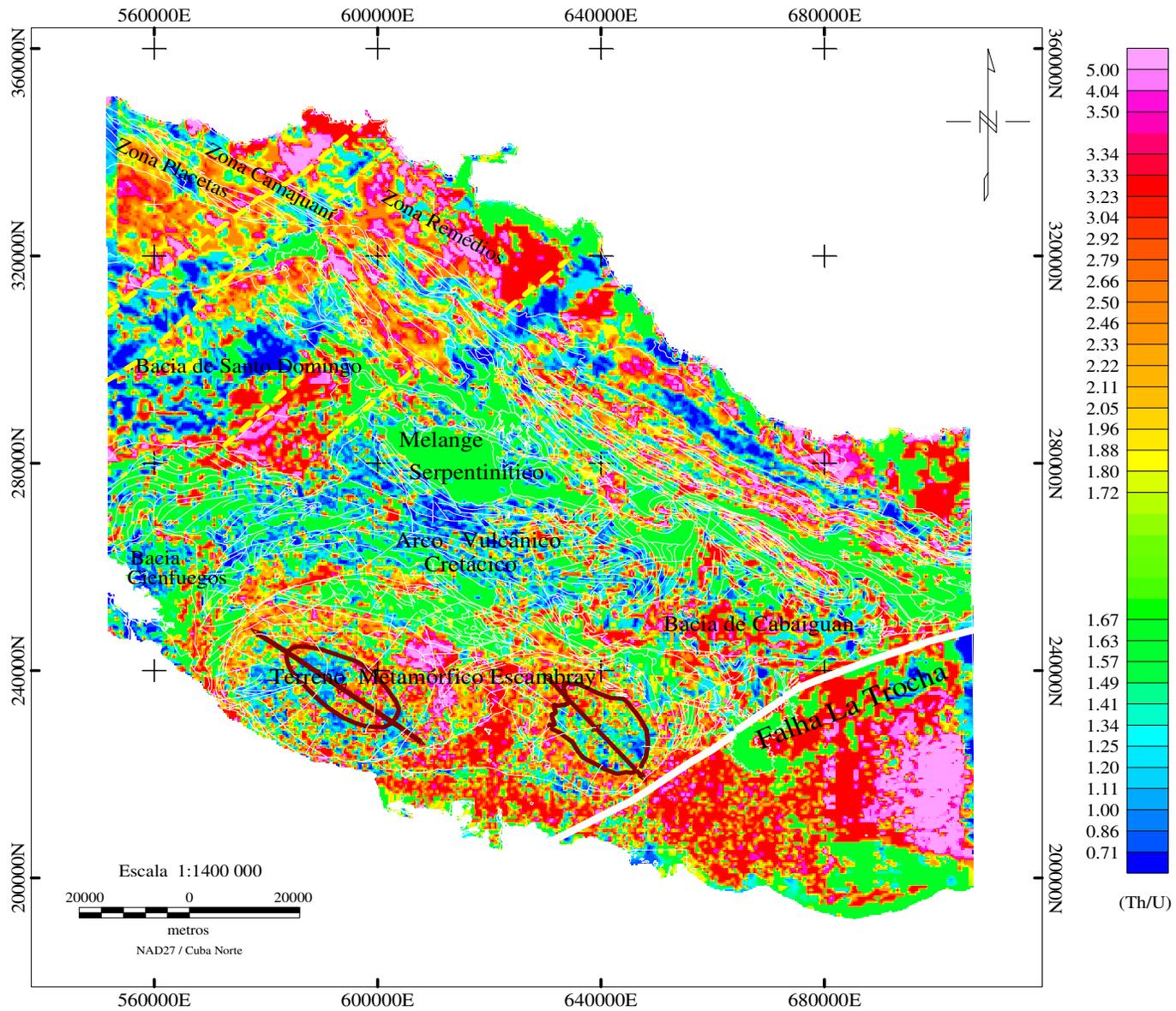


Figura 3.7 Mapa da razão dos teores Th/U e lineamentos tectônicos, região central de Cuba.

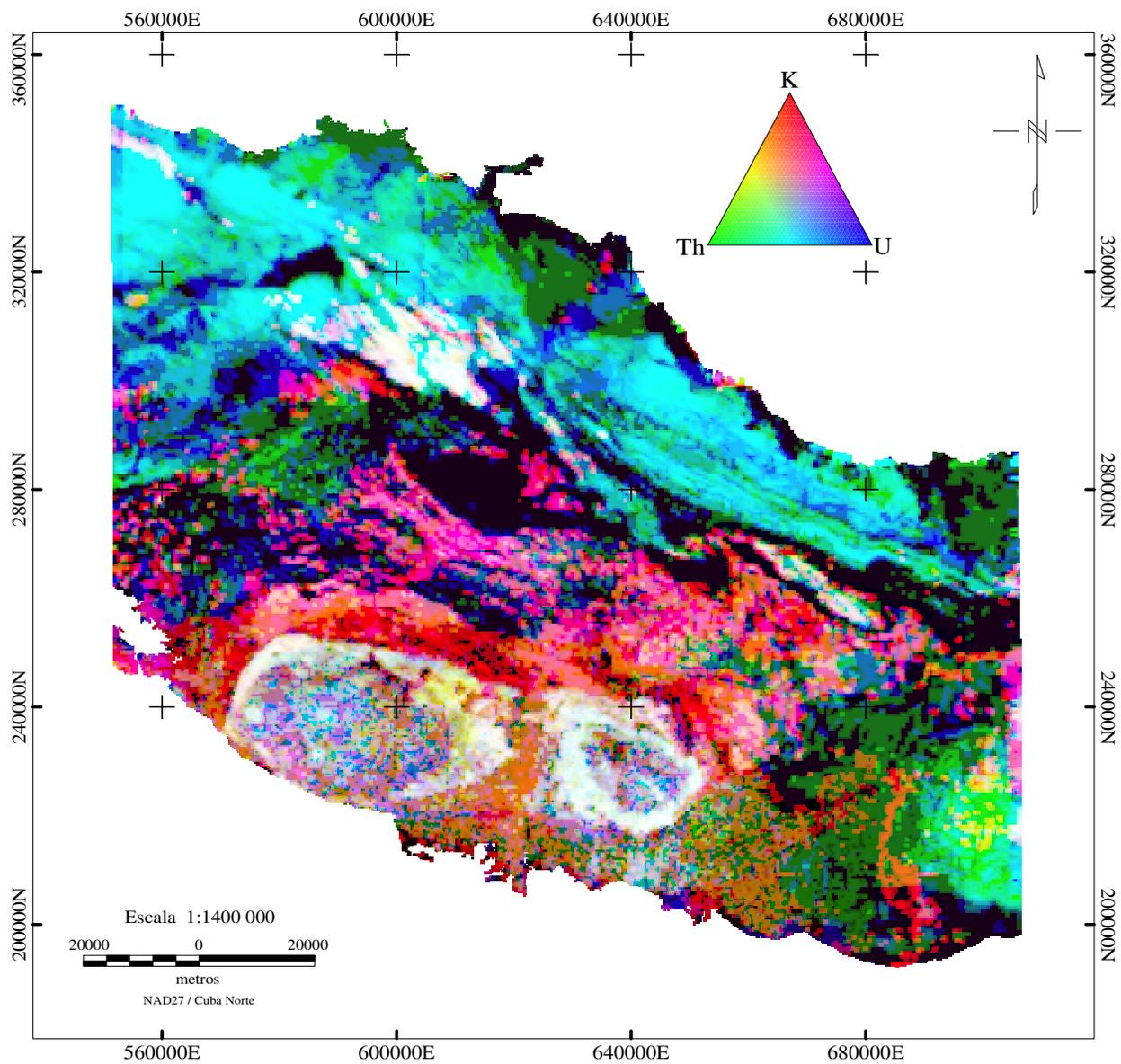


Figura 3.8 Mapa ternário (RGB), região central de Cuba, onde R - K; G - Th; B - U.

- **Componentes principais (CP)**

A técnica das Componentes Principais (CP), Drury (1993), foi aplicada para confirmar a contribuição observada nas composições coloridas dos teores dos radionuclídeos, através da correlação entre seus autovetores.

Na Tabela 3.4 e na Figura 3.9, observa-se pela primeira componente principal (CP1) que a maior contribuição ao setor de estudos é associada ao tório e ao urânio, o que corresponde à resposta obtida nos mapas da contagem total e ternário, mas com maior peso na contribuição dos teores de tório. No entanto, a segunda componente principal (Figura 3.10) indica uma contribuição antagonista dos dois radionuclídeos, o que contribui favoravelmente ao mapeamento. A terceira componente principal (Figura 3.11) reflete a efetiva e quase absoluta contribuição do radioisótopo do potássio.

A informação oferecida pela primeira componente principal (CP1) destaca a distribuição do tório sobre as rochas do maciço metamórfico Escambray, ao sul, identificam o caráter circular destas estruturas e, de certa forma, algumas diferenças nas distribuições das rochas e na geomorfologia entre as cúpulas Trinidad, a sudoeste, e Sancti Spiritus, a sudeste. Permite também o mapeamento dos granitóides que afloram na divisa entre o complexo vulcânico - sedimentar e os anfíbolitos Mabujina.

Na Zona Placetas, a noroeste, observa-se a maior contribuição da CP1 sobre os sedimentos de brecha - conglomerados (predominantes), com intercalações silícicas e de calcários de várias formações. A CP1 apresenta destaque, em geral, sobre as rochas da PMC que estão em contato com o complexo ofiolítico e rochas do AVC, análogas à resposta da contagem total. Na área onde aflora localmente o olistroma Vega Alta, a CP1 reflete sua composição heterogênea, representada por blocos e fragmentos de calcários de diversos tipos e idades, intercalações silícicas, serpentinitos, rochas vulcânicas e brechas, contidos numa matriz argilosa. A contribuição da segunda componente principal CP2 (tabela 3.4) deve-se basicamente ao radionuclídeo urânio. Essa componente apresenta maior destaque nas formações sedimentares no extremo noroeste da área, nos granitóides ao norte - noroeste do maciço Trinidad e Sancti Spiritus e nos componentes metavulcânicos da Formação Yaguanabo, a sudoeste do maciço metamórfico Escambray, refletindo com alta probabilidade, a presença dos quartzitos e dos componentes metasilícicos que a integram.

Menor destaque é fornecido pela CP1, nas Formações Bruja e Hilario, do AVC, situadas na região da sinforma Seibabo ao sul de Santa Clara; neste caso, a CP2 consegue mapeá-las, embora reflita principalmente o caráter cumulativo da estrutura e a composição vulcano - sedimentar das formações da cobertura do AVC, Palmarito, Cotorro e Isabel. No caso da Formação Bruja, a CP2 mapeia a presença, em sua composição, das lavas e dos tufos e no caso da Formação Hilário, o predomínio dos tufos zeolitizados em relação aos outros litotipos ao seu redor.

A terceira componente principal, CP3, mapeia basicamente o caráter meio ácido das rochas do arco vulcânico como se pode observar na tabela 3.4, pela efetiva contribuição dos teores de potássio. Ao se relacionar os teores de potássio com as séries CA e CA-K, destacam-se a Formação Bruja e os granitóides; porque ambos refletem, na sua composição, as tendências geoquímicas dos macro-componentes alcalinos, enquanto refletem os teores de tório e urânio, como elementos traço. Apresentam também relativo destaque, os pequenos e diversos corpos intrusivos dentro das formações do AVC.

Tabela 3.4 - Autovetores das Componentes Principais de potássio, tório e urânio.

| Componentes Principais | Canais Espectrométricos | | | Soma | % |
|------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
| | potássio (K, %) | tório (Th, ppm) | urânio (U, ppm) | | |
| CP1 | 0,002 | 0,944 | 0,329 | 1,275 | 35,86 |
| CP2 | 0,003 | -0,329 | 0,944 | 1,276 | 35,89 |
| CP3 | -1,000 | 0,001 | 0,003 | 1,004 | 28,24 |
| Soma | 1,005 | 1,274 | 1,276 | 3,555 | 100 |

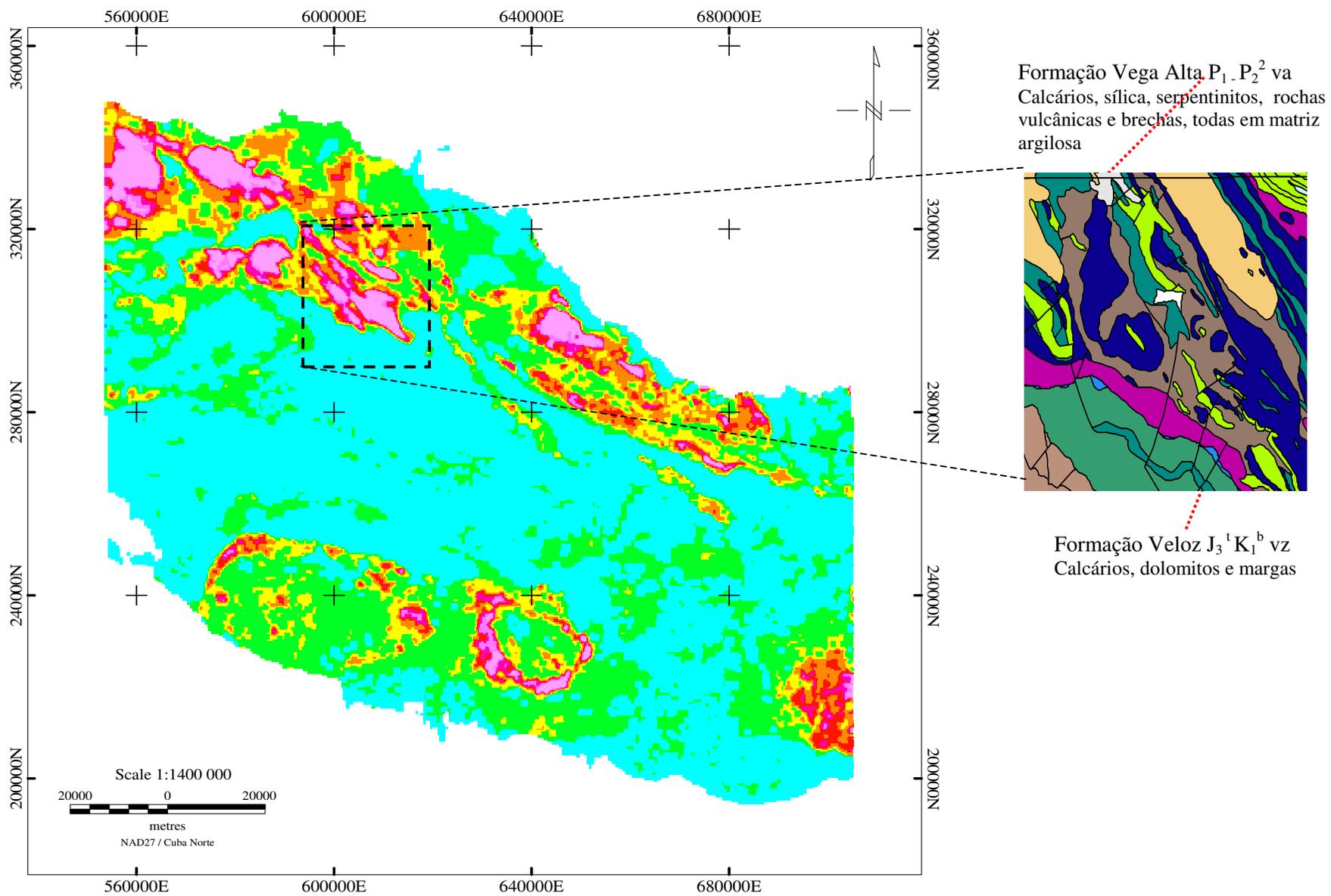


Figura 3.9 Mapa da primeira componente principal (CP1), região central de Cuba.

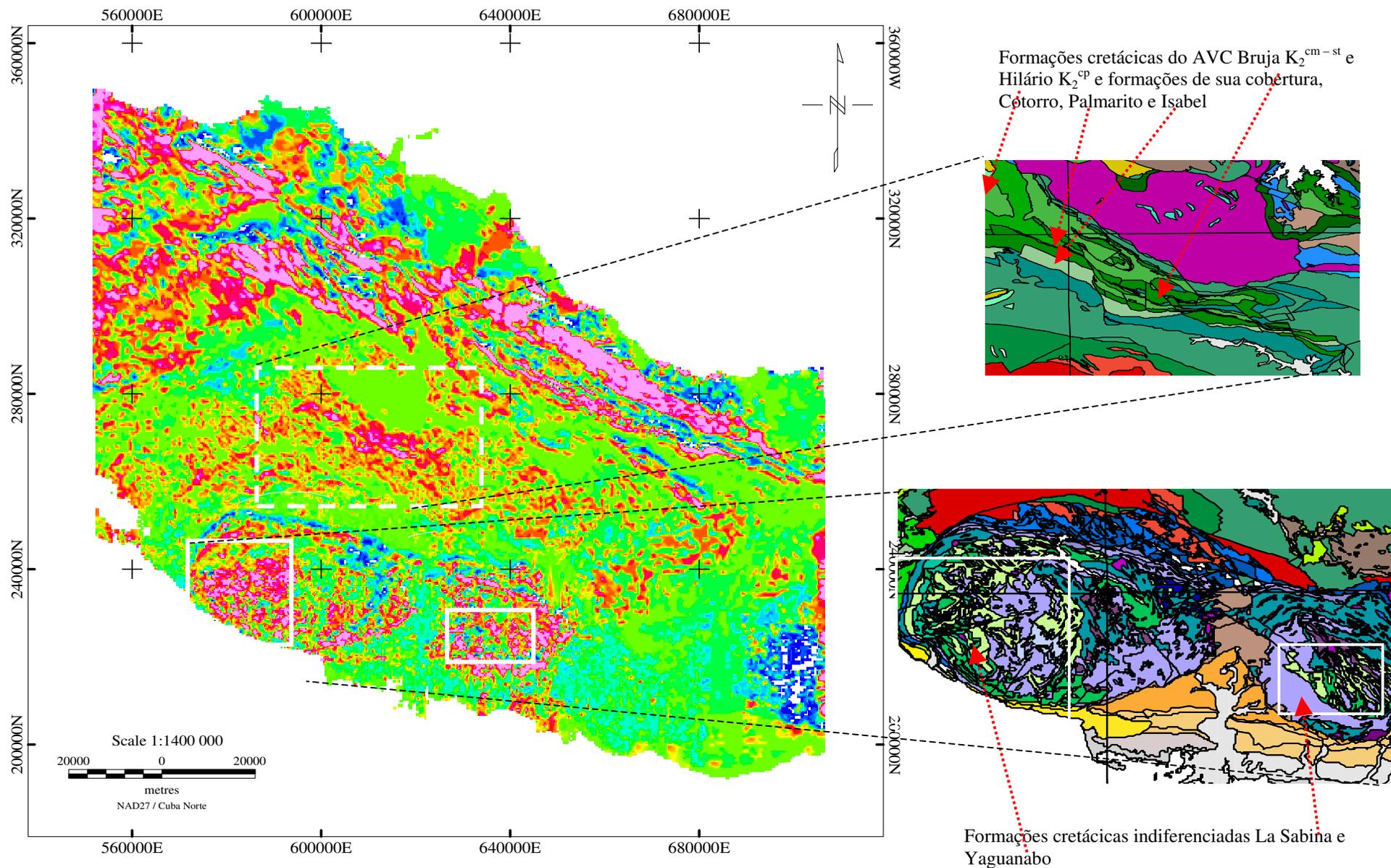


Figura 3.10 Mapa da segunda componente principal (CP2), região central de Cuba.

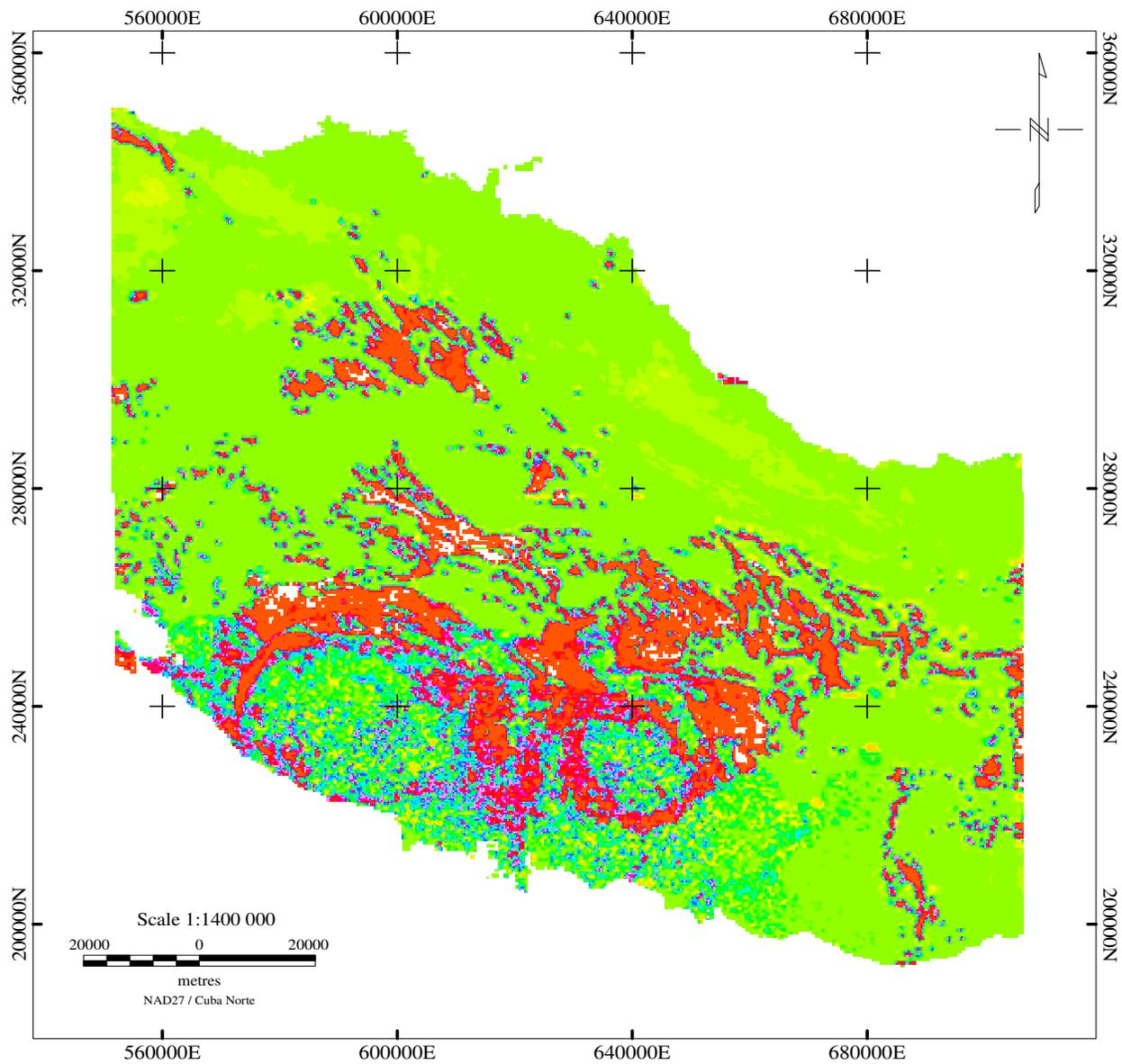


Figura 3.11 Mapa da terceira componentes principal (CP3), região central de Cuba.

3.4.3 - Caracterização gamaespectrométrica dos principais litotipos e estruturas

A distribuição espacial das concentrações dos radionuclídeos em Cuba central permite avaliar qualitativa e/ou quantitativamente, o comportamento sobre as várias unidades geológicas: *oceânica* - Arco vulcânico Cretácico AVC e ofiolitos; *continental* - Paleo - margem Continental PMC e *sedimentar* - cobertura de sedimentos paleogênicos e neogênicos, também denominada cobertura Neo - plataformal CNP (Tabela 3.5).

Apesar dos baixos níveis de radioatividade, é possível mapear as formações sedimentares da Plataforma das Bahamas e em menor grau, as formações ígneas de composição média-ácida do AVC.

Tabela 3.5 - Principais formações e estruturas mapeáveis na região central.

| Formações e (Estruturas) | Intervalos característicos | | | | Observações |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|
| | Ct ($\mu\text{r/h}$) | U (ppm) | Th (ppm) | K (%) | |
| Vilato, Purio e Palenque (PMC) | *(0,9 - 10,1) \pm 1,3 | (0,4 - 11,8) \pm 1,5 | (1,0 - 13,0) \pm 2,4 | (0,26 - 0,8) \pm 0,1 | Palenque, maior valor médio de U e Th |
| Carmita, Amaro e Veloz (PMC) | (1,1 - 10,2) \pm 1,8 | (0,5 - 9,4) \pm 1,4 | (1,0 - 17,0) \pm 3,3 | (0,2 - 1,3) \pm 0,3 | Veloz, maior valor médio de U, Th e K |
| Mata, Paraíso e Margarita (PMC) | (1,0 - 9,1) \pm 1,5 | (0,2 - 8,4) \pm 1,4 | (1,0 - 16,0) \pm 3,0 | (0,1 - 1,5) \pm 0,1 | Paraíso, maior valor médio de U, Th e K |
| Bruja (AVC) | (0,9 - 7,0) \pm 1,3 | (0,4 - 2,6) \pm 0,5 | (1,0 - 4,0) \pm 0,6 | (0,2 - 2,8) \pm 0,6 | alcalinidade comparável aos intrusivos AVC |
| Anfibolitos (MME) | (0,7 - 5,4) \pm 0,7 | (0,5 - 3,2) \pm 0,3 | (1,0 - 5,0) \pm 0,6 | (0,1 - 2,6) \pm 0,4 | em contato ou em imbricações com os plagiogranitos |
| Arco vulcânico cretácico (AVC) | (0,6 - 7,0) \pm 0,9 | (0,4 - 4,0) \pm 0,4 | (1,0 - 8,0) \pm 0,7 | (0,1 - 2,8) \pm 0,4 | composição intermediária - ácida |
| Associação ofiolítica (Aof) | (0,6 - 5,8) \pm 0,6 | (0,1 - 5,0) \pm 0,6 | (1,0 - 12,0) \pm 1,2 | (0,1 - 2,0) \pm 0,1 | mistura com rochas do AVC |

- Intervalo (valor mínimo - valor máximo) \pm desvio padrão máximo

Como exemplo das primeiras, têm-se as formações cretácicas do Grupo Remédios (Formações Vilato, Purio e Palenque), com destaque aos valores médios de Palenque; do arco vulcânico, a Formação Bruja (comparável em alcalinidade aos intrusivos do AVC), a qual está em contato tectônico com as formações da PMC, Carmita, Amaro e Veloz, que apresentam teores superiores de tório e potássio em relação ao grupo Remédios, com destaque aos valores médios de Veloz. Na seqüência, seguem Amaro e Carmita, que não são bem diferenciáveis entre si. Mapeia-se também o complexo anfibolítico que abrange o núcleo do Terreno metamórfico do Escambray ao sul, e reflete teores relativamente elevados em relação às rochas metamórficas, alcançando os maiores valores de K nas zonas de contato tectônico.

Das Formações Mata, Paraíso e Margarita, também da PMC (zona Camajuaní), Paraíso se diferencia levemente do conjunto, em relação aos teores médios, enquanto Margarita e Mata seguem a seqüência de valores médios, com semelhanças radiogeoquímicas notáveis.

As rochas do Complexo Ofiolítico são bem mapeadas, em geral, apresentando baixos níveis de radioatividade, apesar de sua mistura com fragmentos de rochas do AVC (Figuras 3.2, 3.3 e 3.9).

A distribuição dos radionuclídeos na região também evidencia outros aspectos da tectônica e geomorfologia do ambiente geológico: contribuem para marcar a anisotropia das tendências regionais das estruturas nas direções NW - SE, com ângulos entre 135° - 160°, coincidentes com os principais alinhamentos e falhas, marcam alguns cursos da drenagem, a presença de sin (anti) - formas estruturais, o caráter circular das estruturas do Terreno Escambray localizado na porção Sul e até permite fazer inferências sobre as possíveis diferenças no desenvolvimento dos processos de intemperismo ocorridos nessas estruturas.

Baseados no suporte das composições coloridas dos teores dos radionuclídeos e do mapa geológico num ambiente SIG, foi possível superpor as informações *pixel a pixel* e caracterizar, desta forma, segundo o tempo (período - época) nas Tabelas 3.6 e 3.7, os litotipos na região. Estas tabelas caracterizam e resumem pela primeira vez para a região central de Cuba, os parâmetros estatísticos do levantamento aerogamaespectrométrico com o máximo grau de detalhe possível. Observa-se que, embora os contrastes sejam sutis entre os litotipos, as composições coloridas refletem com acerto as previsões regionais feitas no intuito de mapear os vários ambientes com este método. Os resultados obtidos permitem avaliar como bons, tanto técnica, como metodologicamente, os levantamentos aerogeofísicos realizados na região.

Tabela 3.6 - Estatísticas da Contagem total (Ct) e teores de urânio (U) nas unidades geológicas da região central de Cuba.

| TEMPO (PERÍODO - ÉPOCA) | Contagem total ($\mu\text{r/h}$) | | | | urânio (ppm) | | | | Descrição dos Litotipos |
|--|------------------------------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|--|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| QUATERNÁRIO | | | | | | | | | |
| Holoceno (Q_4) | 0,6 | 10,9 | 1,5 | 0,7 | 0,1 | 12,0 | 0,8 | 0,6 | Depósitos aluviais e palustres |
| Pleistoceno ($Q_3 - Q_2$) Superior | 0,5 | 16,2 | 2,1 | 0,8 | 0,1 | 16,1 | 1,1 | 0,6 | Silte, argilosos, areia e calcários biogênicos detríticos |
| Inferior - Holoceno ($Q_1 - 4$) | 1,1 | 10,0 | 2,5 | 0,8 | 0,4 | 7,6 | 1,4 | 0,5 | Depósitos aluviais - coluviais, argilas e areias |
| Médio - Superior ($Q_2 - 3$) | 0,8 | 2,0 | 1,4 | 0,3 | 0,5 | 1,8 | 0,6 | 0,1 | Argilas e areias, areias limosas e argilosas |
| Inferior - Médio ($Q_1 - 2$) | 0,8 | 5,7 | 1,5 | 0,5 | 0,2 | 4,8 | 0,7 | 0,4 | Argilas e areias com sílica e ferro |
| NEÓGENO | | | | | | | | | |
| Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior ($N_2 - Q_1$) | 0,8 | 5,9 | 1,8 | 0,7 | 0,2 | 4,8 | 0,7 | 0,4 | Calcários biogênicos e detríticos |
| Mioceno - Plioceno N_1^{2-3} | 0,8 | 11,6 | 2,6 | 1,4 | 0,2 | 9,2 | 1,5 | 1,0 | Calcários biogênicos, detríticos e dolomíticos |
| PALEÓGENO | | | | | | | | | |
| Oligoceno Indiferenciado P_3^3 | 1,0 | 6,1 | 1,7 | 0,6 | 0,4 | 2,6 | 0,9 | 0,4 | Calcários microcristalinos e calcários argilosos |
| Oligoceno - Mioceno $P_3^2 - N_1^1$ | 0,8 | 5,8 | 1,6 | 0,5 | 0,2 | 6,2 | 0,8 | 0,5 | Calcários biogênicos, e arenito - detríticos, calcários alternantes com margas e conglomerados |
| Oligoceno Superior - Inferior $P_3^2 - P_3^1$ | 0,8 | 5,2 | 1,6 | 0,5 | 0,4 | 3,6 | 1,1 | 0,5 | Calcários, margas, areias, brecha - conglomerados, calcários fragmentários e argilas |

| continuação Tabela 3.6 (PERÍODO - ÉPOCA) | Contagem total ($\mu\text{r/h}$) | | | | urânio (ppm) | | | | Descrição dos Litotipos |
|--|------------------------------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|--|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Eoceno Superior - Oligoceno Inferior $P_2^3 - P_3^1$ | 0,9 | 6,0 | 1,7 | 0,4 | 0,5 | 5,4 | 1,0 | 0,5 | Areias, silte, calcários polimíticos |
| Eoceno Superior - Oligoceno Indiferenciado $P_2^3 - P_3$ | 1,0 | 2,1 | 1,4 | 0,3 | 0,6 | 1,6 | 0,7 | 0,3 | Calcários biogênicos, detríticos e areias com foraminíferos |
| Eoceno Superior P_2^3 | 1,1 | 5,3 | 2,0 | 0,7 | 0,4 | 4,4 | 1,2 | 0,5 | Brecha de conglomerados, areias, calcários biogênicos, detríticos e, margas e silte |
| Superior - Médio indiferenciado $P_2^3 - P_2^2$ | 0,9 | 6,6 | 2,0 | 1,0 | 0,4 | 4,4 | 1,2 | 0,7 | Limos, margas e calcários biogênicos |
| | 1,0 | 6,2 | 2,3 | 0,9 | 0,4 | 5,0 | 1,5 | 0,9 | |
| Inferior - Medio Indiferenciado $P_2^{1-2} - P_2^1$ | 0,8 | 5,2 | 1,7 | 0,5 | 0,4 | 3,0 | 0,9 | 0,4 | Alternância de brecha de calcários e vulcanitos, margas, conglomerados, calcários biogênicos, dolomitizados e arrecifes, seqüências caóticas de areias polimíticas e biodetríticas |
| | 0,9 | 8,2 | 2,5 | 0,9 | 0,4 | 7,2 | 1,8 | 0,9 | |
| CRETÁCEO | | | | | | | | | |
| Superior Maestrichtiano - Eoceno Inferior $K_2^m - P_1$ | 0,9 | 3,3 | 1,6 | 0,4 | 0,4 | 2,4 | 0,9 | 0,3 | Calcários biogênicos, tufos vitroclásticos, brecha de conglomerado, calcários, areias, margas, e argilas |
| Superior Maestrichtiano K_2^m | 1,0 | 8,8 | 2,2 | 0,7 | 0,4 | 7,6 | 1,4 | 0,6 | Calcários e silicitos, calcários biogênicos, detríticos, rochas vulcânicas, conglomerados basais, rochas vulcânicas, tufos |
| Superior - Campaniano - Maestrichtiano K_2^{cp-m} | 0,8 | 5,0 | 1,6 | 0,5 | 0,4 | 3,0 | 1,0 | 0,3 | Calcários com macro-fósseis, flysh de areias, silte, calcários, margas e conglomerados, tufos zeolitizados e lavas andesíticas |
| Superior Santoniano K_2^{st} | 1,1 | 3,5 | 1,9 | 0,5 | 0,6 | 1,6 | 0,8 | 0,3 | Calcários biogênicos, detríticos, conglomerados, tufos e efusivos |

| continuação Tabela 3.6 (PERÍODO - ÉPOCA) | Contagem total ($\mu\text{r/h}$) | | | | urânio (ppm) | | | | Descrição dos Litotipos |
|--|------------------------------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|---|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Superior - Coniaciano - Maestrichtiano $K_2^{\text{cn-m}}$ | 1,1 | 4,2 | 2,3 | 0,7 | 0,4 | 4,4 | 1,7 | 0,8 | Calcários biogênicos, detríticos e brechas |
| Superior - Coniaciano - Santoniano $K_2^{\text{cn-st}}$ | 0,9 | 6,4 | 1,9 | 0,8 | 0,4 | 3,0 | 1,0 | 0,4 | Dacitas, andesitas, andesito - basaltos, tufos, lavas - brechas, conglomerados e areias |
| Superior - Turoniano K_2^{t} | 1,0 | 6,5 | 3,0 | 1,4 | 0,6 | 3,2 | 1,5 | 0,6 | Tufos, margas areias, calcários, coladas de lavas andesíticas |
| Superior - Cenomaniano - Santoniano $K_2^{\text{cm-st}}$ | 1,0 | 8,2 | 2,9 | 1,5 | 0,6 | 5,6 | 1,8 | 1,0 | Intercalações de calcários e sílica |
| Superior - Cenomaniano - Turoniano $K_2^{\text{cm-t}}$ | 1,9 | 3,7 | 2,5 | 0,5 | 0,6 | 4,2 | 2,2 | 1,0 | Calcários |
| Inferior Alviano - Turoniano $K_1^{\text{al}} - K_2^{\text{t}}$ | 1,0 | 4,6 | 1,4 | 0,4 | 0,5 | 2,0 | 0,8 | 0,3 | Basaltos, andesitos, dacitos, plagiuriolitos e tufos |
| Inferior Alviano - Cenomaniano $K_1^{\text{al}} - K_2^{\text{cm}}$ | 0,9 | 6,2 | 1,6 | 0,5 | 0,4 | 3,0 | 0,8 | 0,3 | Calcários vários e calcários marmorizados, areias margas conglomerados, areias, argilas e sílica |
| | 1,0 | 8,4 | 3,1 | 1,4 | 0,4 | 8,0 | 2,1 | 1,2 | |
| Inferior Aptiano - Cenomaniano $K_1^{\text{a}} - K_2^{\text{cm}}$ | 0,9 | 11,5 | 3,8 | 1,4 | 0,4 | 11,8 | 3,0 | 1,3 | Sílica, calcários, margas, calcários dolomitizados e biogênicos |
| Inferior Alviano e Aptiano Alviano K_1^{al} e $K_1^{\text{a}} - K_1^{\text{al}}$ | 0,8 | 6,4 | 1,6 | 0,6 | 0,4 | 3,6 | 0,9 | 0,4 | Tufos cristalinos e vítreos, intermediários a moderadamente ácidos, andesitos e, dacitos, basaltos, andesito - basaltos |
| Inferior Hauteviriano - Barremiano e Berriasiano - Valangiano $K_1^{\text{h-b}}$ e $K_1^{\text{be-v}}$ | 0,9 | 10,5 | 3,5 | 1,7 | 0,2 | 8,4 | 2,5 | 1,4 | Calcários, argila e chert e, alternância de calcários com sílica e argilas |

| continuação Tabela 3.6 (PERÍODO - ÉPOCA) | Contagem total ($\mu\text{r/h}$) | | | | urânio (ppm) | | | | Descrição dos Litotipos |
|---|------------------------------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|--|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Inferior K_1^{ne} - K_2^{m} | 1,4 | 7,4 | 2,9 | 0,9 | 0,6 | 8,2 | 2,2 | 1,1 | Dolomitas, calcários dolomitizados e biogênicos |
| Inferior Neocomiano K_1^{ne} | 0,9 | 3,7 | 1,8 | 0,5 | 0,6 | 2,2 | 0,8 | 0,2 | Seqüências vulcânicas, metavulcânicas ácidas com intercalações de rochas básicas, metamorfismo fácies xistos verdes; riolitos, dacitos e tufos ácidos |
| Inferior Indiferenciado K_1 | 0,8 | 6,4 | 2,4 | 0,8 | 0,5 | 6,4 | 1,4 | 0,7 | Mármore, brechas de metacalcários, quartzitos chert e xistos verdes metavulcânicos |
| Inferior - Superior K_1 - K_2 Indiferenciado | 1,1 | 5,9 | 2,9 | 1,0 | 0,6 | 4,8 | 1,9 | 0,7 | Xistos calcários, metaflish de calcários e grafito |
| Cretáceo Indiferenciado K | 1,1 | 5,7 | 2,5 | 0,8 | 0,6 | 5,4 | 1,7 | 0,8 | Metavulcânicas básicas, xisto, às vezes mármore e quartzitos, componentes metasilícicos com granada |
| JURÁSSICO | | | | | | | | | |
| Superior Tithoniano - Cretáceo Inferior Berriasiano J_3^{t} - K_1^{be} | 1,0 | 11,4 | 4,0 | 1,5 | 0,6 | 9,4 | 2,5 | 1,0 | Calcários micríticos, levemente dolomitizados com margas intercaladas, arenitos calcários e brechas de clasto |
| Superior - Cretáceo Inferior Indiferenciados J_3 - K_1 | 0,8 | 5,2 | 2,1 | 0,7 | 0,5 | 3,2 | 0,8 | 0,2 | Anfibolitos com e sem biotita, xistos, gnaisses e anfibolitos com granada, feldspatos potássicos, quartzos, aglomerados vulcânicos metagabros, metasilica, rochas ultrabásicas serpentinitizadas com intercalações de anfibolitos com metagabros |

| continuação Tabela 3.6 (PERÍODO - ÉPOCA) | Contagem total ($\mu\text{r/h}$) | | | | urânio (ppm) | | | | Descrição dos Litotipos |
|---|------------------------------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|--|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Jurássico Indiferenciado - Cretáceo Inferior J - K ₁ | 1,0 | 3,5 | 1,6 | 0,6 | 0,5 | 2,6 | 0,9 | 0,4 | Anfibolitos granadífero - muscovíticos com intercalações de metasílica e corpos de serpentinas antigoríticas |
| Jurássico Superior - Tithoniano J ₃ ^t | 1,1 | 9,2 | 3,9 | 1,9 | 0,4 | 7,2 | 2,9 | 1,6 | Calcários argilosos e oolíticos, dolomitas |
| Jurássico Superior J ₃ | 0,9 | 8,2 | 2,7 | 0,9 | 0,5 | 6,6 | 1,7 | 0,8 | Mármore, xistos calcário - grafíticos |
| Inferior - Superior - Oxfordiano J ₁ - J ₃ ^{ox} | 0,8 | 8,5 | 2,4 | 0,8 | 0,5 | 5,6 | 1,4 | 0,7 | Metavulcanitos básicos, xistos verdes, mármore, quartzitos, metasílica, xistos quartzo muscovíticos, metaterrígenos e polimineriais, rochas magmáticas, filitos carbonosos e meta - areias |
| ASSOCIAÇÃO OFIOLÍTICA E BLOCOS | 0,7 | 7,9 | 1,3 | 0,6 | 0,1 | 4,8 | 0,7 | 0,4 | Basaltos afíricos, sílica, diabásios maciços e diques, gabros olivínicos, ultramáficas serpentinitizadas, xistos cloríticos e glaucofânicos |
| INTRUSIVOS | 0,9 | 5,7 | 1,5 | 0,4 | 0,4 | 3,2 | 1,1 | 0,3 | Quartzodioritos, granodioritos, gabros, plagiogranitos, dioritos, tonalitos e granitos leucocráticos e brechas |
| BLOCOS DENTRO DAS SEQÜÊNCIAS DO TERRENO ESCAMBRAY | 0,8 | 6,2 | 2,5 | 1,0 | 0,5 | 4,6 | 1,5 | 0,8 | Corpos de serpentinitos, xistos talcosos e cloríticos, melange de serpentinitos com metamórficos de alta pressão (zoissitos), metagabros, eclogitos, quartzitos metasilícicos, metavulcânicas básicas (basaltos, gabros) intercaladas |

Tabela 3.7 - Estatísticas dos teores de tório (Th) e potássio (K) nas unidades geológicas da região central de Cuba.

| TEMPO (PERÍODO - ÉPOCA) | tório (ppm) | | | | potássio (%) | | | | Descrição dos Litotipos |
|---|-------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|--|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| QUATERNÁRIO | | | | | | | | | |
| Holoceno (Q ₄) | 0,2 | 11,0 | 1,6 | 0,9 | 0,1 | 2,2 | 0,3 | 0,1 | Depósitos aluviais e palustres |
| Pleistoceno (Q ₃ - Q ₂) Superior | 0,2 | 17,6 | 2,0 | 1,7 | 0,1 | 3,0 | 0,5 | 0,3 | Silte, argilosos, areia e calcários biogênicos detríticos |
| Inferior - Holoceno (Q ₁₋₄) | 1,0 | 18,0 | 4,0 | 0,8 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | Depósitos aluviais - coluviais, argilas e areias |
| Médio - Superior (Q ₂₋₃) | 1,0 | 2,0 | 1,6 | 0,5 | 0,1 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | Argilas e areias, areias limosas e argilosas |
| Inferior - Médio (Q ₁₋₂) | 1,0 | 9,0 | 2,0 | 1,3 | 0,1 | 1,2 | 0,3 | 0,1 | Argilas e areias com sílica, e ferro |
| NEÓGENO | | | | | | | | | |
| Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior (N ₂ - Q ₁) | 0,2 | 4,0 | 1,7 | 0,6 | 0,1 | 1,6 | 0,4 | 0,2 | Calcários biogênicos e detríticos |
| Mioceno - Plioceno N ₁ ²⁻³ | 0,2 | 22,0 | 4,1 | 2,9 | 0,1 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | Calcários biogênicos, detríticos e dolomíticos |
| PALEÓGENO | | | | | | | | | |
| Oligoceno Indiferenciado P ₃ ³ | 1,0 | 7,0 | 2,4 | 1,2 | 0,1 | 2,9 | 0,3 | 0,2 | Calcários microcristalinos e calcários argilosos |
| Oligoceno - Mioceno P ₃ ² - N ₁ ¹ | 1,0 | 6,0 | 1,8 | 0,5 | 0,1 | 2,9 | 0,3 | 0,1 | Calcários biogênicos, e arenito - detríticos, calcários alternantes com margas e conglomerados |
| Oligoceno Superior - Inferior P ₃ ² - P ₃ ¹ | 1,0 | 8,0 | 1,5 | 0,7 | 0,1 | 1,6 | 0,3 | 0,1 | Calcários, margas, areias, brecha - conglomerados, calcários fragmentários e argilas |

| continuação Tabela 3.7 (PERÍODO - ÉPOCA) | tório (ppm) | | | | potássio (%) | | | | Descrição dos Litotipos |
|--|-------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|---|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Eoceno Superior - Oligoceno Inferior P ₂ ³ - P ₃ ¹ | 1,0 | 6,0 | 1,7 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 0,3 | 0,1 | Areias, silte e calcários polimíticos |
| Eoceno Superior - Oligoceno Indiferenciado P ₂ ³ - P ₃ | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 0,7 | 0,2 | 0,7 | 0,3 | 0,1 | Calcários biogênicos, detríticos e areias com foraminíferos |
| Eoceno Superior P ₂ ³ | 1,0 | 7,0 | 2,2 | 0,8 | 0,2 | 2,1 | 0,4 | 0,2 | Brecha de conglomerados, areias, calcários biogênicos, detríticos, margas e limos |
| Superior - Médio indiferenciado P ₂ ³ - P ₂ ² | 1,0 | 13,0 | 2,1 | 1,4 | 0,1 | 2,5 | 0,4 | 0,2 | Limos, margas e calcários biogênicos |
| | 1,0 | 9,0 | 2,6 | 1,3 | 0,1 | 1,2 | 0,4 | 0,1 | |
| Inferior - Medio Indiferenciado P ₂ ¹⁻² - P ₂ ¹ | 1,0 | 6,0 | 1,6 | 0,6 | 0,2 | 2,3 | 0,4 | 0,2 | Alternância de brecha de calcários e vulcanitos, margas conglomerados, calcários biogênicos, dolomitizados e arrecifes, seqüências caóticas de areias polimíticas e biodetríticas |
| | 0,2 | 14,0 | 3,0 | 1,5 | 0,1 | 1,8 | 0,2 | 0,1 | |
| CRETÁCEO | | | | | | | | | |
| Superior Maestrichtiano - Eoceno Inferior K ₂ ^m - P ₁ | 1,0 | 4,0 | 1,4 | 0,5 | 0,2 | 1,2 | 0,3 | 0,1 | Calcários biogênicos, tufo vitroclásticas, brecha de conglomerado, calcários, areias, margas, e argilas |
| Superior Maestrichtiano K ₂ ^m | 1,0 | 12,0 | 2,3 | 0,9 | 0,2 | 2,4 | 0,5 | 0,1 | Calcários e silicitos, calcários biogênicos, detríticos, rochas vulcânicas, conglomerados basais, rochas vulcânicas tufo |
| Superior - Campaniano - Maestrichtiano K ₂ ^{cp-m} | 1,0 | 5,0 | 1,3 | 0,5 | 0,1 | 2,3 | 0,4 | 0,2 | Calcários com macro-fósseis, flysh de areias, silte, calcários margas e conglomerados; tufo zeolitizados e lavas andesíticas |
| Superior Santoniano K ₂ st | 1,0 | 3,0 | 1,8 | 0,6 | 0,3 | 1,6 | 0,6 | 0,2 | Calcários biogênicos, detríticos, conglomerados, tufo e efusivos |

| continuação Tabela 3.7 (PERÍODO - ÉPOCA) | tório (ppm) | | | | potássio (%) | | | | Descrição dos Litotipos |
|--|-------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|--|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Superior - Coniaciano - Maestrichtiano K ₂ ^{cn - m} | 1,0 | 7,0 | 2,9 | 1,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | Calcários biogênicos, detríticos e brechas |
| Superior - Coniaciano - Santoniano K ₂ ^{cn - st} | 1,0 | 5,0 | 1,4 | 0,6 | 0,2 | 2,8 | 0,6 | 0,3 | Dacitas, andesitas, andesito - basaltos, tufos, lavas - brechas, conglomerados e areias |
| Superior - Turoniano K ₂ ^t | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 0,5 | 0,1 | 2,7 | 1,1 | 0,7 | Tufos, margas areias, calcários, coladas de lavas andesíticas |
| Superior - Cenomaniano - Santoniano K ₂ ^{cm - st} | 1,0 | 15,0 | 3,9 | 2,6 | 0,2 | 1,3 | 0,4 | 0,2 | Intercalações de calcários e sílica |
| Superior - Cenomaniano - Turoniano K ₂ ^{cm - t} | 1,0 | 4,0 | 2,4 | 1,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | Calcários |
| Inferior Alviano - Turoniano K ₁ ^{al} - K ₂ ^t | 1,0 | 5,0 | 1,2 | 0,5 | 0,2 | 1,2 | 0,4 | 0,2 | Basaltos, andesitas, dacitos, plagioriolitos e tufos |
| Inferior Alviano - Cenomaniano K ₁ ^{al} - K ₂ ^{cm} | 1,0 | 3,0 | 1,2 | 0,2 | 0,2 | 2,5 | 0,4 | 0,2 | Calcários vários e calcários marmorizados, areias margas conglomerados, areias, argilas e sílica |
| | 1,0 | 14,0 | 4,4 | 2,3 | 0,1 | 1,5 | 0,3 | 0,1 | |
| Inferior Aptiano - Cenomaniano K ₁ ^a - K ₂ ^{cm} | 1,0 | 18,0 | 4,6 | 2,5 | 0,1 | 1,7 | 0,3 | 0,1 | Sílica, calcários, margas, calcários dolomitizados e biogênicos |
| Inferior Alviano e Aptiano Alviano K ₁ ^{al} e K ₁ ^a - K ₁ ^{al} | 1,0 | 8,0 | 1,3 | 0,5 | 0,1 | 2,2 | 0,4 | 0,2 | Tufos cristalinos e vítreos, intermediários a moderadamente ácidos, andesitos e dacitos, basaltos, andesito - basaltos |
| Inferior Hauteviriano - Barremiano e Berriasiano - Valangiano K ₁ ^{h - b} e K ₁ ^{be - v} | 1,0 | 16,0 | 5,1 | 2,9 | 0,1 | 1,2 | 0,3 | 0,1 | Calcários, argila e chert alternância de calcários com sílica e argilas |

| continuação Tabela 3.7 (PERÍODO - ÉPOCA) | tório (ppm) | | | | potássio (%) | | | | Descrição dos Litotipos |
|--|-------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|--|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Inferior K ₁ ^{ne} - K ₂ ^m | 1,0 | 9,0 | 3,5 | 1,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | Dolomitas, calcários dolomitizados e biogênicos |
| Inferior Neocomiano K ₁ ^{ne} | 1,0 | 3,0 | 1,3 | 0,3 | 0,1 | 1,6 | 0,6 | 0,2 | Seqüências vulcânicas, metavulcânicas ácidas com intercalações de rochas básicas, metamorfismo fácies xistos verdes; riolitos, dacitos e tufo ácidos |
| Inferior Indiferenciado K ₁ | 1,0 | 9,0 | 2,9 | 1,1 | 0,1 | 2,1 | 0,4 | 0,2 | Mármore, brechas de meta calcários, quartzitos chert e xistos verdes metavulcânicos |
| Inferior - Superior K ₁ - K ₂ | 2,0 | 7,0 | 3,1 | 1,5 | 0,1 | 1,3 | 0,5 | 0,2 | Xistos calcários, metaflish de calcários e grafitos |
| Cretáceo Indiferenciado K | 1,0 | 8,0 | 2,7 | 0,9 | 0,1 | 1,7 | 0,4 | 0,2 | Metavulcânicas básicas, xisto, às vezes mármore e quartzitos, componentes metasilícicos com granada |
| JURÁSSICO | | | | | | | | | |
| Superior Tithoniano - Cretáceo Inferior Berriasiano J ₃ ^t - K ₁ ^{be} | 1,0 | 17,0 | 5,0 | 2,5 | 0,1 | 1,6 | 0,5 | 0,3 | Calcários micríticos, debilmente dolomitizados com margas intercaladas, arenitos calcários e brechas de clastos |
| Superior - Cretáceo Inferior Indiferenciados J ₃ - K ₁ | 1,0 | 5,0 | 1,4 | 0,4 | 0,1 | 2,6 | 0,7 | 0,3 | Anfibolitos com e sem biotita, xistos, gnaisses e anfibolitos com granada, feldspatos potássicos, quartzos, aglomerados vulcânicos metagabros, metasilica, rochas ultrabásicas serpentinitizadas com intercalações de anfibolitos com metagabros |

| continuação Tabela 3.7 (PERÍODO - ÉPOCA) | tório (ppm) | | | | potássio (%) | | | | Descrição dos Litotipos |
|---|-------------|--------|-------|---------------|--------------|--------|-------|---------------|---|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | |
| Jurássico Indiferenciado - Cretáceo Inferior J - K ₁ | 1,0 | 4,0 | 1,5 | 0,7 | 0,1 | 1,3 | 0,4 | 0,2 | Anfibolitos granadífero - muscovíticos com intercalações de metasílica e corpos de serpentinas antigoríticas |
| Jurássico Superior -Tithoniano J ₃ ^t | 1,0 | 16,0 | 5,7 | 3,0 | 0,2 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | Calcários argilosos, e oolíticos, dolomitas |
| Jurássico Superior J ₃ | 1,0 | 12,0 | 3,2 | 1,5 | 0,1 | 1,6 | 0,5 | 0,2 | Mármore, xistos calcários - grafíticos |
| Inferior - Superior - Oxfordiano J ₁ - J ₃ ^{ox} | 1,0 | 13,0 | 2,8 | 1,2 | 0,1 | 1,4 | 0,5 | 0,2 | Metavulcanitos básicos, xistos verdes, mármore, quartzitos, metasílica, xistos quartzo muscovíticos, metaterrígenos e poliminerais, rochas magmáticas, filitos carbonosos e meta - areias |
| ASSOCIAÇÃO OFIOLITICA E BLOCOS | 1,0 | 12,0 | 1,2 | 0,5 | 0,1 | 2,7 | 0,3 | 0,1 | Basaltos afíricos, sílica, diabásios maciços e diques, gabros olivínicos, ultramáficas serpentinitizadas, xistos cloríticos e glaucofânicos |
| INTRUSIVOS | 1,0 | 6,0 | 1,3 | 0,4 | 0,1 | 2,4 | 0,4 | 0,1 | Quartzodioritos, granodioritos, gabros, plágio granitos, dioritos, tonalitos e granitos leucocráticos e brechas |
| BLOCOS DENTRO DAS SEQÜÊNCIAS DO TERRENO ESCAMBRA | 1,0 | 9,0 | 2,6 | 1,2 | 0,1 | 1,7 | 0,5 | 0,2 | Corpos de serpentinitos, xistos talcosos e cloríticos, melange de serpentinitos com metamórficos de alta pressão (zoissitos), meta - gabros, eclogitos, quartzitos metasilícicos, metavulcânicas básicas (basaltos, gabros) intercalados |

3.5 - CAMPO AEROMAGNÉTICO ANÔMALO. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

A análise do campo aeromagnético anômalo tem caráter complementar nesta pesquisa, embora sua resposta regional e local tenha servido de suporte ao mapeamento das principais feições estruturais e estratigráficas dos vários ambientes geológicos.

Nos itens subseqüentes, observa-se como, através do espectro de potência do campo aeromagnético, os diferentes tipos de fontes magnéticas na seção podem ser avaliadas e classificadas. Evidencia-se também, como as cartografias e transformações do campo aeromagnético ajudam qualitativa e quantitativamente a interpretação das respostas radiogeoquímicas regionais e *in situ*, mapeadas pela espectrometria aérea de raios gama Figuras (3.1 - 3.8) e estimada estatisticamente nas tabelas (3.6 e 3.7). A abrangência das possibilidades analíticas que incorpora o campo magnético, no intuito de avaliar “causa e efeito”, liga-se intrinsecamente a avaliação da natureza e complexidade das fontes terrestres e geometrias que possam ou não representar contribuições terrestres as doses na componente externa a ser estimada no capítulo 4.

Outras contribuições do campo aeromagnético visam o mapeamento das diversas feições estruturais rúpteis na região, as quais ganham destaque pelo marcante *trend* estrutural que assinala a evolução geológica, além do predomínio de limites ou contactos de natureza tectônica entre formações, limite de corpos isolados; ou estruturas como as bacias superpostas ao AVC, elementos que, somente podem ser evidenciados e seguidos através da resposta de um campo potencial como o campo aeromagnético anômalo e as suas transformações na seção.

3.5.1 - Espectro de potência, mapas elaborados e transformados do campo aeromagnético

- **Espectro de potência**

O espectro de potência (Figuras 3.12) do campo magnético anômalo (Figura 3.13) permite a caracterização dos tipos de fontes anômalas existentes na seção (Hsu 1984; Blakely 1996; Mauss & Dimri 1995). A curva do espectro reflete que o campo magnético anômalo observado é resultado da presença de dois tipos de fontes: as relacionadas a comprimentos de onda maiores, da ordem de 0,03 rad/m (*fontes intracrustais*), para as quais estimou-se uma profundidade em torno de 15 km, e fontes com comprimento de onda entre 0,03 rad/m e 0,13

rad/m (*fontes supracrustais*), que caracterizam tanto as que se encontram na superfície terrestre como perto dela, atingindo profundidades de até 2 km. A parte da curva com valores maiores que o comprimento de onda de Nyquist ($> 1,000$ rad/m) contém aqueles que incorporam ruído no sinal útil (Hsu 1984; Blakely 1996).

- **Redução ao pólo**

A Figura 3.14 mostra a aplicação do filtro de redução ao pólo. O mapa do campo magnético assim filtrado apresenta valores no intervalo entre -1.190 nT e 1.400 nT. Os valores extremos localizam-se nos complexos rochosos do AVC, com destaque para os corpos intrusivos de baixa intensidade, que embora diferenciáveis, alcançam um valor médio de 169 nT.

Os complexos rochosos da PMC apresentam um campo magnético com intensidades variáveis e sinal negativo. Gradientes relativamente intensos destacam a direção NW - SE como predominante na tectônica regional, contribuindo para realçar a zona de compressão entre as rochas do Arco Vulcânico e as rochas da Plataforma das Bahamas e à delimitação destas estruturas. Entretanto, a mistura na composição das rochas do melange ofiolítico, a dimensão destes corpos fortemente desmembrados pela tectônica (Millán 1996 a, b), incluindo a provável perda de propriedades magnéticas no processo (Lufriú *et al.* 1996), impede uma melhor definição destas rochas pelo campo magnético, melhor expresso nos mapas de espectrometria de raios gama.

Analogamente, como foi apontado por Gunn (1997) em relação ao mapeamento entre litotipos sedimentares e vulcânicos, o campo magnético na região não delimita tão bem as bacias passivas superpostas ao AVC quanto a espectrometria gama. Nelas é observado um campo magnético menos diferenciável que aquele sobre as rochas do arco, com valores entre -379 nT e 400 nT, que refletem a mistura dos sedimentos com as rochas efusivas.

O campo magnético caracteriza de maneira singular a faixa de acrecência e sutura do Complexo Mabujina do terreno meridional Escambray. Falhas sub - horizontais são claramente mapeadas na divisa entre o Complexo Mabujina e as rochas do maciço metamórfico. Outros sistemas de falhas também são mapeáveis, contornando e isolando as antiformas do maciço, das bacias de Cienfuegos a SW, Cabaiguán a NE e da falha La Trocha a SE. Esta falha, elemento estrutural de grandes dimensões em extensão e profundidade, apresenta evidente expressão no campo magnético, com notáveis mudanças na direção dos gradientes e predomínio de valores

negativos que destacam sua direção SW - NE. Outros alinhamentos tectônicos na direção NW - SE e N - S no interior das antiformas, também refletem a grande complexidade estrutural. O Escambray revela-se, regionalmente, com um campo magnético de sinal negativo com decréscimo monótono até atingir -300 nT na direção sul, o que reflete a provável natureza diamagnética das rochas que compõem as duas antiformas deste Terreno metamórfico (Lufriú *et al.* 1996).

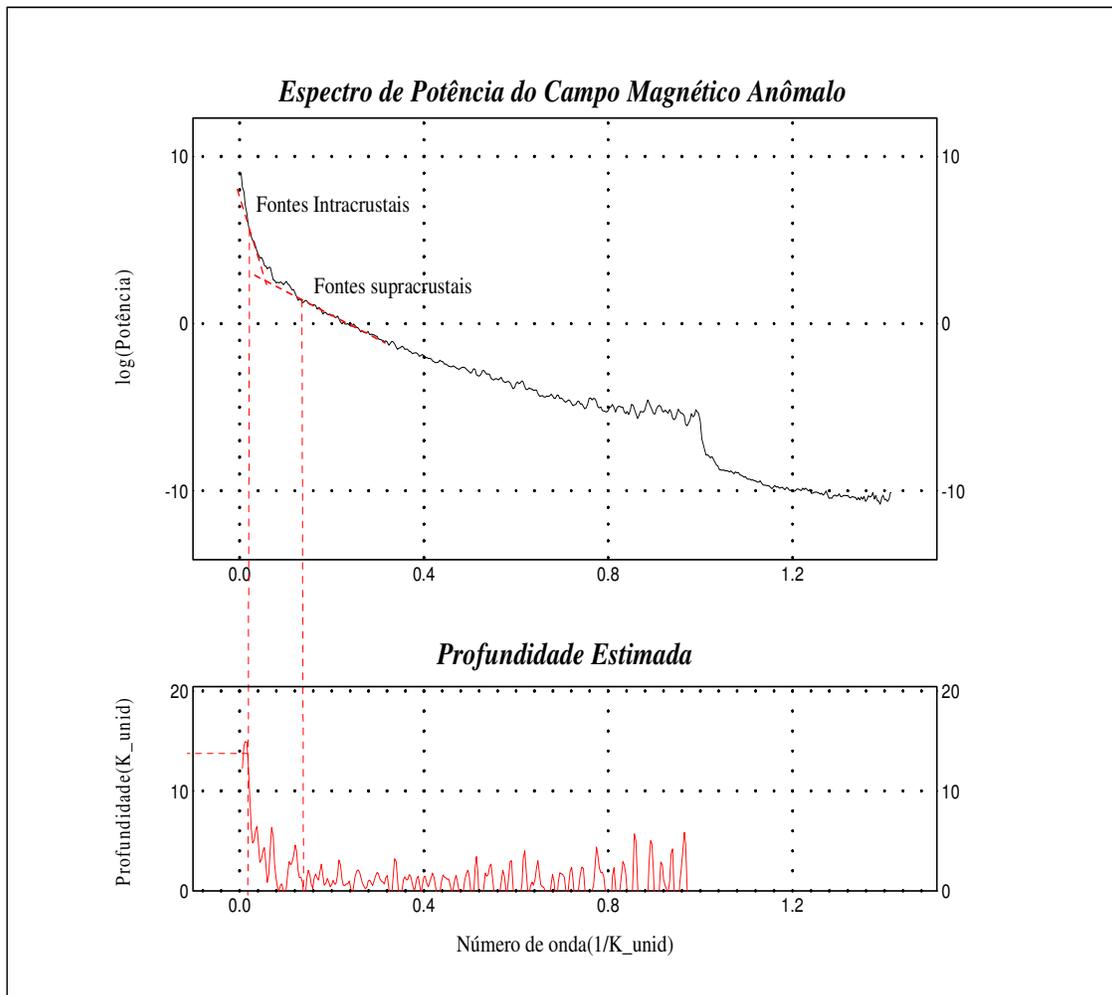


Figura 3.12 Espectro radial de potência do campo magnético na região central de Cuba.

- **Continuação ascendente do campo magnético anômalo**

As Figuras 3.15 e 3.16 representam as continuações ascendentes até 2.000 m e 15.000 m, respectivamente, do campo magnético anômalo reduzido ao pólo. Nelas, observa-se para toda a porção norte da área, um campo magnético de baixa intensidade e gradiente variável da ordem

das primeiras dezenas de milésimos de $nT.m^{-1}$. Destacam-se valores elevados do campo magnético anômalo, principalmente ao longo da porção central e SW, 500 nT, e SE da área, 200 nT, que refletem a continuidade espacial e a profundidade dos complexos rochosos de maior susceptibilidade,.

Da superposição dos lineamentos tectônicos com estes mapas, observa-se como as tendências mais regionais das principais estruturas são conservadas e bem delimitadas pelos lineamentos para uma continuação ascendente de 2.000 m, como foi apontado em Padilla *et al.* (1994) e Padilla (2001), em especial, nas zonas de sutura: a setentrional, entre rochas da crosta oceânica protocaribenha e rochas continentais e a meridional, entre rochas do arco vulcânico e rochas do terreno Escambray. Destaca-se também a largura que supera, em média, 3 km em todo o comprimento da falha La Trocha que, como no assoalho das bacias, apresenta rochas de alta susceptibilidade da base do AVC. Já, para uma continuação ascendente de 15.000 m, o quadro regional não muda; no entanto, observam-se diferenças na resposta da parte positiva do campo magnético anômalo sobre as rochas do AVC com as apresentadas antes da filtragem; adicionalmente evidencia-se a perda paulatina do sinal positivo com o aumento da continuação ascendente, sendo observáveis as porções profundas das massas rochosas da seção, as quais se situam a SW e a SE da região. A presença das rochas do terreno Escambray também são delineadas.

- **Realce do campo pelas derivadas segundo as suas componentes direcionais**

Segundo Milligan e Gunn (1997), as transformações no campo magnético podem contribuir para o realce de sua assinatura. Das derivadas direcionais, apresenta-se como exemplo na Figuras 3.17, a derivada horizontal em X, onde pode ser observado o realce dos intensos gradientes das principais tendências estruturais da região de direção NW - SE, os cavalgamentos na direção NE, das dobras recumbentes na porção setentrional, além do cavalgamento dos anfíbolitos sobre os granitóides na divisa entre essas rochas e as rochas do AVC, no maciço metamórfico localizado ao sul. Observa-se também como os lineamentos na direção NE - SW e N - S, às vezes modificam a simetria dos principais blocos regionais já descritos. Evidencia-se das cartografias do campo magnético e de toda a exposição precedente, a complementação indissolúvel destes métodos e o acerto das previsões feitas para a magnetometria, epígrafe 3.2.

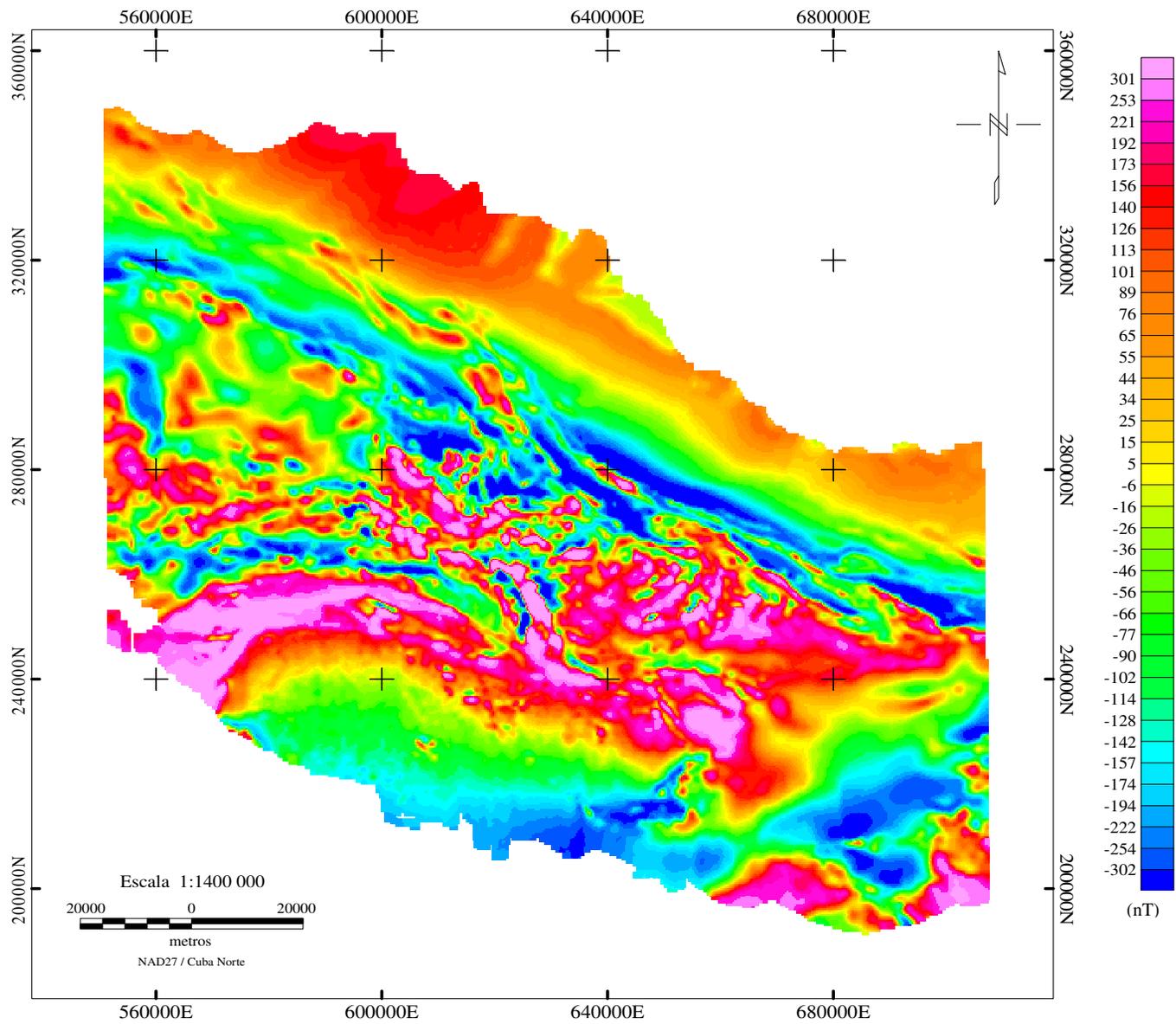


Figura 3.13 - Mapa do campo magnético anômalo, região central de Cuba.

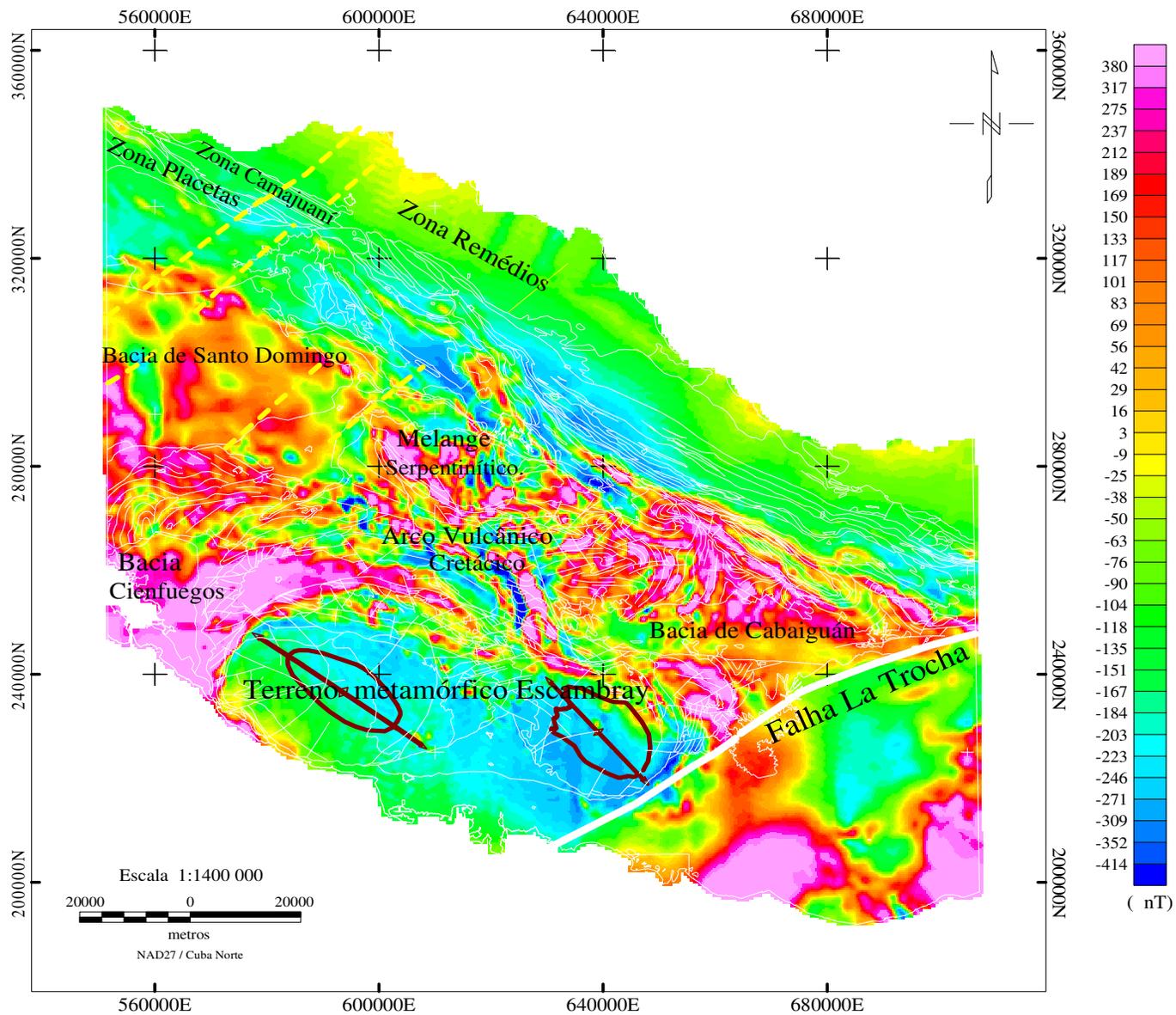


Figura 3.14 Mapa do campo magnético reduzido ao pólo e lineamentos tectônicos, região central de Cuba.

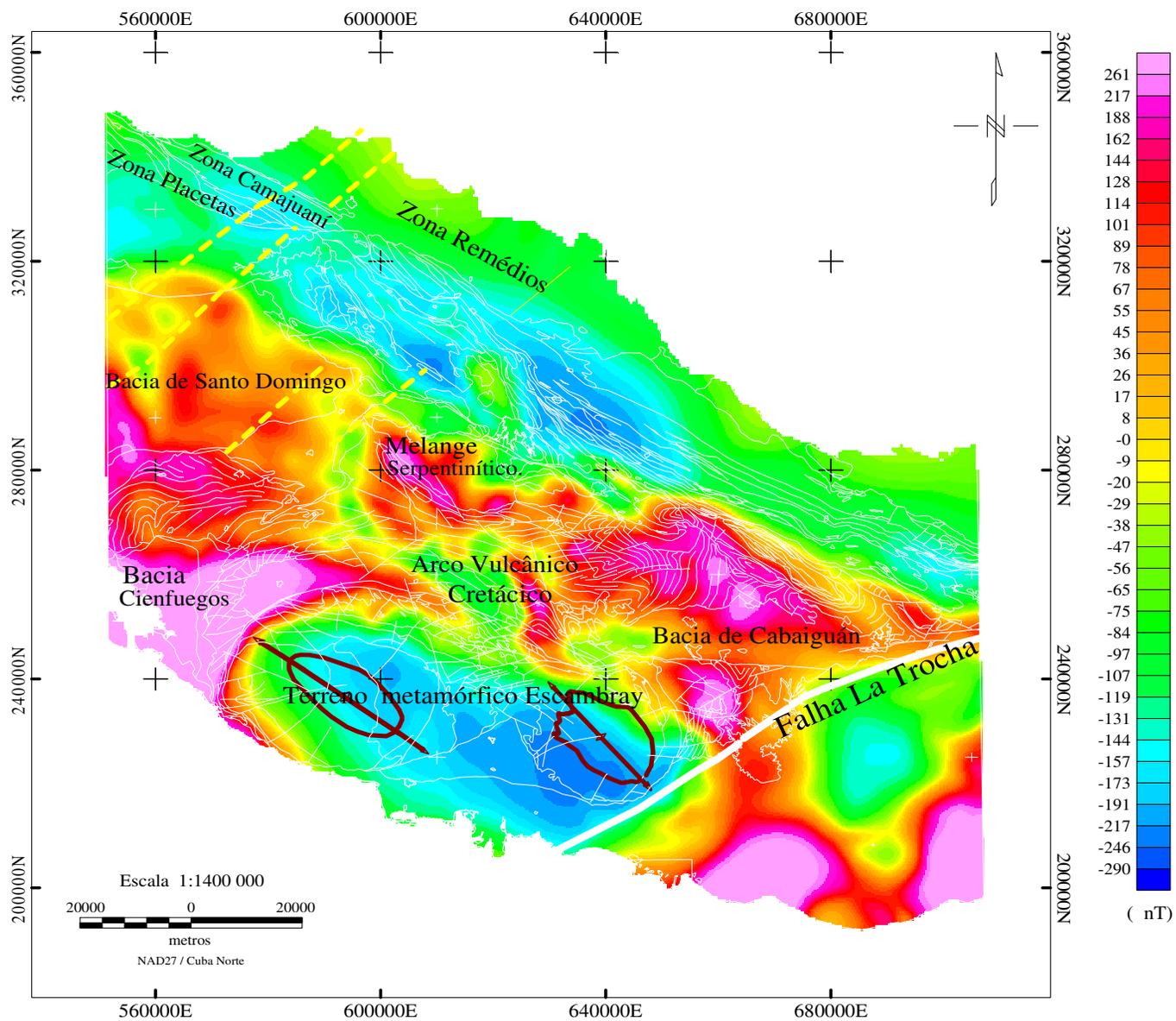


Figura 3.15 Mapa da continuação ascendente ($h = 2.000$ m) do campo magnético reduzido ao pólo e lineamentos tectônicos, região central de Cuba.

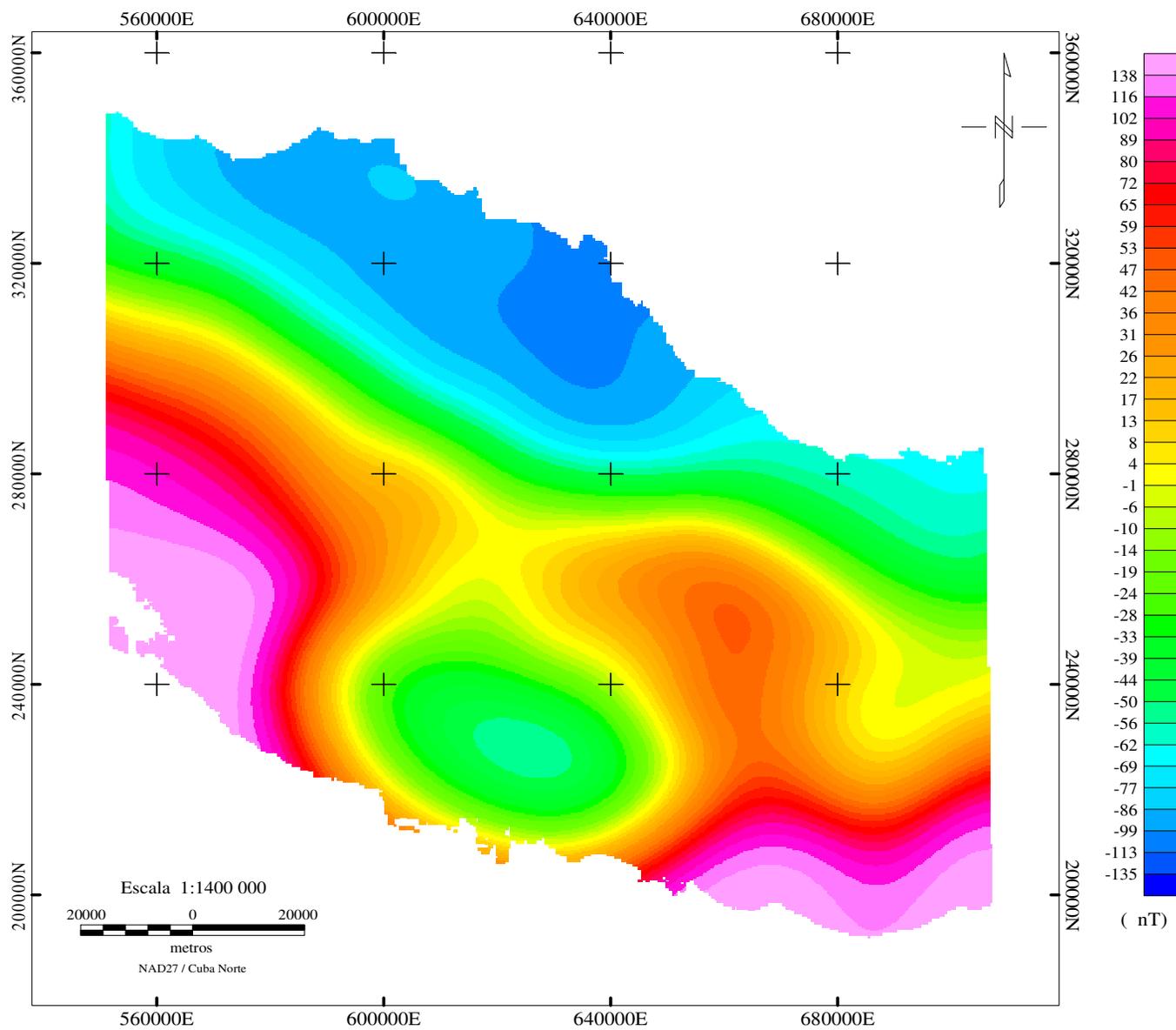


Figura 3.16 Mapa da continuação ascendente ($h = 15.000 \text{ m}$) do campo magnético anômalo reduzido ao pólo, região central de Cuba.

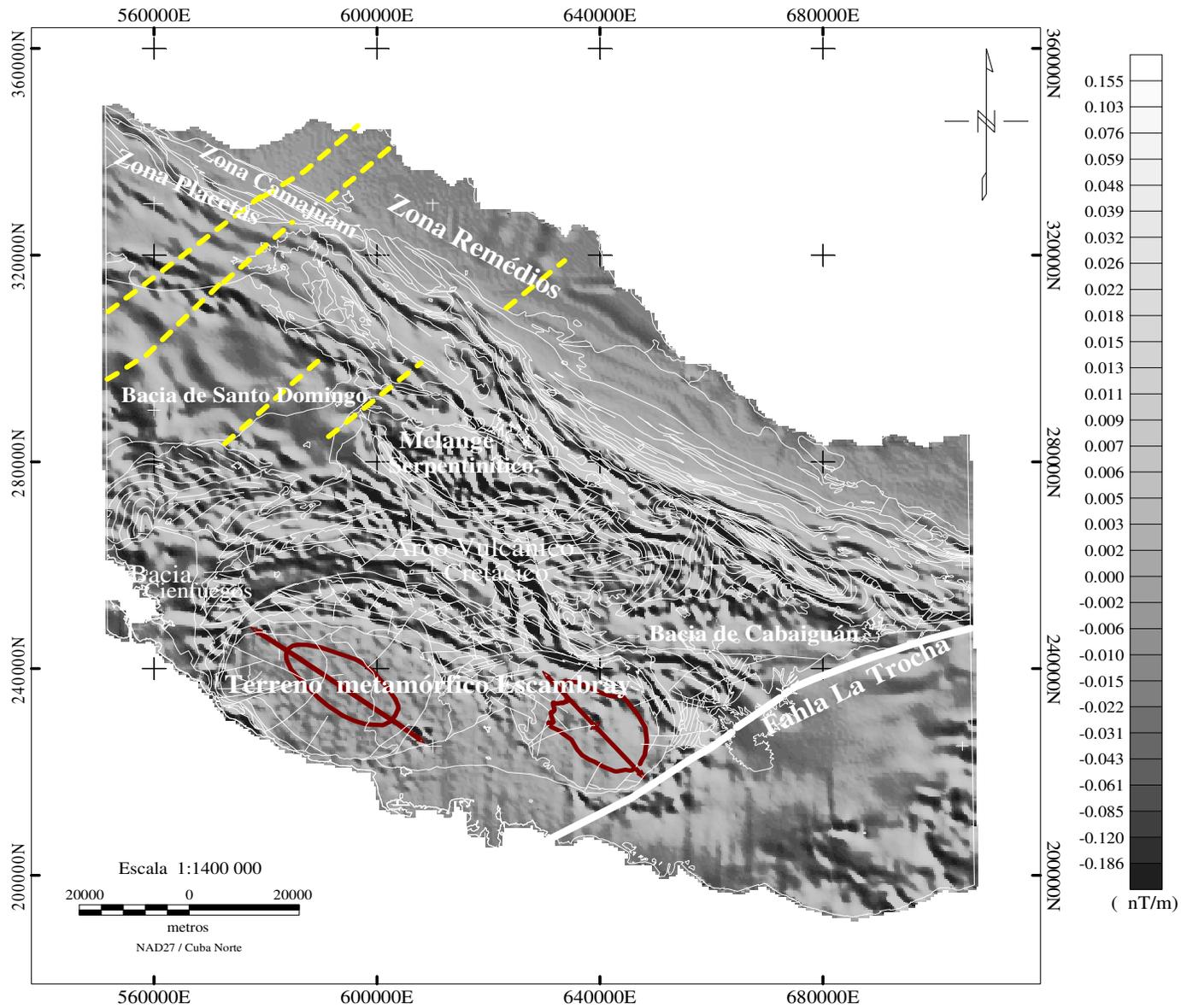


Figura 3.17 Mapa da derivada horizontal em X do campo magnético anômalo (sombreamento 45°) e lineamentos tectônicos, região central de Cuba.

CAPÍTULO 4. ESTIMATIVA DAS TAXAS DE DOSES DE RADIAÇÃO GAMA

4.1 - INTRODUÇÃO

A estimativa dos níveis da exposição da população humana submetida aos efeitos de diferentes fontes de radiação tem sido uma importante tarefa desenvolvida por instituições do ramo da energia nuclear e outras especialidades afins, ao longo do século passado e o atual. Esses estudos, que abrangem a avaliação das taxas de doses provenientes, tanto do *background* das fontes ionizantes naturais quanto dos testes nucleares, têm como centro as estreitas relações entre os seres vivos (verdadeiros sensores biológicos) e seu *habitat* (Lufriú 1993, 1998). É necessário porém, quantificar as concentrações de radionuclídeos nas deposições dos solos e no corpo humano, empregando a linguagem comum das grandezas dosimétricas, visando avaliar os processos de transferência possíveis e os efeitos físicos, químicos ou biológicos correlatos às radiações ionizantes, (UNSCEAR 1977, Anexo A; UNSCEAR 1982, 2000).

4.2 - GRANDEZAS DOSIMÉTRICAS E NÍVEIS DE PROTEÇÃO À SAÚDE

Os avanços e expectativas do conhecimento humano sobre as potencialidades (utilidade e/ou dano) das radiações no cotidiano das pessoas, conduziram à necessidade de definir e introduzir novas grandezas dosimétricas operacionais no ramo da proteção radiológica. Estas grandezas têm permitido, de forma indireta, a avaliação e comparação dos efeitos da exposição às radiações ionizantes, levando em consideração as diferentes vias de transferência e a interação com a matéria. Assim, a avaliação dos níveis de exposição pública, acidental ou médica, quando se referem a raios X ou gama, se expressam em Coulomb/kg ($C.kg^{-1}$) no Sistema Internacional (SI). Esta grandeza, que mede a quantidade de carga elétrica do mesmo sinal, produzida pela ionização no ar dessa radiação / unidade de massa do ar onde ela se distribui, ainda hoje se reconhece no âmbito clínico pelo antigo nome Röentgen ($1 R = 2,58 * 10^{-4} C.kg^{-1}$).

Visando estimar possíveis efeitos na saúde dos organismos vivos submetidos à exposição de qualquer tipo de radiação ionizante, foi definida, há quase duas décadas, a grandeza “dose absorvida” para uma parte do corpo ou para o corpo todo. Essa grandeza quantifica os níveis da exposição em $joule.kg^{-1}$, unidade especial conhecida como Gray (*Gy*) (ICRU 1980a, 1991).

Sendo assim, a “dose absorvida” expressa por $D = d/dm$ é o valor da energia (média estatística da distribuição de energias) depositada pela radiação ionizante (*d*) em um volume

elementar de massa irradiada (dm). As flutuações na energia depositada são dependentes porém, do incremento da densidade de ionização da radiação conhecida como *linear energy transfer (LET)*, chegando a atingir, em condições específicas e para baixas doses, apenas um grupo particular de células. As doses podem referir-se também à “dose equivalente” se expressas por:

$$H_T = \sum_R D_{TR} w_R.$$

onde:

D_{TR} - dose média de radiação absorvida no órgão ou tecido de tipo R (*partículas ou fótons*)

w_R - fator de ponderação adimensional que qualifica a radiação incidente e relaciona-se a transferência linear de energia LET no percurso da partícula- fótons.

Se $w_R = 1$ (um) a “dose equivalente” H_T será numericamente igual à “dose absorvida”; a unidade de H_T no SI é Sieverts (Sv) (ICRP 1980, 1991).

Quando a dose D é avaliada em um ponto de tecido específico, esta refere-se à grandeza “equivalente de dose”, $H = DQ$, onde Q é o “fator de qualidade da radiação” que a caracteriza, esteja a radiação representada por partículas (emitidas, transferida ou recebidas) ou por fótons. No caso dos raios X, o fator $Q = 1$. A evidente confusão gerada pelas semelhanças dos termos definidos com antecedência como dose equivalente e equivalente de dose foi resolvido recentemente, permitindo-se o emprego para ambos, do termo “dose de radiação ponderada” para o tecido ou o órgão correspondente.

Na Tabela 4.1 apresentam-se os valores para o fator w_R da radiação incidente, sugeridos para sua aplicação na proteção radiológica na Publicação 92 (ICRP 2003c) e referendado no ICRP (2005).

No processo de interação das radiações gama com a matéria, predominam fundamentalmente, o efeito fotoelétrico, a dispersão *Compton* e a formação de pares, produzindo-se elétrons livres de alta energia cinética (resultado das colisões e da excitação). Para caracterizar essa primeira etapa de transferência energética desde uma partícula - fóton a uma partícula diretamente ionizante (elétron de alta energia), define-se a grandeza denominada “*kerma*” (*kinetic energy released per unit of mass*) expressa pela relação:

$$K = dE_{tr} / dm$$

onde: dE_{tr} - é a soma das energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas liberadas por partículas neutras ou fótons incidentes no material de massa dm (ICRU 1980a).

Tabela 4.1 - Fatores de ponderação da radiação.

| tipo de radiação incidente | w_R |
|---|--|
| fótons | 1 |
| elétrons e múons | 1 |
| prótons | 2 |
| partículas α , fragmentos da fissão, núclídeos pesados | 20 |
| nêutrons incidentes | $2,5 + 18,2 \exp [-(\ln E_n)^2/6]$ para $E_n < 1\text{MeV}^*$ $5,0 + 17,0 \exp [-(\ln(2 E_n))^2/6]$ para $E_n \geq 1\text{MeV}^*$ |

* Equações para a estimativa da dose efetiva de procedência neutrônica, Tabela S3 do ICRP 2005.

Desse modo, como o *kerma* inclui a energia recebida pelas partículas carregadas, normalmente elétrons de ionização, estes podem dissipá-la nas colisões sucessivas com outros elétrons ou na produção de radiação de freamento, processo que acontece para energias superiores a 3 MeV. Logo, outra forma de expressar o *kerma* é pela soma do *kerma* de colisão e de radiação:

$$K = K_c + K_r$$

onde: K_c - deve-se a energia é dissipada localmente por ionizações e/ou excitações

K_r - deve-se a energia é dissipada longe do local por meio dos raios X

Em condições de equilíbrio eletrônico, o *kerma* utiliza as mesmas unidades da taxa de dose absorvida no ar, o Gy. Nestas condições, a exposição medida no ar relaciona-se com a dose absorvida por meio do fator 0,876, que é precisamente a energia média para a formação de um par de íons no ar, por carga do elétron. No caso de se comparar as doses em diferentes meios, a relação entre a dose absorvida no ar, D_{ar} , e a dose absorvida em qualquer outro material, D_m , pode ser expressa pela relação entre os seus correspondentes coeficientes de absorção de energias μ :

$$\frac{D_m}{D_{ar}} = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_m}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{ar}} = f \quad \text{onde: } \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \text{ é o coeficiente de absorção de energias}$$

Analogamente aos tipos de doses, têm sido definidas também outras grandezas que permitem, de forma mais específica, definir os efeitos sobre os tecidos irradiados no âmbito clínico ou ambiental:

- a “dose de radiação ponderada ambiente” num ponto do campo de radiação, $H^*(d)$, que qualifica a “dose de radiação ponderada” possível de se produzir por um campo de radiação alinhado e expandido numa geometria esférica (esfera ICRU) a uma profundidade d , no raio oposto ao sentido do feixe incidente. Esta grandeza é empregada comumente no monitoramento de áreas (ICRU 1993). A esfera ICRU infere 30 cm de diâmetro de tecido equivalente, com uma densidade de $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ e uma composição de massa específica de 76 % de oxigênio, 11,1 % de carbono, 10,1 % de hidrogênio e 2,6 % de nitrogênio (ICRU 1993). A “dose de radiação ponderada” ambiente expressa-se também em Sievert (Sv) e assume-se nos estudos, como condição de contorno, um campo de radiação ambiente isotrópico e uniforme;
- a “dose de radiação ponderada pessoal” $H_p(d)$ é definida no monitoramento individual, para avaliar a “dose de radiação ponderada” num ponto a uma profundidade d , no tecido mole do corpo.

Se de forma ampla, as estimativas visam as doses resultantes da irradiação de diversos órgãos, a média aritmética ponderada da “dose de radiação ponderada”, quantificará a “dose efetiva” E , a qual é expressa atualmente em Sv. A forma de determinar os diferentes fatores de ponderação dos tecidos dos diversos órgãos w_T implica em que a “dose efetiva” caracterize o dano total ou “detrimento” provável da irradiação uniforme do corpo todo (ICRP 1990), que pode ser expressa por:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_{R,T} w_T \cdot w_R \cdot D_{TR}$$

Onde E , além de relacionar-se com os fatores já descritos D_{TR} , w_R e H_T , relaciona-se também com o fator de ponderação do tecido “ w_T ”, que reflete os efeitos sobre todos os tipos de tecidos e que normalizado, pode ser uma medida do risco letal; é uma medida da sensibilidade ou

resposta dos tecidos induzida pelos efeitos das doses. O valor desse fator tem sido ajustado correspondentemente ao avanço do conhecimento, já que resume em si as características das relações complexas envolvidas no transporte de energia até o nível molecular e a natureza estocástica das múltiplas interações elementares que são geradas. Assim, “ w_T ” representa entre outros, um dos fatores epidemiológicos de maior importância para estimar o risco de câncer e doenças hereditárias vinculáveis as taxas de doses recebidas. Os atuais valores para w_T se apresentam na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Fatores de ponderação dos tecidos.

| tecidos | w_T | Σw_T |
|---|-------|--------------|
| ossos, peito, cólon, pulmão, estômago | 0,12 | 0,60 |
| bexiga, esôfago, gônadas, fígado, tireóide | 0,05 | 0,25 |
| ossos superficiais, cérebro, rins, glândula salivares, pele | 0,01 | 0,05 |
| resto dos tecidos* | 0,10 | 0,10 |

* resto dos tecidos (*14 em total*), ICRP 2005

Tecido adiposo, adrenalina, tecido conectivo, vias extratorácicas, vesícula biliar, válvulas do coração, nodos linfáticos, músculos, pâncreas, próstata, válvulas SI, vazo, timo e útero/ cervix

Assim, considera-se a “dose efetiva” obtida destas avaliações, a grandeza que regulamenta a abordagem do problema, aproximando causa e efeito. Mas o caráter probabilístico dos riscos à saúde do público exige avaliações cada vez mais acuradas de dados específicos sobre as fontes ionizantes e as suas relações espaço temporais com o indivíduo.

Ao avaliar os efeitos das doses em populações num dado período de tempo, ou ao fazer análises de otimização por custo - benefício em situações diversas na aplicação da energia nuclear, emprega-se o termo “dose coletiva”, que expressa a dose efetiva total recebida por um grupo de pessoas expostas a fontes de radiação ionizantes. Logo, a “dose coletiva” define-se pelo produto do número de indivíduos expostos de cada grupo pelo valor médio da distribuição de dose efetiva nestes indivíduos (proveniente de todas as fontes contribuintes), sendo a sua unidade o Sv - homem.

Todas as grandezas dosimétricas referidas nesta epígrafe têm sido adotadas pela International Commission on Radiation Units and Measurements ICRU (1980), resumidas no UNSCEAR (1988), posteriormente revisadas pela International Commission on Radiological

Protection ICRP (1991) e citadas no ICRP (2005). Todas, ao longo do tempo, têm ajudado a aperfeiçoar os modelos de estimativa das doses, visando as mais simples e acuradas aproximações à realidade. Mas, a avaliação das estimativas das doses complementa-se com as restrições que estabelecem os níveis anuais de doses efetivas aplicáveis ao público. Estes níveis de proteção individual são otimizados sistematicamente e, de maneira alguma, tem contribuído a desconsiderar a probabilidade que pequenos incrementos de exposição à radiação sobre o *background* natural, consigam em certa medida atingir a saúde. O valor estabelecido há mais de uma década, 1 mSv.ano^{-1} , serve ainda de boa referência como limiar da exposição individual nas práticas radiológicas em condições normais, sendo considerado o valor de $0,01 \text{ mSv.ano}^{-1}$ como o mínimo para qualquer tipo de restrição (ICRP 1990, 2005).

4.3 - PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA

Os radionuclídeos liberados ao meio ambiente desde as suas ocorrências naturais, sejam partículas elementares, fótons, quantidades traço de seus componentes isotópicos ou produtos antropogênicos, poderão ser transportados fisicamente pelo ar ou pelas águas até longas distâncias. Determinações destas trajetórias têm sido objeto de diferentes estudos, seja em escala global para datações, para registrar os teores elementares na conformação das bases de dados mundiais sobre geoquímica ou geologia, ou em pesquisas locais, para outros fins. Em qualquer dos casos, o processo de transferência dos radionuclídeos subordina-se sempre às características do meio e a locação e o tempo de exposição à fonte de emissão (UNSCEAR 2000, Anexo A).

Como já citado, a avaliação da radiação gama ambiental pode ser realizada em termos do *kerma* no ar. Assim, tem sido estabelecida a altitude *padrão* de 1 (um) metro sobre o solo para referir os valores registrados com aparelhos calibrados diretamente em taxa de *kerma* no ar ou para converter a *kerma* a dose absorvida e/ou efetiva ou também os teores dos radionuclídeos naturais obtidos em diferentes condições experimentais.

Nas condições referidas observou-se que ao ser substituído o aparelho de medição pelo próprio corpo humano, as taxas de dose absorvidas por um órgão ou pelo corpo todo, apresentaram diferenças numéricas com relação ao *kerma* no ar. Saito (1998), consegue avaliar com sucesso essas diferenças, sujeitando-as às condições de exposição: geometria, atenuação e dispersão das radiações no processo de transferência até o corpo humano e, em seguida, em seu interior. Outros aspectos relacionados também às condições de exposição abordam-se no Anexo

A, UNSCEAR (2000), mas referem-se à distância à fonte de radiação. A referida citação destaca a ocorrência de menores incertezas quando são estimadas as taxas de doses sobre as populações, com base as concentrações médias sobre todas as distâncias e direções.

Todos esses elementos abordados, além das condições já assumidas de equilíbrio eletrônico entre as partículas - fótons carregados provenientes de fontes naturais, da geometria das fontes (consideradas como fontes planas semi - infinitas distribuídas uniformemente na terra), possibilitam a abordagem das estimativas de taxas de doses e das incidências destas doses sobre as populações, empregando os dados dos levantamentos aéreos com relativas vantagens sobre as observações pontuais (Ramli 1997).

A Figura 4.1 apresentada a seguir, resume de forma simples os principais caminhos da transferência entre os radionuclídeos fonte no meio ambiente e os seres vivos que, atuantes como “sensores biológicos”, são capazes de registrar os efeitos destas contribuições como efeitos que, às vezes, danam a saúde.

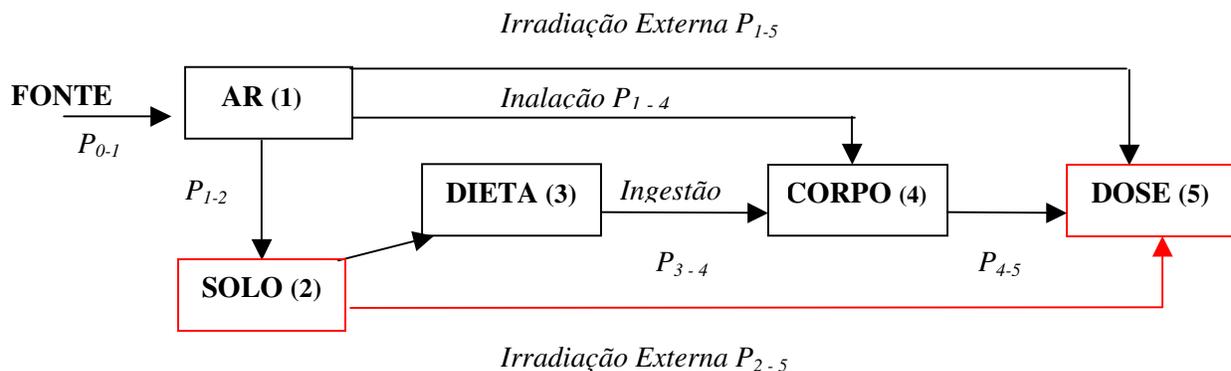


Figura 4.1 Caminhos possíveis de transferência dos radionuclídeos e doses aos seres vivos
 UNSCEAR 2000 “ P_{i-j} ”: i - origens ; j - destinos dos caminhos das contribuições
 (destaca-se em vermelho o caminho básico que abrange esta pesquisa)

Baseados na Figura 4.1, o início dos cálculos para as estimativas das taxas de doses pode se localizar em qualquer ponto da cadeia dos caminhos de transferência. A presente pesquisa abrange basicamente o caminho indicado em vermelho, que corresponde aos processos de transferência da Irradiação Externa proveniente dos radionuclídeos nos solos e rochas sobre as populações envolvidas, sem levar em conta os hábitos e dieta, entre outros fatores.

Para esse caminho de transferência, o produto entre a quantidade de radionuclídeos liberada no meio ambiente e os coeficientes de transferência resultantes de estudos experimentais,

possibilitaram a estimação da “dose efetiva” *E*. Mas, no caso das taxas de doses obtidas conduzirem a risco, as estimativas não se tornarão tão simples.

Uma série de estudos desenvolvidos na década dos 90, entre eles os de Saito *et al.* (1998, 1991) e Petoussi *et al.* (1991) esclareceu a complexidade da relação entre a dose efetiva por *kerma* no ar livre - indicador dos efeitos estocásticos da radiação no meio ambiente e a “dose de radiação ponderada”. Apesar da comprovada semelhança entre as tendências destas grandezas, destacou-se, via experimental, a forte dependência da relação com a energia dos fótons, a distância da fonte, a direção e simetria do campo incidente, a idade e a postura das pessoas expostas, sendo necessária, porém, à proposta dos autores a definição de fatores que padronizassem esta conversão. Estes fatores, apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2, permitem obter a dose efetiva do *kerma* no ar ou a dose absorvida, segundo as características e distribuição da energia gama incidente no meio ambiente. Os entes físico e matemático utilizados para reproduzir as características de absorção e espalhamento, semelhantes às do corpo humano irradiado nas referidas citações, foram o fantoma (*phantom*) antropomórfico e o cálculo iterativo em cadeias de Monte Carlo.

No artigo de Saito *et al.* 1998, estimou-se que as mudanças nos danos causados pelas fontes do meio ambiente às doses efetivas pelo *kerma* em ar livre chegam a 20% como máximo, embora tenham sido registrados também mudanças de até 40% para raios gama de baixas energias. Destacam-se também, fontes de raios gama antropogênicas, que contribuem à dose efetiva e à “dose de radiação ponderada” em crianças recém nascidas, superando até 80% dos danos em adultos, devido às diferenças marcantes na blindagem corporal (Tabela 4.3).

Levando em consideração as posições do corpo em relação a direção e simetria do campo incidente das radiações, Saito *et al.* 1998 destaca que na posição *prono* (de rosto para cima ou de rosto para baixo) e de pé, os fatores de conversão também mudam, sendo eles maiores para a posição *prono* (*de rosto para baixo*) que na oposta. A posição de pé, em geral, apresenta diferenças para a energia média dos raios gama que procedem do meio ambiente, sendo mais elevada para todos os casos em quase 10 %. Na Tabela 4.4, podem ser conferidas as referidas diferenças em relação à posição do corpo.

O trabalho de Conti *et al.* (1999) com fins semelhantes, revelou também uma forte dependência entre a dose efetiva e a dose absorvida pelos tecidos e órgãos, segundo as dimensões do fantoma antropomórfico irradiado por uma fonte de geometria plana. Obtiveram-se níveis de

Tabela 4.3 - Mudanças na dose efetiva devida às contribuições dos radionuclídeos naturais distribuídos uniformemente na terra, de acordo com a idade da pessoa.

| idade | <i>E</i> - dose efetiva pelo kerma no ar (SvGy ⁻¹) | | |
|-------------------------|--|----------------------------|-----------------|
| | Série do ²³⁸ U | Série do ²³² Th | ⁴⁰ K |
| adulto | 0,672 | 0,695 | 0,709 |
| criança (de 7 anos) | 0,766 | 0,798 | 0,803 |
| criança (de 8 semanas) | 0,899 | 0,907 | 0,926 |

Saito et al. 1998

Tabela 4.4 - Mudanças na dose efetiva devida às contribuições dos radionuclídeos naturais distribuídos uniformemente na terra, de acordo com a postura do corpo humano.

| postura | <i>E</i> - efetiva pelo kerma no ar (SvGy ⁻¹) | | |
|--------------------------|---|----------------------------|-----------------|
| | Série do ²³⁸ U | Série do ²³² Th | ⁴⁰ K |
| de pé | 0,672 | 0,695 | 0,709 |
| deitado, face para cima | 0,644 | 0,679 | 0,676 |
| deitado, face para baixo | 0,745 | 0,773 | 0,783 |

Saito et al. 1998

doses marcadamente maiores nas crianças em relação aos adultos, mesmo sem considerar a diferença na sensibilidade às radiações pelos mais jovens. Além dos trabalhos e tabelas mencionados, o ICRP (1978) estabelece para as fontes naturais, desde o final da década de 70, uma correspondência entre a “dose de radiação ponderada ambiente” (“equivalente de dose ambiental” de 1 mSv) e uma dose efetiva em adultos de 0,6 mSv, o que pode tornar relevante a avaliação de taxas de doses devidas a raios cósmicos, especialmente os de maiores energias, embora esta seja uma exposição não controlável.

4.4 - ESTIMATIVA DAS CONTRIBUIÇÕES À TAXA DE DOSE DAS COMPONENTES DE IRRADIAÇÃO EXTERNA

Grande parte da irradiação a que estamos submetidos se deve à exposição externa, da qual uma contribuição considerável corresponde à radiação que penetra a atmosfera de natureza

cósmica e, a restante, deve-se aos radionuclídeos naturais que compõem os solos, as rochas, o ar e até o interior do corpo humano.

Na radiação cósmica, consideram-se raios cósmicos primários aqueles cuja energia do espectro está no intervalo 10^{-8} eV - 10^{20} eV, dos quais, os compostos basicamente de prótons de alta energia e que procedem do espaço interestelar penetram no sistema solar relacionando-se aos íons de Hélio na proporção 85:12; penetram também outros componentes nucleônicos pesados, elétrons e neutrinos, completando aproximadamente o restante, 3 % (Nakashima & Fujisaka 1992; UNSCEAR 2000).

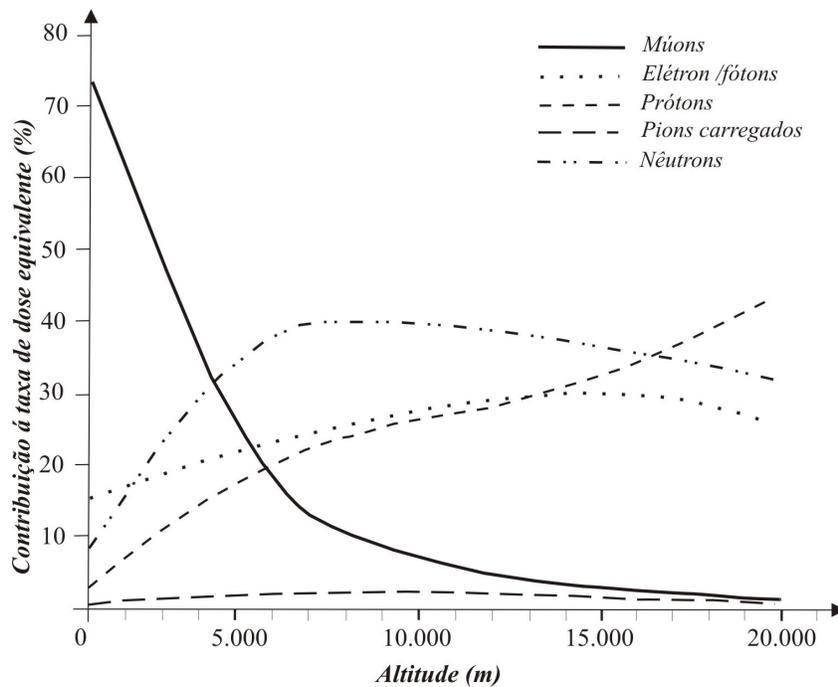
Apesar do caráter isotrópico e constante do fluxo de partículas primárias, estas são defletidas e/ou confinadas continuamente pelo campo magnético, o que ocorre preferencialmente com as partículas carregadas de baixas energias. Somente os prótons que ultrapassam energias da ordem 10^{19} eV conseguem interagir com outros átomos e moléculas da atmosfera, produzindo as partículas secundárias. Mas todos estes efeitos e interações dependem da latitude e altitude, as quais provocam mudanças na densidade do fluxo das partículas, sendo este maior nos pólos que nas regiões equatoriais, devido à deflexão das partículas carregadas, o que condiciona a produção de íons secundários a uma determinada altitude da atmosfera. Os efeitos destas mudanças serão expostos posteriormente.

Entre os componentes primários estão também outros de natureza protônica, gerados nas proximidades do sol. Estes, pelas baixas energias que possuem, contribuem pouco às taxas de doses que atingem o público, resultando importante a sua contribuição somente a elevadas altitudes.

Apesar do fluxo primário de partículas atenuar-se rapidamente nas camadas da atmosfera terrestre, os prótons mais energéticos interagem, na sua propagação, com os próprios componentes da atmosfera (núcleos dos átomos de nitrogênio, oxigênio e argônio), gerando as partículas secundárias, cujos componentes principais múons, elétrons, nêutrons e pions, além de outros variados produtos das reações, formam uma verdadeira cascata de partículas e emissões eletromagnéticas que contribuem significativamente para as taxas de doses absorvidas pela população a diferentes altitudes sobre a superfície da terra (O'Brien 1992; Nakashima & Fujisaka 1992; UNSCEAR 2000) (Figura 4.2). O percurso livre dos componentes desta cascata é dominado pelos nêutrons às menores latitudes, cuja presença no espectro localiza-se no intervalo de energia 50 MeV - 500 MeV e também nas proximidades de 1 MeV, pelas perdas energéticas

em seus níveis de excitação. Devido aos processos de ionização e colisões recorrentes, as energias dos prótons e nêutrons atenuam-se em sua propagação, mas predominam na parte alta da atmosfera, enquanto nas camadas mais baixas e ao nível do mar, pouco contribuem às doses (Smetsers & Blaauboer 1994).

Devido às perdas energéticas dos nêutrons no processo de transporte, estes são capturados pelos átomos de nitrogênio na atmosfera formando átomos de carbono; porém, deve-se aos múons com energias no intervalo $1\text{ GeV} \leq E \leq 20\text{ GeV}$ produzidos às grandes altitudes, e também aos elétrons produzidos pelas partículas primárias e nos decaimentos do processo de cascata, as maiores contribuições às taxas de doses ao nível médio do mar, NMM.



Figuras 4.2 Componentes da taxa de dose de natureza cósmica na atmosfera.
(O'Brien 1992)

Após a compilação UNSCEAR (1993), consideram-se os trabalhos de Roesler *et al.*(1998), Kurochkin *et al.* (1999), entre outros, incluídos no UNSCEAR (2000, Anexo B), as principais contribuições ao mapeamento do transporte e características da exposição dos raios cósmicos. Estes trabalhos pela via experimental, esclareceram outros aspectos sobre as variações espaciais e temporais do fluxo de natureza cósmica no espaço. Assim, estreitas relações estabeleceram-se entre as variações espaciais e as mudanças da pressão barométrica sobre a

massa de ar das camadas da atmosfera e o campo geomagnético a diferentes latitudes. No entanto, também se confirmou que as variações temporais dependem tanto das mudanças na pressão, quanto das variações sazonais resultantes do aquecimento solar (Bouville & Lowder 1988). Conseqüências de tais efeitos se refletem na contração e expansão da atmosfera, nos incrementos da intensidade da radiação cósmica com a altitude e nas taxas de dose, cuja incidência alcança até um fator duplo para cada 10 km de altitude sobre o NMM.

Os efeitos do campo geomagnético para diferentes latitudes merecem destaque. Esses efeitos têm a capacidade de desviar ou confinar as partículas carregadas, principalmente aquelas de mais baixas energias propagadas através da atmosfera. Deste modo, pode-se dizer que o campo geomagnético atua como um “agente protetor”, blindando a ação direta destas radiações sobre o meio. Os efeitos desta blindagem refletem-se na diminuição da intensidade da radiação cósmica nas proximidades do equador (quase 10% a menos que nas altas latitudes) e nos valores de intensidades máximas atingidas nos pólos geomagnéticos, devido ao incremento da densidade das partículas retidas nesta região (Bouville & Lowder 1988).

As variações temporais sobre a intensidade de radiação cósmica são dependentes dos eventos de mais curta duração da atividade solar. Estas variações terão maior incidência sobre as partículas de vida curta, influenciando pouco sobre os valores médios anuais e na exposição a longo prazo. As argumentações em Bouville & Lowder (1988) e as compilações UNSCEAR (1993, 2000), sugerem ignorar as variações temporais na modulação da intensidade de radiação cósmica nas proximidades da terra, níveis baixos da atmosfera e ao NMM, por serem estas comparáveis às incertezas inerentes às próprias estimativas.

Em UNSCEAR (1977, 1988, 2000) indicou-se para os níveis de exposição terrestre, o valor de 32 nGy.h^{-1} para a taxa de dose absorvida ao NMM, taxa esta resultante da avaliação da componente diretamente ionizante e fotônica de natureza cósmica, que modificada pela latitude geomagnética em aproximadamente 10%, reflete, em média, uma taxa de 30 nGy.h^{-1} para latitudes inferiores a 30° no hemisfério norte (concordante com a latitude da República de Cuba); este nível de exposição atinge aproximadamente 54% da população mundial. Quando se leva em consideração esse valor da taxa média de dose e se assume para o ciclo solar o valor médio de 11 anos, a taxa de dose efetiva E obtida corresponde a $270 \text{ }\mu\text{Sv.a}^{-1}$ se ao qualificar os múons, principais componentes da radiação secundária incidente ao NMM, se utilizado um fator *unitário* (1) (ICRP 1990).

Partindo do valor ao NMM da taxa de dose efetiva de $270 \mu\text{Sv.a}^{-1}$, e com a mesma equação teórica do procedimento seguido por Bouville & Lowder (1988) incluído no UNSCEAR (2000, Anexo A), mas com os coeficientes ajustados, estimou-se a componente diretamente ionizante e fotônica a diferentes altitudes (h) como:

$$E_I(\mathbf{h}) = E_I(\mathbf{0}) [0,21 \text{ Exp}(-1,649 \mathbf{h}) + 0,79 \text{ Exp}(0,4528 \mathbf{h})]$$

onde: $E_I(\mathbf{0})$: taxa de dose efetiva ao NMM; h : altitude expressa em km

Outra contribuição à irradiação externa também de natureza cósmica a ser estimada, refere-se à componente neutrônica. Os exemplos destas estimativas têm sido baseados, geralmente, num padrão para a atmosfera, representando-a por um pacote de muitas camadas, cujas espessuras são incrementadas com a altitude acima do NMM. Os trabalhos na Alemanha de Schraube *et al.* (1996, 1997), utilizando esse modelo, estimaram uma taxa de fluência neutrônica de $0,126 \pm 0,01 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$ para uma altitude de 2.963 m, equivalente a uma profundidade atmosférica de 718 g.cm^{-2} . Verifica-se para a fluência desta componente, uma tendência na atenuação com a altitude de tipo exponencial $e^{-0,00721p}$, sendo p expresso em g.cm^{-2} . Com fins semelhantes, considera-se importante também o trabalho de Roesler *et al.* (1998), que assume um perfil mais simples para a atmosfera, com camadas de espessura que equivalem a uma profundidade vertical de $p = 50 \text{ g.cm}^{-2}$ mas limitando o topo a uma profundidade vertical $p = 2 \text{ g.cm}^{-2}$ ($\approx 43 \text{ km}$ de altitude sobre o NMM) e $p = 100 \text{ g.cm}^{-2}$, correspondendo aproximadamente ao NMM. Os resultados obtidos confirmam também a dependência exponencial do espectro da fluência neutrônica com a profundidade na atmosfera. Diversas estimativas posteriores mostraram-se também concordantes com essa tendência expressa por: $\Phi_n(p) = \Phi_n(0) \text{ Exp}(-\beta p)$. Por esta via, estimaram-se outros valores para o coeficiente empírico β , os quais aproximam-se daquele apresentado por Schraube *et al.* (1996, 1997) e citado em UNSCEAR (2000), $\beta \approx 0,00721 \pm 0,00001$.

Deste modo, as diferentes estimativas realizadas experimentalmente permitiram obter, tanto ao NMM, quanto a diferentes latitudes geomagnéticas, na Alemanha (53° N de latitude) e nos Estados Unidos (45° N de latitude), os correspondentes níveis de fluência desta componente, cujo valor estimado fixou-se por volta de $0,013 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$; ao se aplicar um fator de ponderação de 200 pSv.cm^{-2} na distribuição energética da fluência neutrônica fixada, obtém-se uma taxa de dose

efetiva E de 9 nSv.h^{-1} . E, sendo conhecido que o espectro energético dos nêutrons para as altitudes habitáveis é considerado relativamente invariável, partindo do valor de taxa de dose efetiva obtida, pode-se estimar diretamente a taxa de dose efetiva anual ao NMM (proveniente dos nêutrons basicamente) como segue:

$$0,013 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} * 200 \text{ pSv} \cdot \text{cm}^{-2} = 2,6 * 10^{-12} \text{ Sv} \cdot \text{s}^{-1} = 9 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1} * 8\,760 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1} \approx 80 \mu \text{ Sv} \cdot \text{a}^{-1}$$

Valor que, embora concordante com outras pesquisas, está sujeito a incertezas, segundo a compilação UNSCEAR (2000, Anexo B).

Outro aspecto importante a considerar-se sobre a fluência neutrônica, refere-se aos efeitos provocados pelo campo geomagnético. Esta afetação condiciona as colisões dos prótons de alta energia iniciadores desta componente na cascata e, conseqüentemente, condiciona a menor taxa de fluência neutrônica observada na região equatorial em relação à observada nos pólos geomagnéticos. O trabalho de Florek *et al.* (1996) entre outros, codificou a taxa de fluência neutrônica equatorial ao NMM, resultando esta cinco vezes menor que a taxa no pólo geomagnético, mas a 50°N de latitude estimou que a taxa é 80 % da polar. Outros trabalhos também compilados (UNSCEAR 2000, Anexo B) conferiram semelhantes diferenças em relação à latitude geomagnética, diferenças que permitiram tabelar os resultados em faixas de 10° de latitude para estimar os valores médios ponderados sobre o público. A taxa de dose efetiva média mundial desta componente neutrônica estimou-se em $5,5 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ ou $48 \mu \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ ao NMM.

Finalmente, estas tentativas conduziram ao estabelecimento de fatores padrão para ambas componentes, partindo dos valores de taxas de dose efetivas ao NMM (UNSCEAR 2000). Assim, considera-se o valor para a taxa de dose média ponderada para a população, da componente diretamente ionizante e fotônica, 1,25 vezes o valor da taxa ao NMM ($270 \mu \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$), obtendo-se aproximadamente $340 \mu \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$. Entretanto, estima-se para a taxa de dose correspondente à componente neutrônica, um valor 2,5 vezes aquele obtido ao NMM ($48 \mu \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$), que atinge aproximadamente $120 \mu \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$. Assumindo o fator de blindagem igual a 0,8 para moderar o peso das radiações como sugere UNSCEAR (2000), obtém-se para as duas contribuições (componente diretamente ionizante e fotônica e componente neutrônica), o valor $380 \mu \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$

A dependência da altitude para ambas componentes de natureza cósmica é muito mais forte do que a dependência da latitude, ao derivar as mudanças das taxas de dose para as

localidades habitáveis. Estas considerações serão empregadas a seguir, para avaliar os níveis da taxa de dose de origem cósmica nas diferentes faixas do perfil de altitudes da região central da República de Cuba, levando em consideração a população que as habitam.

4.4.1 - Estimativa da contribuição da componente cósmica à taxa de dose efetiva

Para estimar a taxa de dose efetiva anual proveniente das componentes da radiação cósmica na região central de Cuba, são utilizadas as expressões matemáticas e coeficientes empíricos da compilação UNSCEAR (2000), baseados no procedimento aplicado por Bouville & Lowder (1988), com referência ao perfil de altitude de O'Brien *et al.*(1996) e incorporando também, os ajustes nos coeficientes empíricos resultado das coletas de dados, com base nos trabalhos de (Schraube *et al.* 1996, 1997) e Roesler *et al.* (1998).

Em concordância com o procedimento já mostrado anteriormente, avalia-se $E_I(\mathbf{h})$ para a região de estudo. Os elementos que suportam esta aplicação são: a matriz do modelo digital de elevação (*MDE*) elaborado nesta pesquisa (Figura 4.3), com célula unitária 500 m x 500 m, o valor base para a taxa de dose efetiva $E = 270 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ ao NMM e o fator de blindagem médio 0,8, assumido para moderar o peso das radiações.

Analogamente, avalia-se para a região, a expressão apresentada no trabalho de Schraube *et al.* (1996), $\Phi_n(p)$, para estimar as correspondentes mudanças da componente neutrônica com a altitude, iniciando com o valor base para a taxa de dose efetiva ao NMM $\Phi_n(o)$, $48\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$.

Como resultado da avaliação das equações já apresentadas são obtidas duas matrizes, cuja soma conduz a matriz $E_{\text{c}\acute{\text{o}}\text{s}\text{m}\text{i}\text{c}\text{a}}$ apresentada na Figura 4.4, que caracteriza as mudanças na dose efetiva através das variações nas duas componentes de natureza cósmica, em função da altitude na região.

Visando, pela primeira vez e de forma aproximada, o mapeamento das incidências deste tipo de fontes sobre os grupos populacionais no território, testaram-se diferentes modalidades de representação espacial (espacialização) da distribuição populacional na região central de Cuba. Este teste é necessário, devido à não disponibilidade de informações populacionais detalhadas e ao caráter pontual destas nas diferentes localidades.

Na Figura 4.5 apresenta-se a divisão política administrativa, com destaque para as menores células a considerar, municípios, cidades e vilarejos, para as subseqüentes análises e estimativas.

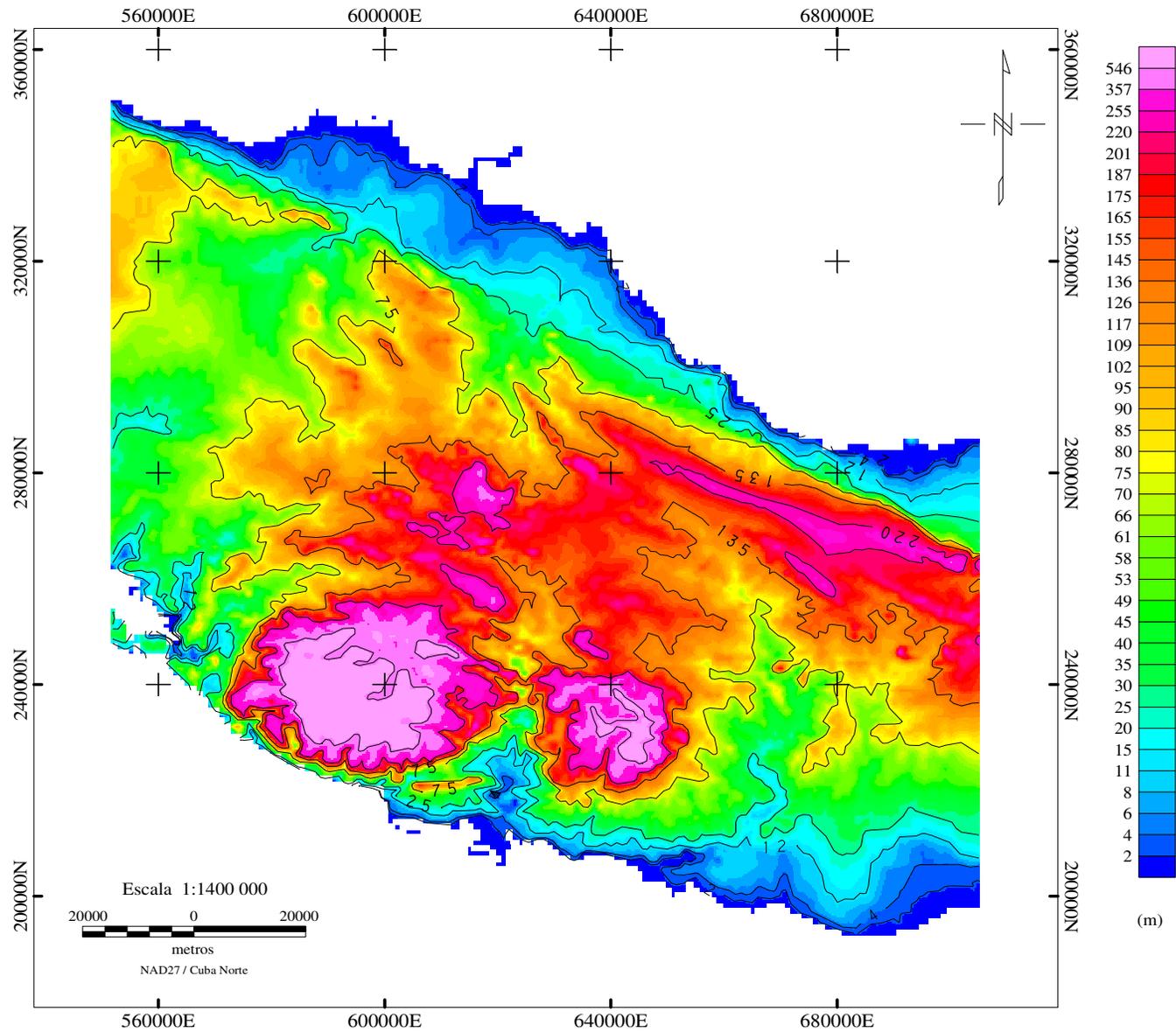


Figura 4.3 Mapa do modelo digital de elevação (MDE), região central de Cuba.

Baseados nessa divisão político-administrativa, serão analisados os possíveis padrões estatísticos e de correlação dos dados de taxas de dose através das mudanças nas características do meio geológico (Figura 2.1) e dos padrões de distribuição das doenças cancerígenas, comuns aos conjuntos populacionais existentes. Na região de estudos localizam-se três províncias que abrangem 27 municípios e nestes, 121 vilarejos ou localidades. As províncias e municípios denominam-se: **Villa Clara** (Corralillo, Quemado de Güines, Sagua la Grande, Encrucijada, Camajaní, Caibarién, Remédios, Placetas, Santa Clara, Cifuentes, Santo Domingo, Ranchuelo, Manicaragua), **Cienfuegos** (Rodas, Palmira, Lajas, Cruces, Cumanayagua, Cienfuegos) e **Sancti Spiritus** (Yaguajay, Jatibonico, Taguasco, Cabaiguán, Fomento, Trinidad, Sancti Spiritus, La Sierpe).

Embora seja desconhecida a distribuição detalhada da população em cada município, cidade ou vilarejo, esses elementos político - administrativos podem ser reconhecidos e delimitados pelos correspondentes traços poligonais georeferenciados que representam as áreas das principais concentrações urbanas na região. O traço desses elementos político-administrativos é apresentado nas Figuras 4.6 (a, b, c, e d), as quais mostram o resultado do teste da espacialização dos dados de população, refletindo o aspecto *raster* desses dados quando interpolados ou classificados pelas várias técnicas empregadas:

- Interpolação pelo *Inverso da distância ponderada (IDW)*;
- Interpolação pela técnica *Spline*;
- Atribuição de *proximidade por vizinhança e reclassificação*;
- Estimação de proximidade pela técnica *Buffers*.

Observa-se que em qualquer uma das variantes de interpolação com base nos dados censitários disponibilizados pelas entidades provinciais para esta pesquisa, as cartografias *raster* do conjunto populacional com base no ano 1998, condicionam-se de maneira tendenciosa ao valor atribuído ao ponto referência. A baixa densidade de pontos com atributos de população na região e a distância que os separa não garantem uma distribuição *raster* acurada para serem empregadas nas avaliações posteriores.

A aplicação da técnica IDW, apresentada na Figura 4.6 - a, atribui ao *pixel* o valor interpolado segundo a ponderação dos dados de população através de uma função linear do inverso da distância entre os pontos que representam a amostra.

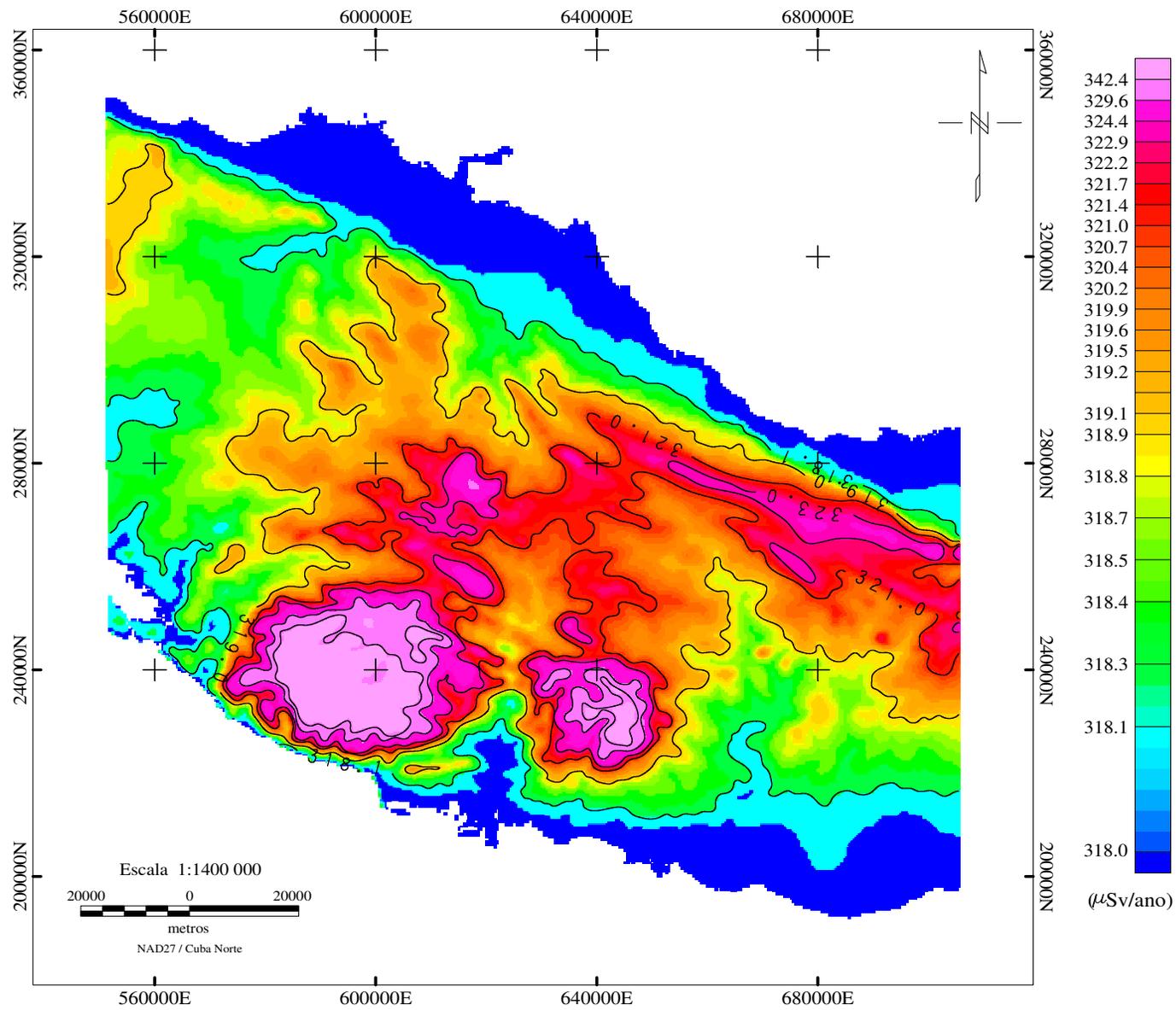


Figura 4.4 Mapa da dose efetiva anual da radiação cósmica $E_{\text{cósmica}}$, região central de Cuba.

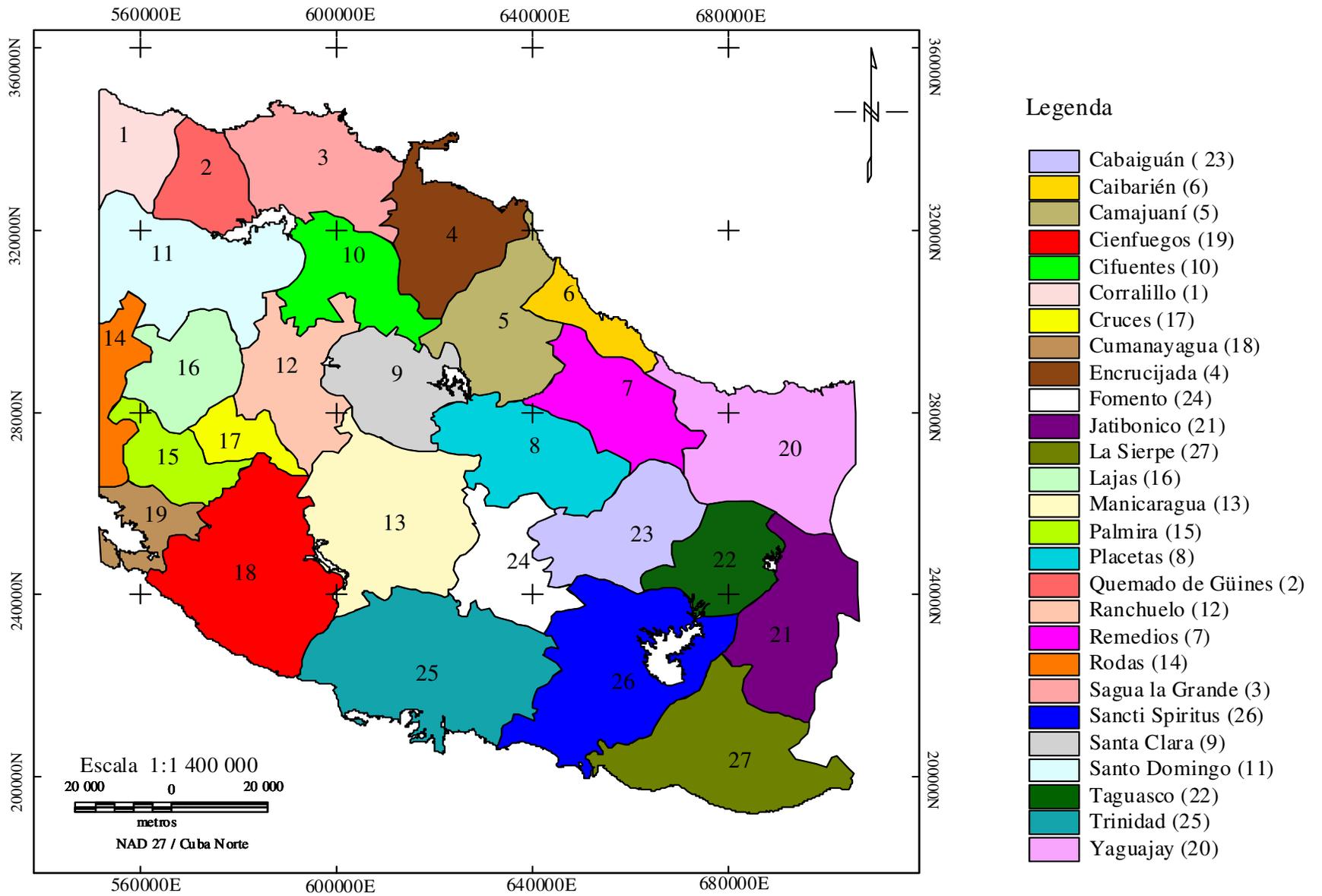


Figura 4.5 Mapa da divisão político - administrativa em municípios, região central de Cuba.

Logo, dados próximos ao ponto terão a principal influência, refletindo mais detalhes desse e menor influência dos pontos circunvizinhos. Levando em conta o princípio da técnica, o ponderador, número positivo e real que não pode criar cumes nem vales, permite obter somente os melhores resultados quando a amostragem é suficientemente densa e semelhante, para simular convenientemente as tendências da superfície (Philip & Watson 1986).

No caso do *Spline* (Figura 4.6 - b), a técnica impõe que a superfície de interpolação passe exatamente através dos pontos de dados, garantindo uma superfície contínua e diferenciável, na qual a soma cumulativa dos quadrados dos termos de segunda derivada em cada ponto da superfície é mínima. Para esta técnica existem variações, entre elas, a de mínima curvatura, já citada e selecionada como conveniente para a interpolação dos dados de geofísica no capítulo 3. Esta última técnica representa um refinamento na interpolação de tipo *Spline*, abrangendo, além da superfície contínua e diferenciável, os termos da primeira derivada que concorrem com gradientes rápidos na vizinhança dos pontos de referência, apesar das inconveniências na estimativa das curvaturas (Mitas & Mitasova 1988).

Uma superfície ainda mais lisa e homogênea pode ser obtida através das técnicas que regularizam a malha, incorporando em geral, derivadas de ordens superiores. O emprego destas, além da inclusão de termos de ponderação, contribuem para minimizar os gradientes bruscos das primeiras derivadas, facilitando o processo de cálculo. Mas, em qualquer das variações, é gerada uma superfície tão maleável quanto uma membrana de borracha, que passa por todos os pontos, conhecida como *trend*; ainda, em qualquer caso, a efetividade da interpolação dependerá basicamente da natureza, densidade e regularidade da distribuição dos dados de referência. Logo, para dados com distribuição pouco uniforme, sejam estes de população ou das doenças, onde a malha não consegue abranger (para a escala) uma quantidade semelhante ao mínimo requerido para interpolar (8 pontos), o processo requererá a expansão da matriz até alcançar o mínimo; em consequência, é gerada uma superfície como a apresentada na (Figura 4.6 - b), que embora satisfaça os dados que descrevem um campo de natureza potencial ou estatística de alta densidade de pontos, como é o caso das malhas do levantamento aerogeofísico, resulta grosseira para a espacialização dos dados de população ou doenças, que em geral, não garantem essas exigências para estudos regionais.

Visando obter uma espacialização dos dados populacionais georeferenciados e com base

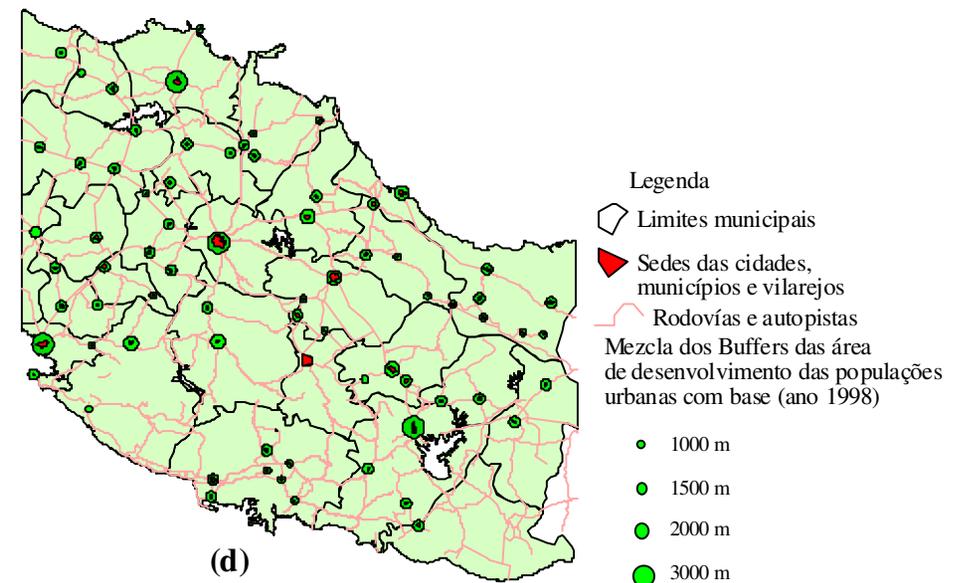
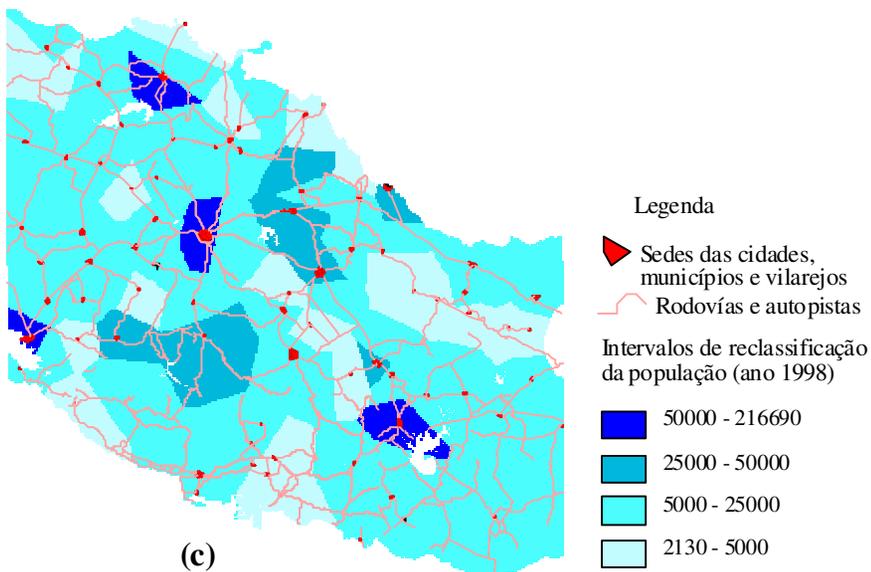
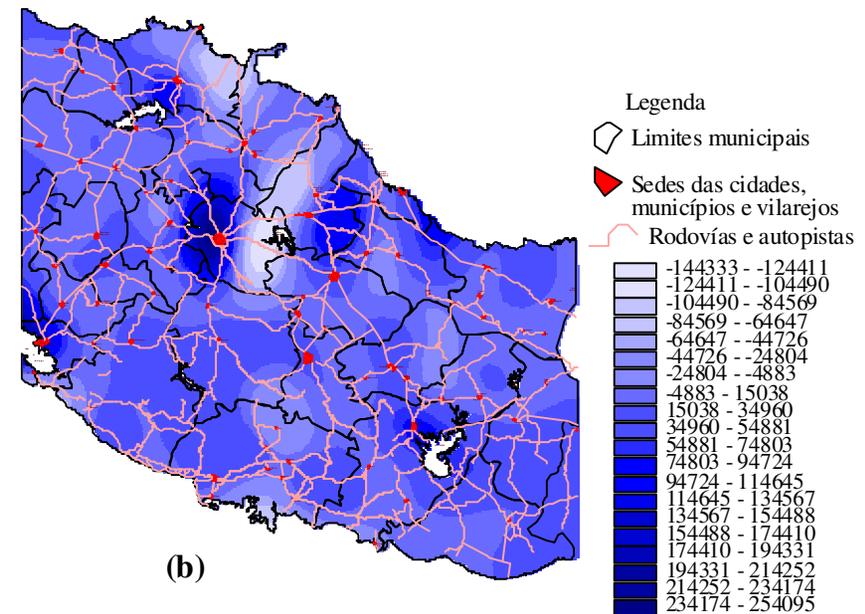
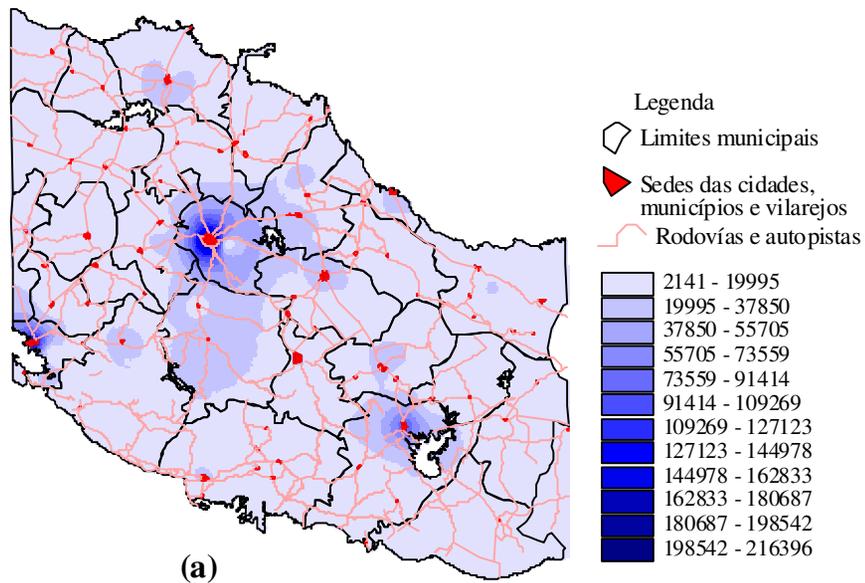


Figura 4.6 Mapas esquemáticos da espacialização dos dados de população com base no ano 1998, na região central de Cuba. Técnicas: (a) IDW; (b) Spline; (c) Atribuição de proximidade e reclassificação; (d) Buffer's.

nas distâncias Euclidianas entre as localidades vizinhas na região, os dados de população foram agrupados aproveitando a rotina *Assigns proximity*, do *Arc View*, a qual divide a região num conjunto de polígonos *Thiessen* e, ao mesmo tempo, gera para estes um *grid* que reflete simplesmente a magnitude ou elevação desses dados. Esse *grid*, posteriormente re-classificado por intervalos de população, permitiu obter a imagem que é apresentada na Figura 4.6 - c, imagem que evidencia claramente uma espacialização mais objetiva da esparsa base de dados, mas também tendenciosa em relação aos valores.

Finalmente, se testou e selecionou a técnica *Buffer* no *Arc View*, como a mais apropriada para as análises posteriores. Expõem-se a seguir, os argumentos técnicos e fatos sociais que condizem com esta seleção.

Nas áreas abrangidas por cada município é possível associar a concentração dos conjuntos urbanos a traços locais topograficamente referenciáveis (polígonos). As coordenadas dos centros desses polígonos podem servir de suporte ao dado censitário urbano, como indicam a diretriz do governo e as suposições abaixo expostas:

- o controle do desenvolvimento dos núcleos populacionais urbanos é da competência do Instituto de Planejamento Físico (IPF) da República de Cuba e subordina-se às necessidades sociais ou individuais, visando aproveitar no crescimento a urbanística pré-existente (energia elétrica, aqueduto, rede de esgoto e infra-estrutura geral), garantindo a harmonia e as regulamentações estabelecidas no Acordo No. 3 808, do Decreto-Lei (1994) No. 147, que trata das funções administrativas do IPF, órgão estadual encarregado de formular, propor, dirigir e controlar a aplicação destas políticas territoriais;
- levando em conta o sistema de crescimento controlado e harmônico anteriormente citado, justifica-se assumir uma geometria isométrica para caracterizar e representar no espaço o crescimento temporal da população urbana centrada no polígono que representa cada localidade. Em conseqüência, contornando cada uma destas localidades, foram gerados elementos *Buffers* de diferentes diâmetros, criando áreas no intervalo de 1 km^2 - 3 km^2 (Figura 4.6 - d), com o propósito de distribuir nessas áreas os dados populacionais urbanos disponibilizados pelas províncias e basear nessas condições, a confecção dos mapas de densidade populacional urbana, expressos em habitantes. km^{-2} , úteis para diversos fins e que serão empregados nas análises posteriores;

- no caso das populações rurais para as quais não é possível estabelecer uma localização fixa fora dos limites urbanos reconhecíveis, associaram-se os dados disponíveis ao centróide municipal correspondente para os testes de interpolação que se apresentam nas Figura 4.6 - a - b - c; entretanto, para as estimativas posteriores, uma distribuição uniforme dentro dos limites municipais é assumida para os conjuntos populacionais rurais, resultando, conseqüentemente, uma densidade populacional rural homogênea e constante em qualquer ponto exterior ao *Buffer*, que passa a representar, para qualquer análise, a área urbana dentro dos municípios correspondentes da região.

As possibilidades do *Arc View* na geração dos *Buffers*, como base dos centróides populacionais urbanos, combina-se aqui com as vantagens dos modelos baseados no *kernel* (Martin 1989, 1996; Martin & Bracken 1991; Bracken 1994), no intuito de gerar superfícies de densidade onde não é preciso interpolar valores em todas as células da grade. Este modelo que prevê a ocorrência de células onde a densidade de população pode ter valor zero ou inclusive, ausência de valor, é o apropriado para as análises. O *kernel* é uma função bivariada, que possibilita a estimativa da intensidade do padrão de pontos que, aplicado sobre a população urbana, gera a superfície de densidade, associando ao centro de cada polígono uma grade regular representativa da espacialização geográfica assumida para a população urbana, mantendo as áreas não povoadas presentes na superfície final (Diggle 1985 1990; Gatrell *et al.* 1996). A largura ou alcance do *kernel* ajusta-se à densidade local do centróide quanto às características da população local, sendo que a largura se reduz proporcionalmente em regiões de alta densidade; entretanto, nas pouco povoadas, a largura do *kernel* não é alterada; assim, o *raster* resultante reflete o decaimento ponderado e proporcional da densidade populacional com a distância na grade. Outros detalhes complementares sobre esta forma de representação *raster* serão mostrados em janelas que ampliam a representação regional no capítulo 5, acompanhados em detalhe pelas cartografias correspondentes que mostram a espacialização das alternativas selecionadas.

Conseqüentemente, com o propósito de mapeamento e avaliação das incidências das fontes de natureza cósmica sobre os grupos populacionais, efetuou-se a sobreposição e análise estatística *pixel a pixel* das cartografias das matrizes *E_{cósmica}*, MDE e de população, antes de transformar esta última em mapa de densidade populacional como se apresenta na Figura 5.5, no capítulo seguinte. O procedimento seguido em ambiente SIG, consistiu em fatiar o mapa *raster*

do MDE em 13 faixas de altitude que posteriormente vetorizadas, foram individualmente sobrepostas às cartografias *E_{Cósmica}* como citado e ao mapa de população gerado nesta pesquisa, através da técnica buffer e dos recursos assumidos para representar a distribuição das populações rurais.

Os Anexos 1- a, b e c mostram como o programa *Arc View* auxilia na estimativa da população rural e urbana, partindo do MDE confeccionado para a região central de Cuba. O Anexo 1 - a mostra a estimativa da população que mora na faixa ≤ 10 m de altitude e os núcleos populacionais dos municípios que não são abrangidos pela faixa no processo de sobreposição de cartografias; estes municípios, zerados pela estimativa, destacaram-se com a cor cinza. A porção de área comum abrangida pela faixa sobre os mapas, estima-se pelo produto entre as contagens obtidas na sobreposição (individual e para cada faixa) e a dimensão do *pixel* ($0,25 \text{ km}^2$). Essa área comum permite estimar, proporcionalmente, a população rural residente nessa fração da faixa.

Estimativas semelhantes às exemplificadas no Anexo 1 - a foram feitas para as outras faixas, agrupadas no Anexo 1 - b, o qual consolida a informação anteriormente obtida em várias tabelas no SIG, em apenas uma tabela. Observa-se nas incertezas das estimativas por município, que o valor destas se acrescenta naqueles municípios com costa e também, naqueles que apresentam lagoas, represas, ou qualquer outro fator natural de formato irregular, já que estes se caracterizam total ou parcialmente pelo “Modelo de Objetos” com pequenas áreas isoladas, que chegam a se comparar à dimensão do *pixel* empregado no processo de cálculo, afetando, conseqüentemente, a exatidão das contagens. Estas incertezas para o caso da população compensaram-se proporcionalmente às magnitudes dos erros relativos obtidos da estimativa entre as áreas. Assim, no intuito de garantir a população rural fornecida pelos dados censitários para cada região (município), os erros foram repartidos entre as faixas, descontando ou acrescentando pessoas, até se completar o total.

Por outro lado, a estimativa da população urbana se efetuou através da sobreposição das áreas *buffers* e, sob a condição da inclusão total destas, em cada uma das faixas de altitude do MDE analisado no projeto SIG. O resultado destas estimativas, apresentado no Anexo 1 - c, vai além de seu próprio conteúdo informativo, possibilitando, de forma indireta, o cruzamento com as informações sobre taxas de dose efetiva anual de natureza cósmica nessas faixas de altitude, como pode ser observado na Tabela 4.5. Essa tabela vincula os resultados de taxas de dose

efetiva anual de natureza cósmica às populações, as quais, finalmente, reagruparam-se pelos intervalos mais representativos das mudanças geomorfológicas na região.

Observa-se nessa tabela, que os núcleos populacionais rurais compõem somente 24% do total na região. Desses, 32.858 pessoas que representam aproximadamente 9 % do total rural, habitam em cotas superiores aos 240 m, sendo atingidas por valores de dose efetiva de natureza cósmica que ultrapassa levemente a média ponderada anual estimada de 321 $\mu\text{Sv a}^{-1}$ para a população da região central de Cuba, valor este que está abaixo de 380 $\mu\text{Sv a}^{-1}$, estimado para o valor médio ponderado mundial destas contribuições. Observa-se também, que as maiores incertezas na estimativa das taxas de dose da componente cósmica se apresentam na faixa 500 m-800 m, a qual abrange uma área de 417,5 km^2 , mas que é composta de setores isolados de pequena área, muitos deles comparáveis ou menores à área do *pixel* (0.25 km^2), o que contribui para o incremento ocasional das incertezas afetando as contagens na área, fato intrínseco ao procedimento de estimação nos modelos de tipo objeto aplicados na pesquisa. Em relação à tabela 4.5, pode ser acrescentado que o maior conjunto populacional com base nos dados censitários de 1998 localiza-se, como esperado, nas faixas de baixas altitudes, com destaque para a faixa 40 m - 110 m.

Tabela 4.5 - Taxas de dose efetiva anual da radiação de natureza cósmica $E_{\text{cósmica}}$.

| Cotas (m) | $E_{\text{cósmica}}$ | | | Desvio padrão ($\mu\text{Sv/ano}$) | população urbana | população rural |
|------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|---------------------|--------------------|
| | mínimo ($\mu\text{Sv/ano}$) | média ($\mu\text{Sv/ano}$) | máximo ($\mu\text{Sv/ano}$) | | | |
| 0 - 40 | 318,0 | 318,1 | 318,8 | 0,1 | 351.001 | 78.414 |
| 40 - 110 | 318,0 | 319,0 | 322,0 | 0,1 | 389.313 | 145.902 |
| 110 - 150 | 318,8 | 320,0 | 323,0 | 0,4 | 364.233 | 53.338 |
| 150 - 200 | 319,5 | 321,3 | 327,1 | 0,6 | 86.515 | 52.260 |
| 200 - 240 | 320,5 | 322,9 | 328,3 | 0,8 | 19.365 | 18.687 |
| 240 - 275 | 321,8 | 324,5 | 330,2 | 1,1 | * | 7.444 |
| 275 - 500 | 322,4 | 331,4 | 346,6 | 4,5 | * | 15.284 |
| 500 - 800 | 333,4 | 350,8 | 371,3 | 8,6 | * | 8.663 |
| 800 - 950 | 359,2 | 374,5 | 386,5 | 5,3 | * | 1.275 |
| 950 - 1033 | 378,0 | 389,9 | 396,0 | 3,7 | * | 192 |
| | | | | | 1.210.430 | 381.459 |

*Não existem núcleos populacionais considerados urbanos em cotas superiores a 240 m sobre o NMM.

4.4.2 - Estimativa da componente gama terrestre à taxa de dose efetiva

Das fontes de radiatividade natural, os radionuclídeos de origem terrestre que compõem os solos e as rochas contribuem também à irradiação gama externa na medida de seus próprios teores.

Estes apresentam visíveis mudanças químicas nas rochas em ambientes endógenos; entretanto, quando exógenos, as mudanças determinam-se entre outros pelos processos de redox, solubilidade e seleção gravitacional. Assim, as concentrações podem chegar a ser anômalas sobre o *background*, formar parte das emissões gasosas no interior das casas, e até do interior do próprio corpo humano.

Considerando a abundância dos radionuclídeos e isótopos radioativos na crosta e as características de suas emissões gama, podemos colocar em primeiro lugar o potássio (K) e as suas emissões provenientes de seu radioisótopo ^{40}K . Embora as características dessas emissões reflitam uma fonte radiativa energeticamente fraca, ao se comparar às emissões das séries do urânio e do tório, o potássio, é considerado, pela sua abundância, um contribuinte ao fluxo natural semelhante a eles. O tório ocorre naturalmente, coexistindo com seu radioisótopo ^{232}Th , entretanto, o urânio, coexiste com seus radioisótopos ^{238}U e ^{235}U mas, devido às emissões de baixa energia do radioisótopo ^{235}U em relação ao ^{238}U , ele não forma parte das emissões detectadas pelo levantamento de raios gama.

Apesar das concentrações de ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K serem decrescentes na crosta com o decorrer do tempo, suas vidas médias longas garantem uma abundância relativa destas, condizente à permanência e energias dos elementos pais, seus produtos e as suas emissões no meio ambiente. Esse fato possibilita a estimativa, com sucesso, dos teores dos elementos radioativos procedentes da interface rocha - solo - ar, através de levantamento aéreo, levando em conta, tanto a distribuição e níveis de concentração, quanto a geometria das fontes (IAEA 1989; UNSCEAR 1993, 2000; Dickson & Scott 1997; Minty *et al.* 1997).

Outros fatores não menos importantes condicionam também a taxa de exposição externa e as suas contribuições às taxas de dose absorvidas pelo público: o tempo de exposição (permanência das pessoas no meio ambiente exterior - *outdoor*), que condiciona também o fator de blindagem a ser utilizado, enquanto ao incremento das taxas em interiores - *indoor*, condiciona-se à composição radioativa ou não dos materiais de construção que compõem o imóvel e aos aerossóis que possam ficar retidos no recinto fechado.

De fato, os radionuclídeos naturais e seus produtos, irradiam o corpo humano principalmente pelas emissões gama (γ), mas quando já estão incorporadas no interior do corpo, os órgãos são irradiados tanto pelas emissões gama (γ) quanto pelas partículas alfa (α) e beta (β), geradas no processo de decaimento radioativo dos radionuclídeos incorporados. Outras contribuições às emissões recebidas, mas de menor importância, devem-se também aos radionuclídeos como ^{235}U , ^{85}Rb e aos componentes das chamadas terras raras (^{138}La ; ^{147}Sm e ^{176}Lu , entre outros) (UNSCEAR 2000).

A exposição externa aos emissores naturais tem sido estudada amplamente nas últimas décadas, sendo observado que o cálculo das contribuições das emissões naturais às taxas de dose efetivas tem-se baseado em fatores empíricos de conversão, cujos ajustes refletem as estimativas cada vez mais acuradas que ocuparam o centro das pesquisas realizadas por Lowder *et al* (1964) e Beck *et al* (1964) e permitiram a conversão dos dados registrados pela espectrometria gama *in situ* à dose absorvida. Os trabalhos posteriores de Beck & Planque (1968) também merecem destaque, já que estimaram a taxa de exposição dos emissores gama naturais, mas equacionando o transporte dos fótons na interface solo - ar através da expansão polinomial da informação registrada, calculando assim as taxas de dose para o amplo intervalo de energias dos radionuclídeos no meio ambiente.

Após o acidente de Chernobyl, e por longo tempo depois, os trabalhos visaram a avaliação dos efeitos determinísticos, através da deposição dos produtos da fissão e das conseqüências do acidente pelos diferentes níveis de risco e pelos efeitos estocásticos, observáveis sobre os seres vivos e na dinâmica dos radionuclídeos no ecossistema (3rd International Conference Health Effects Of The Chernobyl Accident: Results of 15 - Year Follow - Up Studies Kiev (Ukraine), 4 to 8 June 2001).

Os trabalhos de Kocher & Sjoreen (1985) conseguiram melhorar a precisão dos coeficientes de conversão, supondo que a concentração da fonte a qualquer profundidade no solo é uniforme sobre uma superfície plana e infinita, paralela à superfície terrestre. Estimaram assim, as variações da taxa de dose com base no produto de um fator (“fator de taxa de dose”) numa equação que integra o *kernel* num ponto a 1 m de altura sobre a superfície do terreno (altura do receptor). Comprovaram uma vez mais a dependência das variações da dose do “fator de taxa de dose” com a profundidade da fonte fotônica de emissão no solo e a sensibilidade desta para

alturas maiores de 10 m. Como resultado da pesquisa o valor do fator foi tabelado para o intervalo de energias entre 0,01 MeV e 10 MeV e para profundidades da fonte entre 0 - 300 cm.

Entre os trabalhos posteriores, está o de Fink (1994), citado em revisão encontrada no *site* (<http://imasl-apat.unsl.edu.ar>), no qual condiciona-se a estimativa da fluência primária dos fótons a diferentes distribuições típicas das fontes no solo e a misturas da deposição dos radionuclídeos com outros componentes ou produtos, por exemplo, agrícolas, existentes no meio natural. Ao se interpretar a superfície do terreno como um sistema de várias camadas uniformes (fontes) com espessura dependente da profundidade, justifica-se o emprego de uma lei exponencial, no intuito de estimar o conseqüente decréscimo da fluência.

Para estimar o nível de exposição proveniente de radionuclídeos naturais, UNSCEAR (2000 Anexo A) sugere:

- A soma direta das taxas *indoor* e *outdoor* (*in situ*), deduzindo a contribuição de natureza cósmica;
- O cálculo das taxas de dose externa no ar, partindo da estimativa dos teores medidos nos radionuclídeos do solo.

Em qualquer uma delas, está implícito o processo de formação contínua dos produtos do decaimento radioativo das fontes naturais, como já citado, e o grande percurso destes produtos desde as fontes, através da interfase rocha - solo - ar, até a deposição das suas energias (procedentes principalmente dos fótons) longe do lugar da origem, desde que o equilíbrio secular suposto não seja alcançado; nesse momento, igualar-se-iam as atividades dos membros das séries, embora as suas concentrações não sejam iguais.

As técnicas de levantamento aéreo, base da presente pesquisa, avaliam as concentrações dos radionuclídeos como citado no capítulo 3, analisando as emissões provenientes da porção mais rasa do solo seco (≈ 35 cm) (Minty *et al.* 1997), pressupondo para as fontes naturais (litotipos rochosos), hipotéticas condições de equilíbrio secular (particularmente para a série do urânio) e uma distribuição espacial uniforme numa geometria de semi-espaço infinito. Com essas condições de contorno, mapeia-se a distribuição espacial dos radionuclídeos - fonte, com base nas energias de suas emissões (Minty *et al.* 1997).

Assim, as relações que se apresentam a seguir para os emissores gama permitem a conversão dos teores dos radionuclídeos ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th , geralmente expressos em seus “equivalentes grama”, em valores da concentração de atividade expressa em Bq.kg^{-1} no sistema

Internacional de Unidades (SI). Isso significa que para uma concentração de 1 ppm em peso, há (Número de Avogadro)/(peso atômico) de átomos do radionuclídeo por kilograma de amostra e de porcentagem de potássio em peso de amostra, o que está em concordância com a atividade ou lei de decaimento radioativo (decaimento/segundo) que ocorre num radionuclídeo dado na unidade de massa do solo seco (IAEA 1989, Anjos *et al.* 2004).

A partir da atividade de um radionuclídeo,

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (\text{a}),$$

onde: N - número de átomos de um radionuclídeo

λ - constante de decaimento de um radionuclídeo

Obtém-se a equação

$$-\frac{dN}{dt} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m \cdot N_a}{M} \quad (\text{b})$$

onde: N_a - número de Avogadro ($6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), que representa o número de átomos contidos em 1 mol do isótopo

M - massa em gramas de 1 mol de isótopo ou massa molar do isótopo

$T_{1/2}$ - meia - vida do radionuclídeo

m - massa do isótopo analisado

Quando a massa “m” do isótopo analisado iguala-se a 1 grama, a equação (b) representa a *Atividade Específica*, que no SI de unidades é s^{-1} ou Bequerel (Bq). A tabela 4.6 contém a atividade específica dos radioisótopos de interesse, a massa molar e a meia-vida de cada isótopo.

A *Concentração de Atividade* dos isótopos pode-se obter da multiplicação da *Atividade Específica* correspondente, pela massa desse isótopo presente em 1 kg de amostra. Entretanto, as massas resultam da multiplicação da massa do elemento pela *fração em massa* do isótopo dado. Esta última é obtida da multiplicação da *fração isotópica* pela razão entre a massa molar do isótopo e a massa molar do elemento.

Tabela 4.6 - Valores de meia - vida, massa molar e atividade específica dos isótopos ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th .

| isótopo | $T_{1/2}$ (anos) | massa molar (g) | atividade específica ($\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ do isótopo) |
|-------------------|----------------------|-----------------|---|
| ^{40}K | $1,28 \times 10^9$ | 39,974 | $2,59 \times 10^5$ |
| ^{238}U | $4,47 \times 10^9$ | 238,0508 | $1,24 \times 10^4$ |
| ^{232}Th | $1,4 \times 10^{10}$ | 232,0382 | $4,08 \times 10^3$ |

O fator usado para converter anos em segundos foi $3,1536 \times 10^7 \text{ s}\cdot\text{ano}^{-1}$

Sendo $1,17 \cdot 10^{-4}$ a fração isotópica do ^{40}K e a massa molar do ^{40}K , 39,974 g, e a do potássio natural, 39,0983 g, a fração em massa do ^{40}K é $1,20 \cdot 10^{-4}$. Logo, a concentração de atividade de ^{40}K em 1kg de solo, com 1% de potássio, utilizando a atividade específica $2,59 \times 10^5 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tabela 4.6) é dada por

$$C_{\text{K}40} = 2,59 \cdot 10^5 \cdot 1,20 \cdot 10^{-3} = 311 \text{ Bq/kg de solo}$$

O urânio natural possui ^{238}U numa fração isotópica de 0,9927. A massa molar do ^{238}U é 238,0508 g e a do urânio natural 238,029 g, portanto a fração em massa do ^{238}U é 0,9928. Portanto, a concentração de atividade do ^{238}U em uma amostra com 1 ppm de urânio possui 1 mg de urânio em 1 kg de amostra e atividade específica $1,24 \times 10^4$ (Tabela 4.6), calcula-se por

$$C_{\text{U}238} = 1,24 \cdot 10^4 \cdot 0,9928 \cdot 10^{-3} = 12,3 \text{ Bq/kg de amostra}$$

O tório natural é 100% ^{232}Th , assim 1 kg de amostra contém 1mg de ^{232}Th . Logo, uma amostra com 1 ppm de tório possui 1 mg de tório em 1 kg de amostra. Portanto sua concentração de atividade é expressa pela atividade específica,

$$C_{\text{Th}232} = 4,08 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 4,08 \text{ Bq/kg de amostra}$$

Posteriormente à transformação das malhas (matrizes) dos teores dos radionuclídeos U e Th e o do isótopo ^{40}K nas concentrações de atividade correspondentes, obteve-se a malha da taxa

de dose absorvida expressa em nGy. h⁻¹, resultado da soma dos produtos das matrizes de concentração de atividade em Bq.kg⁻¹, pelos fatores de conversão apresentados a seguir na tabela 4.7, obtidos empiricamente através da simulação da interação da radiação gama, aplicando cadeias de Monte Carlo.

Tabela 4.7 - Coeficientes de conversão da concentração de atividade a dose absorvida para os isótopos ²³⁸U, ²³²Th e o isótopo ⁴⁰K.

| coeficientes nGy.h ⁻¹ /Bq.kg ⁻¹ | ²³⁸ U (sub - série do ²²⁶ Ra) | ²³² Th (toda a série) | ⁴⁰ K |
|--|--|-------------------------------------|-----------------|
| *UNSCEAR (2000) Tabela 6 | 0,462 | 0,604 | 0,0417 |

**Inclui mudanças sobre os coeficientes estimados por (Saito & Jacob 1995; ICRU 1980b).*

Visando caracterizar, pela primeira vez, e com o máximo detalhe, os elementos estruturais e rochas da região central de Cuba (Figura 2.1), as malhas das matrizes das concentrações de atividade e de taxas de dose absorvida, foram sobrepostas a esta imagem *raster* no contexto do desenvolvimento do projeto *SIG*, o que possibilitou a estimativa dos valores médios das concentrações de atividade e das contribuições à taxa de dose absorvida apresentadas na tabela 4.8. A tabela 4.8 inclui também, os resultados da sobreposição da cartografia *raster* do mapa dos traços estruturais e geológicos da região (Figura 2.1) com o MDE (Figura 4.3), vinculando os elementos estruturais e litotipos que estes abrangem, paralelamente às estimativas feitas e às faixas de altitude em que foi re-classificado o relevo. Procedimento semelhante pode ser seguido, no intuito de estimar de forma aproximada a população da região, padronizada segundo o formato *raster* apresentado de forma esquemática na Figura 4.6 - d, associando assim, com a malha de elementos estruturais e litotipos, a população através do agrupamento correspondente dos vários intervalos de altitude, procedimento a ser testado em aplicações posteriores.

Exemplos sobre aplicações que utilizem os dados de levantamento aéreo para estimativas de taxas de dose absorvida são extremamente escassos (Padilla & Pascholati 2002). As estimativas das taxas de dose absorvidas obtidas neste trabalho, das concentrações do levantamento aerogeofísico e apresentadas na Tabela 4.8, foram comparadas às taxas de doses de Dickson & Scott (1997), Grasty *et al.* (1984) e Bastos & Pascholati (2001).

Observa-se, que independente dos amplos intervalos de variação entre os dados estimados por diferentes autores e as diferenças entre ambientes geológicos, é possível estabelecer

semelhanças entre a concentração de atividade e taxas de dose absorvida a 1 m acima da superfície do terreno para alguns tipos de rochas, como se destaca na Tabela 4.9, embora não se possam estabelecer semelhanças nos restantes ambientes, pela ausência de litotipos comuns.

Com base na matriz da taxa de dose absorvida da radiação natural a 1 m sobre o terreno, estimou-se para a região central de Cuba, um valor médio ponderado da contribuição a dose da componente terrestre em exteriores (*outdoor*) de 22,0 nGy.h⁻¹, que embora baixa, pode ser incluída no intervalo típico (10 nGy.h⁻¹ - 200 nGy.h⁻¹) de variabilidade da taxa de dose absorvida no ar mundialmente (UNSCEAR 2000). A conversão da matriz da taxa de dose absorvida no ar para taxa de dose efetiva anual se efetuou através da aplicação do coeficiente 0,7 Sv.Gy⁻¹ (UNSCEAR 1988, 1993, 2000), considerando um fator de ocupação de 0,2 para expressar em 20% o nível da exposição pela atividade diária em exteriores (*outdoor*). A distribuição espacial desta contribuição para taxa de dose efetiva anual, expressa em μSv.ano⁻¹, é incluída na Figura 4.7. Entretanto, as contribuições à taxa de dose pela presença de outros radionuclídeos, tais como o ¹³⁷Cs ou aqueles pertencentes a série do ²³⁵U no solo da região, não foram consideradas

Como um dos objetivos desta pesquisa é mapear e estimar as contribuições da taxa de dose efetiva total anual na região de estudos, foi incluído também, o valor médio da contribuição à taxa de dose *indoor*, através das determinações das doses em recintos fechados, efetuadas no ano 1998.

A estimativa de Pérez (1998) para a taxa de dose absorvida em interiores (componente *indoor*) resultou de 163 observações feitas nas cidades da Havana, Camagüey e Holguín, as quais forneceram um valor médio ponderado de 29,6 ± 12,0 nGy.h⁻¹, valor este assumido como média nacional. Na conversão a dose efetiva, se empregou um fator de ocupação (*indoor*) de 0,8 como sugerem as publicações de UNSCEAR (2000). Apresenta-se na Figura 4.8, os histogramas das distribuições de frequência dos valores obtidos para a componente em interiores (*indoor*), tendo sido verificado pelo autor a quase normalidade dessas distribuições..

Para comparar a estimativa da taxa de dose efetiva em exteriores, calculou-se a relação entre os valores médios das duas componentes, da componente (*indoor*), estimada por Pérez (1998), e da componente (*outdoor*) estimada neste trabalho. O valor obtido de 1,3 condiz com o intervalo 0,8 - 2,0 obtido para a relação na literatura internacional (UNSCEAR 2000, Anexo B, Tabela 7).

Tabela 4.8 - Caracterização de elementos estruturais e rochas pelos valores médios das concentrações de atividade e taxas de dose absorvidas a 1 m acima da superfície do terreno, na região central de Cuba.

| elementos estruturais e rochas | intervalo de altitudes no relevo (m) | U (Bq.kg ⁻¹) | Th (Bq.kg ⁻¹) | K (Bq.kg ⁻¹) | taxas de dose absorvida (nGy. h ⁻¹) |
|---|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---|
| cobertura neo - plataformal | 0 - 40 | 13 (± 11) | 11 (± 9) | 91 (± 39) | 16 (± 10) |
| PMC (Zona Placetas) | 40 - 110 | 33(± 16) | 22 (± 12) | 144 (± 88) | 34 (± 16) |
| PMC (Zona Camajuaní) | 110 - 150 | 30 (±18) | 21 (± 12) | 85 (± 24) | 30 (± 15) |
| PMC (Zona. Remedios) | 40 - 110 | 37 (±19) | 17 (± 9) | 82 (± 9) | 31 (± 12) |
| bacia superposta frontal | 40 - 110 | 21 (± 11) | 13 (± 7) | 90 (± 41) | 21 (± 9) |
| complexo ofiolítico | 110 - 150 | 11 (± 7) | 6 (± 4) | 91 (± 45) | 12 (± 7) |
| diabásios maciços, gabros olivínicos e basaltos no complexo ofiolítico | 110 - 150 | 9 (± 4) | 5 (± 2) | 89 (± 36) | 11 (± 4) |
| Arco vulcânico Cretáceo (AVC) | 110 - 150 | 12 (± 5) | 5 (± 2) | 144 (± 100) | 15 (± 6) |
| cobertura do AVC | 110 - 150 | 13 (± 5) | 5 (± 2) | 186 (± 24) | 17 (± 7) |
| intrusivos do AVC | 110 - 150 | 11 (± 5) | 7 (± 3) | 237 (± 32) | 19 (± 8) |
| bacias superpostas passivas | 40 - 110 | 13 (± 7) | 7 (± 4) | 108 (± 68) | 15 (± 6) |
| complexo de anfibolitos | 150-200 | 9 (± 4) | 5 (± 2) | 198 (±113) | 19 (± 6) |
| maciço metamórfico Escambray (MME) | 240 - 1033 | 18 (± 10) | 10 (± 4) | 124 (± 58) | 19 (± 7) |
| blocos de eclogitos MME | 240 - 275 | 16 (± 11) | 15 (± 8) | 187 (± 55) | 24(± 10) |
| blocos de metagabros e metadiabásios MME | 200 - 240 | 17 (± 10) | 11 (± 5) | 122 (± 53) | 19 (± 8) |
| blocos de serpentinitos MME | 240 - 275 | 12 (± 7) | 8 (± 4) | 152 (± 82) | 17(± 7) |
| blocos de quartzo MME | 275 - 500 | 23 (±11) | 14 (± 6) | 215 (± 73) | 28 (± 9) |
| blocos de metavulcânitas MME | 500 - 800 | 24 (±18) | 12 (± 7) | 113(± 40) | 23 (± 11) |
| bacia intramontana passiva | 40 - 110 | 14 (±10) | 10 (± 4) | 139 (± 54) | 18 (± 7) |
| unidade litoestratigráfica MME formações: Yayabo, Cobrito e Loma la Gloria | 200 - 240 | 24 (±13) | 17 (± 8) | 179 (± 69) | 29 (± 12) |

Tabela 4.9 - Semelhança entre a concentração de atividade e as taxas de dose absorvida a 1m acima da superfície do terreno para alguns tipos de rochas.

| elementos estruturais e rochas | U (Bq.kg ⁻¹) | Th (Bq.kg ⁻¹) | K (Bq.kg ⁻¹) | taxas de dose absorvida (nGy.h ⁻¹) |
|---|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--|
| intrusivos do AVC* | 11 (± 5) | 7 (± 3) | 237(± 32) | 19 (± 8) |
| intrusivos, Grasty <i>et al.</i> (1984) | 10 | 9 | 264 | 21 |
| bacias superpostas passivas* | 13 (± 7) | 7 (± 4) | 108 (± 68) | 15 (± 6) |
| Formação Piramboya, Brasil Bastos & Pascholati (2001). | 16 (± 9) | 15 (± 11) | 103 (± 74) | 21 (± 12) |
| blocos de quartzo MME* | 23 (± 11) | 14 (± 6) | 215 (± 73) | 28 (± 9) |
| complexo Amparo, Brasil Bastos & Pascholati (2001). | 17 (± 11) | 23(± 16) | 227(± 20.5) | 31 (± 21) |

*valores obtidos nesta pesquisa.

Finalmente, a soma das contribuições correspondentemente estimadas para os níveis das taxas de dose do setor, permitiu obter pela primeira vez para a República de Cuba, o mapa da taxa de dose efetiva total anual (Figura 4.9). Os mapas de dose efetiva anual em exteriores e total serão utilizados para as análises dos dados censitários sobre as populações e as estatísticas gerais sobre doenças cancerígenas de tipo neoplasias malignas na região central de Cuba.

A Tabela 4.10 resume os dados estimados para a dose efetiva anual das radiações e estabelece comparações com outras regiões do mundo.

Dela se infere, através dos valores médios obtidos, que a contribuição da componente de origem cósmica para a dose efetiva total anual na região central de Cuba quase dobra a soma das contribuições das componentes da radiação gama terrestre natural em exteriores e em interiores; entretanto, esta última, supera a componente em exteriores. Observa-se também, que os valores de dose estimados são comparáveis com os referenciados de outras regiões do mundo, e seus baixos níveis, comparam-se aos níveis de *background* ao nível mundial (Celebi & Alkan 1997; UNSCEAR 2000)

Tabela 4.10 - Taxas de dose efetiva anual das radiações na região central de Cuba. Comparação com dados internacionais.

| natureza da exposição | taxas de dose efetiva anual, $\mu\text{Sv.ano}^{-1}$ | | valores de referência | região ou país |
|---|--|-----------------------|-----------------------|---|
| | presente pesquisa | | | |
| | intervalo | valor médio* | | |
| radiação cósmica | 318,0 - 396,0 | 320,8 \pm 7 | 300 - 1300 (450)* | USA (Klement 1992) |
| radiação (γ) terrestre (exteriores e interiores) | 5,4 - 172,0 | 22,0 \pm 12 | 243 - 677 (413)* | São Paulo (Brasil) (Bastos & Pascholati 2001) |
| | | (<i>exteriores</i>) | 300 - 1150 (600)* | USA (Klement 1992) |
| | | | 68 - 1754 (429)* | Prov. Cáceres (Espanha) (Baeza 1994) |
| | | | 701 - 1840 (964)* | Finlândia, antes de 1986 (Avela 1987) |
| | | 145,2 \pm 5 | - | - |
| | | (<i>interiores</i>) | | |
| sub-total terrestre | | 167,2 | | |

(*) Valores médios

A semelhança destes níveis com o *background* implica que as doses produzidas por estas fontes não representam, em princípio, um fator significativo de risco para as populações envolvidas. Assim, é importante ponderá-las na medida de sua contribuição em relação às múltiplas causas meio ambientais concorrentes. As cartografias das Figuras 4.7 e 4.9 representam a linha base ambiental de uma região que possui, no país, o segundo lugar em número de casos de óbitos por doenças do tipo tumores sólidos; estas estatísticas ao longo de 13 anos na região central de Cuba condizem com os Indicadores Básicos 96 - 2000.

Levando em conta os fatos precedentes, não se converteram os níveis de doses a kerma, embora estes sejam abordados no próximo capítulo, através de diferentes modelos e paradigmas no ambiente SIG, para representar o meio real como uma paisagem digital. A comprovação de diferentes associações, em particular genéticas e baixas doses (Mauss 1983), tornou pertinente avaliar as correlações e/ou tendências probabilísticas que possam vincular espacial ou estruturalmente os valores médios da taxa de dose efetiva na região, às populações e aos casos de óbitos nas diferentes localidades.

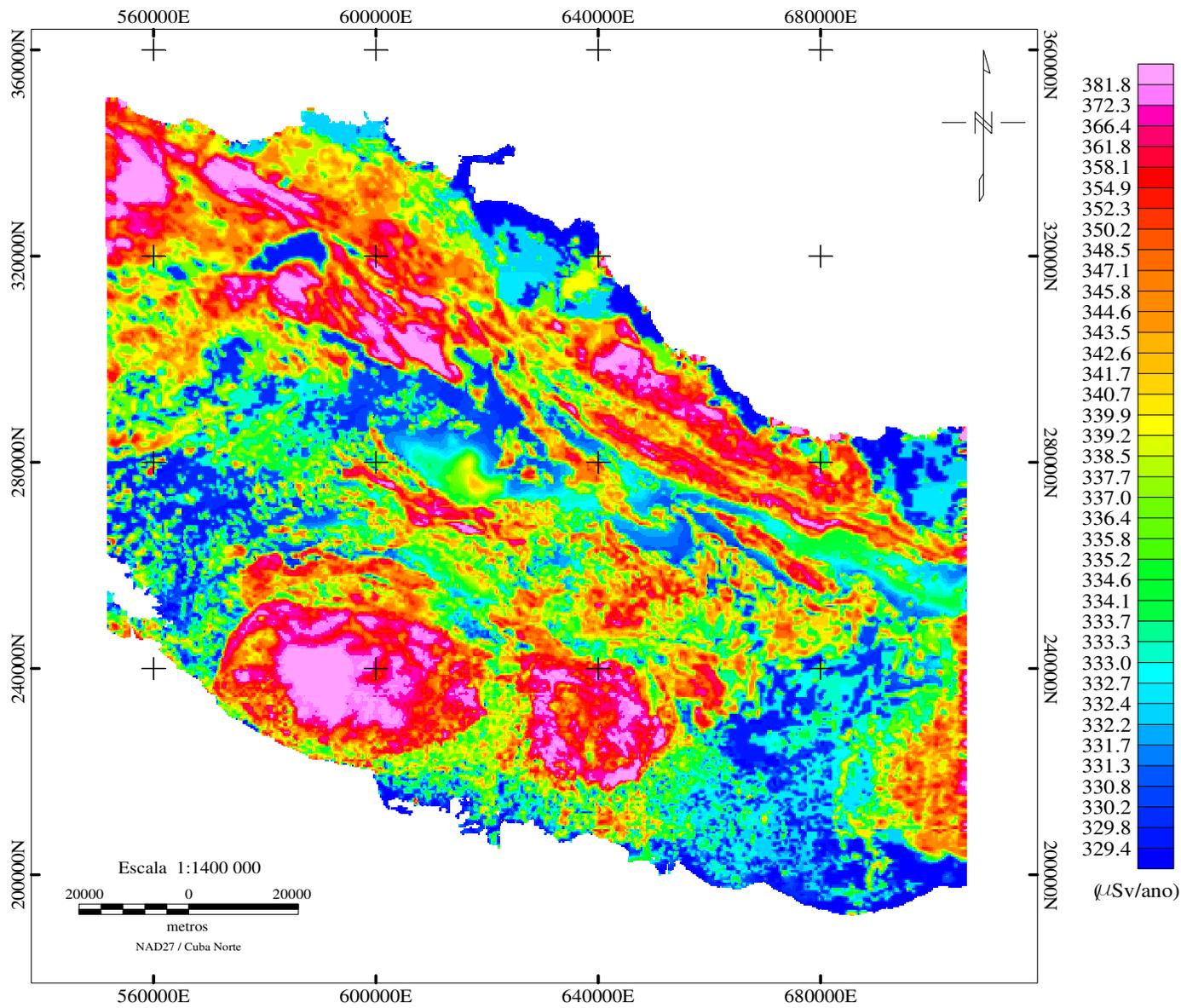
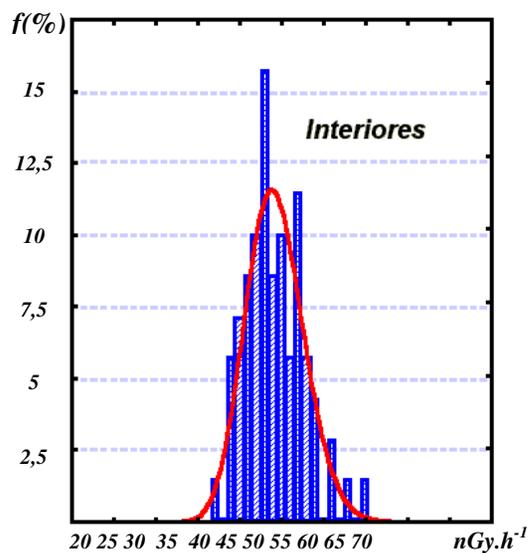
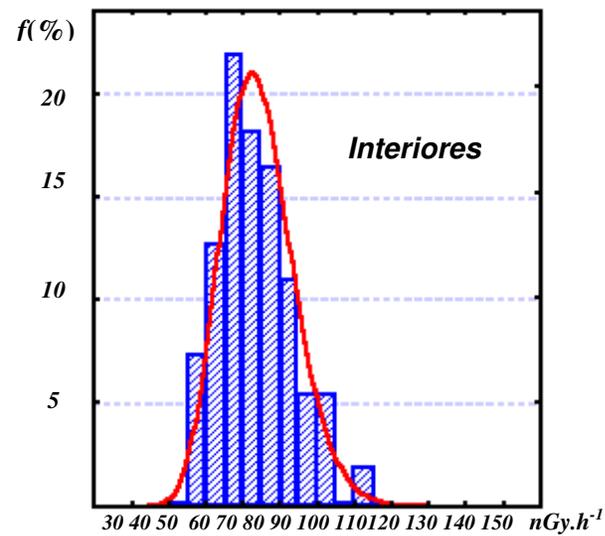


Figura 4.7 Mapa da taxa de dose efetiva anual em exteriores ($\mu\text{Sv}\cdot\text{ano}^{-1}$), da região central de Cuba.



Cidade da Habana



Camagüey

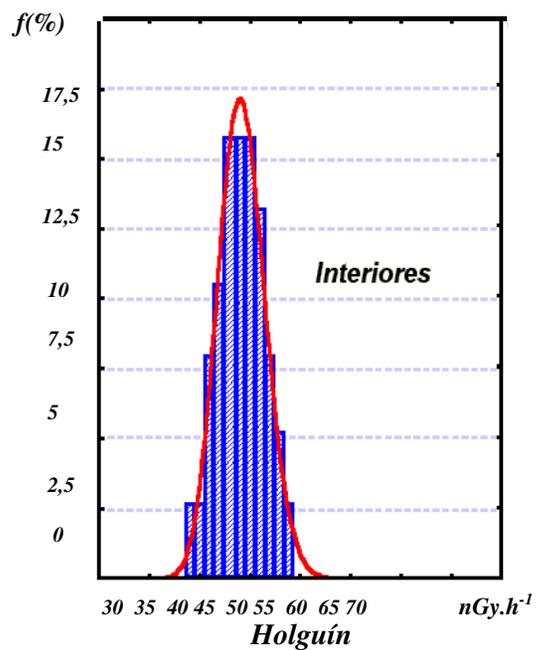


Figura 4.8 Distribuição de freqüência das medições experimentais na estimativa das taxas de doses em interiores de imóveis nas cidades da Habana, Camagüey e Holguín, na República de Cuba (*modificado de Danyl 1998*).

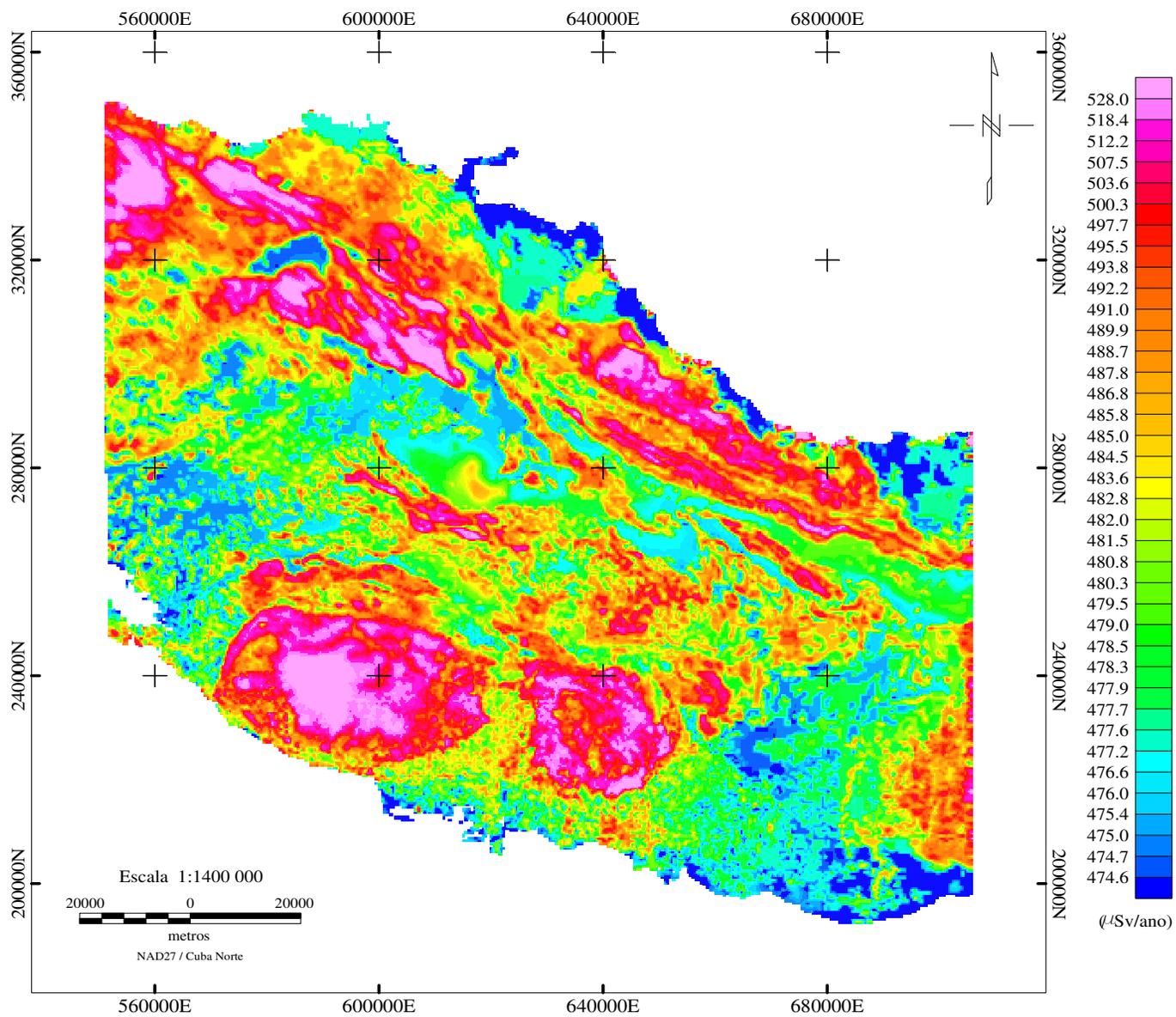


Figura 4.9 Mapa da taxa de dose efetiva total anual ($\mu\text{Sv}\cdot\text{ano}^{-1}$), da região central de Cuba.

CAPÍTULO 5. MEIO AMBIENTE E SAÚDE

5.1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, como uma retomada dos estudos que datam da antiga Grécia ou daqueles derivados da filosofia Taoísta, da observação dos fenômenos naturais e seus efeitos sobre os seres vivos, múltiplas disciplinas, entre elas a *Geomedicina*, ocupam-se do estudo do meio ambiente e as suas implicações na saúde humana. A maioria das pesquisas desenvolvidas pela *Geomedicina* visa as estimativas dos teores de componentes minerais metálicos ou gases que, pelas vias naturais de ingestão ou inalação, acumulam-se no corpo. Adicionalmente, elementos nocivos como o arsênico, o flúor ou diferentes elementos pesados, e radiações, incorporam-se ou incidem sobre os seres vivos, por meio do ar, dos solos, das rochas e das águas - vias de transferência - naturais, na localidade onde moram (Centeno *et al.* 2003; Sellinus 2004).

Mais recentemente, têm-se ampliado os estudos com o objetivo de avaliar os componentes orgânicos e inorgânicos *in situ* e na vizinhança, muitas vezes conseqüência de rejeitos no meio ambiente, pela ação antrópica (<http://www.medicalgeology.org>). Mas, o atendimento priorizado destas pesquisas pelas instituições e as necessárias integrações interdisciplinares, cujo desempenho encontramos hoje na Geomedicina, ainda está longe do que o homem necessita para conseguir um meio ambiente sadio e sustentável, onde a prevenção e o conhecimento ganhem a batalha às doenças, contribuam ao controle e reposição de danos ao meio natural e promovam um planejamento sócio - econômico harmônico. Esta pesquisa, focalizada nas radiações, pode ser um primeiro e modesto passo para a República de Cuba acompanhar seus atuais avanços epidemiológicos, através de adequadas representações cartográficas e modelos, face ao desenvolvimento mundial dos estudos ambientais. Esta é a mais racional e eficiente forma de explorar as informações contidas nos variados atributos epidemiológicos disponíveis, no intuito de alcançar um planejamento mais econômico nos trabalhos de prevenção e reposição ambiental.

Como conseqüência da incidência sobre a saúde dos devastadores desastres nucleares provocados pelo homem na última guerra mundial, ou mais recentemente, o acidente de Chernobyl, em 1986, ambos fenômenos considerados causadores de efeitos determinísticos no âmbito da exposição, praticamente todas as avaliações e estatísticas disponíveis sobre níveis de dose e danos à saúde, são baseados no estudo de casos; parcialmente, sobre fatores hereditários

resultantes da transmissão em longo prazo aos descendentes. No entanto, estudos sobre riscos potenciais da exposição a baixos níveis de radiação são considerados controversos e insuficientes.

Paralelamente, a radiobiologia molecular tem revelado a potencialidade das radiações em relação a sérios danos no DNA, danos que ocasionam instabilidade genômica, pois ainda que a baixas doses de radiação, contribuem para desencadear mudanças progressivas no funcionamento e reprodução celular (Mauss 1983). Os cientistas deste ramo têm comprovado que estas mudanças em longo prazo, podem ocasionar eventos de doença que conduzem a tumorigênese. Entretanto, alguns estudos desenvolvidos sobre espécies de animais submetidos a baixos níveis de radiação têm comprovado também correlações positivas para certos tipos de câncer, com reflexo nos complexos processos de mutação que acontecem na célula (UNSCEAR 1993, Anexo F; UNSCEAR 2000, Anexos A e B). Entre estes processos, destaca-se o *Bystander effect*, que se refere à indução biológica em células não atingidas diretamente por radiações. Esse efeito, estudado inicialmente em organismos simples, permitiu, posteriormente, demonstrar transferência à distância de danos condutores a aberrações cromossômicas, mutações, letalidade celular e transformações oncogênicas, não levadas em consideração anteriormente, mas confirmadas atualmente até em “fibroblastos humanos” pelas experiências sobre a comunicação intercelular, *gap junction communication* (Mitchell *et al* 2004; Nikjoo & Khvostunov 2003; Shao *et al* 2003; Hall 2003).

Além das incidências nos processos de carcinogênese por exposição em baixos níveis de dose em humanos e aos níveis naturais de radiação, têm importância outros efeitos combinados interatuantes, provocados pelos *confounding factors*; trata-se daqueles fatores que são capazes de confundir estimativas ou diagnósticos, chegando a impor-se sobre outras causas. Compõem este grupo, os fatores sócio- econômicos ou culturais, onde têm destaque o hábito de fumar e a ingestão de bebidas alcoólicas. Estes fatores, em algumas situações particulares ou ocupacionais, incorporam ao organismo, múltiplos complexos químicos ou mistura destes como a *Thoseina*, através dos quais podem-se alcançar níveis altamente nocivos de toxicidade no corpo, com incidência sobre as funções orgânicas de absorção e distribuição de compostos e/ou radiações, chegando a afetar as funções metabólicas e reprodutivas com seus efeitos genéticos correlatos (<http://www.otherdatatocarcinogenicity.html>). Trata-se como caso particular destes efeitos, pelos incrementos comprovados nas estatísticas de casos, o hábito de fumar, especialmente quando este

se combina com a presença de aerossóis que contêm compostos radioativos ou com a ingestão de bebidas alcoólicas (UNSCEAR 2000).

Outros fatores também incrementam a susceptibilidade da população às toxinas do meio ambiente, especialmente quando está mal nutrida, e adiciona-se a ingestão de bebidas alcoólicas e tabagismo. Dependendo das dosagens, pode-se incrementar as incidências quando estas se combinam aos efeitos das radiações ionizante em diferentes tipos de carcinogênese, como da cavidade oral, esôfago e vias digestivas. Esses estudos acrescentam que o etanol modifica a atividade bioquímica nestas partes do organismo, ocorrendo, além disso, bio-transformações sobre as mudanças celulares induzidas pelas radiações, (Ushakov *et al* 1998; Jagger 1998).

Outros fatores são os cinéticos, que visam a super-saturação nas ligações das proteínas, a ativação metabólica ou a desintoxicação, que incluem até os processos que conduzem à reparação do DNA, e também incidem modificando as relações dose-resposta (<http://www.otherdatatocarcinogenicity.html>). Mas, mantém-se a premissa básica de resposta à interação de qualquer radiação ao DNA: o dano resultante pode induzir à carcinogênese, se não reparado ou reparado erroneamente (UNSCEAR 2000, Anexo H).

Reconhece-se atualmente, a influência de diferentes fatores fisiológicos modificadores, como o sexo e a idade. Sem alcançar diferenças marcantes pelo sexo, no risco absoluto de indução a neoplasias, estas variam com a localidade, sendo o risco absoluto, em geral, mais alto para os tumores sólidos em mulheres do que em homens (UNSCEAR 2000). Entretanto, considera-se a idade um fator importante, pois o idoso esteve mais exposto a qualquer um dos diferentes fatores que, direta ou indiretamente, incrementam o risco de desenvolver a doença (Seuc Jo *et al* 2003).

Os danos apresentados em organismos vivos por exposição, apesar da concorrência interativa desta com os fatores confundidores, não implica de maneira alguma em desconsiderar a influência dos níveis de exposição sobre o risco de adquirir doenças. A concorrência entre radiação ionizante e outros agentes que danam o DNA, envolvidos no processo de carcinogênese, considera-se contribuintes de forma aditiva, cumulativa e progressiva à degeneração celular (Mauss 1983).

5.2 - CARACTERÍSTICAS SOCIAIS E ECONÔMICAS

Pode-se considerar acima da média, a homogeneidade das características sociais e econômicas da região para a abordagem da estatística sobre registros de doenças, levando em conta os possíveis fatores de confusão que geralmente atrapalham as estimativas. O padrão socialmente igualitário desenvolvido pela direção política do país implica na inexistência de diferentes níveis de renda que diferenciem classes sociais por recursos e, no plano dos direitos sociais, os serviços de saúde e a assistência social estão ao alcance de todos, com um nível de desenvolvimento e estruturação que se pode avaliar de satisfatório a bom. Assim, a qualidade e difusão dos serviços de saúde podem ser considerados favoráveis ao registro e posterior processamento dos dados, já que o atendimento local e sistemático das pessoas doentes garante uma alta probabilidade de condizer à procedência do caso, aspecto de muita importância para qualquer tratamento eficiente e confiável de estatísticas epidemiológicas ou de qualquer outra natureza de interesse sócio-cultural. Também existem outras disposições de tipo social e político no país, que contribuem à permanência das pessoas, em geral, e dos doentes, em particular, em suas respectivas localidades de residência, elemento que também concorre à confiabilidade dos registros de dados na região (Erviti 1989); Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo (CIPD,1994).

Embora se deva colocar entre os possíveis fatores capazes de confundir as estimativas ou diagnósticos na região, o hábito de fumar - o qual se encontra bem enraizado na população, por se tratar de uma das regiões de desenvolvimento de cultura de tabaco no país, com destaque para a população masculina - pode representar uma das variáveis extrínsecas, que pode confundir a real causa das doenças, seja pela sub ou pela superestimação de sua concorrência (Breslow 1980). Outros fatores que também devem ser ponderados para as análises são os componentes demográficos fecundidade, mortalidade e migrações, os quais têm condicionado o atual padrão demográfico nacional, e em particular, da região de estudos.

Apesar da fecundidade ter tido destaque na primeira década de mudanças econômico-sociais na ilha, após Janeiro de 1959, a emigração das crianças enviadas pelos pais aos Estados Unidos de América, condicionou o ritmo da natalidade após 1975, afetando, conseqüentemente, a faixa etária da base 0 - 4 anos da pirâmide populacional.

Posteriormente, a faixa etária entre 25 e 29 anos (nascidos entre 1956 e 1961) também experimentou os efeitos da emigração ocorrida em 1980, afetando, em geral, a proporção dos representantes do sexo masculino.

Embora observável uma relativa tendência de recuperação na estrutura demográfica próximo à década de noventa, novas situações econômicas surgidas no país, após a dissolução do bloco socialista e o recrudescimento do bloqueio nos finais da década de oitenta, fazem que estas tendências não sejam capazes de compensar os baixos níveis de natalidade e mortalidade, nem o saldo negativo imposto pela emigração ao padrão demográfico nacional.

Estes fatores, adicionados ao incremento da qualidade de vida, tem aumentado o número de idosos na população cubana, processo que embora recente, segundo os especialistas do Centro de Estudos Demográficos (CEDEM) Morejón & Molina (1997), colocam seus níveis acima da média mundial e da média da América Latina, já que em termos relativos entre 1960 -1992, a porcentagem da população com mais de 60 anos incrementou-se entre 8 % - 12 %, com as conseqüentes incidências no potencial produtivo da população e nos gastos em seguridade social, levando a mudanças nas perspectivas imediatas das necessidades públicas

Os dados censitários disponibilizados para o ano 1998 para as três províncias da região central apresentam a composição populacional segundo o sexo e o meio rural ou urbano apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - População das províncias da região central de Cuba.

| província | população | | | | total |
|-----------------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|
| | urbana | rural | masculina | feminina | |
| Villa Clara | 633212 | 183963 | 410581 | 406594 | 817.175 |
| Cienfuegos | 259052 | 55038 | 157969 | 156121 | 314.090 |
| Sancti Spiritus | 318166 | 142458 | 234349 | 226275 | 460.624 |
| total | 1.210.430 | 381.459 | 802899 | 788990 | 1.591.889 |

5.3 - PARADIGMAS E MODELOS PARA O PROCESSAMENTO E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS EPIDEMIOLÓGICOS

Os métodos de aleatoriedade na amostragem foram, inicialmente, dirigidos a pesquisas agrícolas, os quais serviram de base para as inferências em relação à sobrevivência de espécies e sobre os possíveis fatores causais de mortes. Em analogia com esses primeiros estudos, os métodos aleatórios de processamento estatístico e de amostragem foram estendidos a ensaios clínicos, estudos de controle de placebos na indústria farmacológica e em outras esferas. Posteriormente, também encontraram seu emprego em ensaios da biologia molecular e no monitoramento de diferentes doenças em populações e, mais recentemente, na medicina preventiva na análise de diferentes paradigmas em estudos epidemiológicos (Ralph 2000; Breslow, 2000).

Mas, no desenvolvimento desses paradigmas, a modelagem cartográfica dos atributos epidemiológicos tem um papel importante como suporte da locação e representação espacial dos fatos estatísticos e no tracejado das estratégias de prevenção e reposição ambiental. Os trabalhos de Berry (1964) e Sack (1973) nas décadas 60 e 70, marcaram as pautas desses paradigmas, ambos se debatendo entre duas correntes:

- a que descreve a provável natureza das relações entre localidades específicas, abrangendo propriedades ou eventos, por exemplo, aqueles ligados ao desenvolvimento agrícola ou industrial, ou aqueles que refletem os níveis de uma doença, ou ainda os dados censitários, entre muitos outros, todos baseados na análise dos fenômenos em si;
- a corrente cuja tendência é padronizar esses mesmos eventos de alguma forma geométrica, considerando-os espacialmente interligados com a sua vizinhança através da distância, da sua abrangência em área ou contigüidade.

Embora sejam correntes antagônicas, acharam na abordagem e desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica SIG, o ponto de contacto e a forma destas se complementarem (Ferreira 2003). Assim, os fatores locais de qualquer evento epidemiológico podem fazer parte de atributos temáticos, sejam estes qualitativos ou quantitativos, permitindo representar o meio e todos seus atributos, por uma entidade multitemática de diferentes variáveis, que podem ser matematicamente expressas num formato matricial (Berry 1964). Este formato

serve de suporte para as mais variadas cartografias temáticas, por exemplo, das cartografias sobre populações, sobre as incidências de uma doença, ou daquelas que representam transformações cartográficas, tais como, densidade populacional ou taxas de mortalidade; variáveis que, geralmente, resultam mais úteis na análise de diferentes regiões (Diggle 1983; Anderson 1989).

Levando em consideração que no mapa temático evidenciam-se não somente as estatísticas locais, quanto os conjuntos e possíveis padrões espaciais do atributo analisado, a cartografia do tema é organizada e classificada tanto pela distribuição de seus conjuntos de atributos, espacialmente, quanto pelo seu conteúdo informativo ou valor, de maneira semelhante às distribuições de frequência (Berry 1964). Assim, os dados da matriz mapeada terão duas vias de entrada, as filas indexadas pelas unidades experimentais ou levantadas sobre a “população objeto”, enquanto as colunas representam as variadas características dos dados medidos. Como a relação entre variáveis e covariáveis pode ser dependente ou independente, estabelece-se entre elas uma relação de tipo resposta - estímulo, onde as covariáveis, também chamadas de “fatores” podem ser caracterizadas pelo valor ou pelo grupo de classificação, possibilitando assim, o agrupamento das variáveis em blocos (Berry 1993).

Segundo Haining (1995), um conjunto de objetos representados por seus atributos, que descrevem um evento qualquer, podem ser modelados por “camadas de propriedades desses atributos” no espaço; assim, estes alcançam, através de suas cartografias temáticas, seu verdadeiro significado local e na vizinhança.

A forma de espacialização das variáveis, seja como objeto inter-relacionado com geometria definida, ou como superfície contínua de linhas de igual valor, ou imagens *raster*, objetiva duas vias lógicas diferentes na abordagem, transformação e relação entre as variáveis nas cartografias temáticas. No caso discreto do “Modelo de objetos”, devido às reconhecidas perdas de informação na representação de elementos ou variáveis, são importantes os critérios estatísticos obtidos na vizinhança da média (valores mínimos, médios, máximos e desvio padrão). Nestes modelos, devido a própria natureza determinística dos dados, resulta um tanto irrelevante o papel das incertezas, distintamente do que ocorre nos modelos estocásticos. Estes últimos empregam técnica de interpolação numérica, concordante com a natureza e a distribuição das variáveis, que muito embora permita a avaliação de erros e resíduos, estimam-se os eventos no sentido probabilístico e das tendências (Haining 1995; Haining & Wise 1996; Ferreira 2003).

Visto que o maior interesse para a epidemiologia é estabelecer relações causais e quantificar a influência dos fatores importantes na modificação do risco de adoecer, o conceito de “risco relativo” é condizente com este objetivo, quando se comparam as ocorrências de doenças entre uma população exposta a 1 (um) ou mais fatores e outra considerada de referência, a qual é exposta ou não ao fator em níveis considerados normais, basais ou de *background*. Esta classe de medida de efeito por “razão” foi denominada por Rothman (1998) como medida de efeito relativo, para se diferenciar de outras baseadas nas diferenças entre freqüências.

Assim, para as populações amostradas, existiram vários índices de exposição e, portanto, relatividade de risco. O risco relativo avalia-se de zero (0) a infinito e pode ser interpretado de acordo com quantas vezes é maior o risco de se adoecer devido à exposição da doença em estudo. O valor que indica não associação é a unidade (1), que pode ser identificado com a hipótese de nulidade (H_0), enquanto valores menores que 1, indicam uma associação negativa entre exposição e doença (população protegida) e valores maiores que 1, uma associação positiva (população em risco). Às vezes, muito embora reconhecidas as condições espaço-temporais que condicionam as incidências de uma doença, ou propriamente as causais que devem estar presentes para esta se manifestar, quando existem múltiplos fatores prováveis de ser simultaneamente concorrentes, as tentativas e resultados obtidos na avaliação do risco relativo entre localidades não será tarefa fácil e as estimativas estarão sujeitas a questionamentos e continuidade de seu desenvolvimento (UNSCEAR 2000).

Outro aspecto considerado importante para estes estudos visa a quantidade e qualidade dos dados. Ocorre freqüentemente neste tipo de estudos, que os dados são poucos, incompletos (faltam informações de alguns atributos) ou apresentam caráter semiparamétrico, características todas que conduzem inevitavelmente, a transmitir incertezas e/ou tendência a qualquer tipo de distribuição ou espacialização de tipo malha *cluster*. Isso dificulta a análise de casos, ainda mais se a base de dados vetoriais é esparsa (Tango 1997; Kulldorff *et al.* 2003).

Na tentativa de diminuir estas dificuldades, tem-se aplicado inúmeras técnicas de processamento estatístico, algumas baseadas em diferentes modelos de previsão, como os *Best Linear Unbiased Predictors* (BLUPs), modelos lineares, não lineares e lineares generalizados de ampla utilização na literatura (McCullagh & Nelder 1989). Mas, em todos eles existe, em associação com cada covariável, um coeficiente ou parâmetro geralmente desconhecido, denominado *vetor dimensão*, o qual deve ser minimizado para obter uma boa espacialização dos

dados. Na tentativa de minimizar este vetor, foram introduzidas, em 1809, a distribuição normal de Laplace-Gauss com média zero e variância constante, que posteriormente evoluíram para estimar o *vetor dimensão* com a mínima variância. Este enfoque foi estendido aos modelos lineares generalizados, usando os critérios de probabilidade e quase- probabilidade, que levam em conta os mecanismos estocásticos na geração dos dados como antes citado. Como conseqüência do desconhecimento destes mecanismos, o aspecto qualitativo da estimação alcança maior significado e as relações ou semelhanças próximas às médias (μ) passam a ser consideradas a informação *a priori* das variáveis (Bernardinelli *et al.*1995a). Ao resultar ainda escassa ou desconhecida a informação sobre o padrão e a ordem cumulativos do processo, a informação para construir a função de probabilidade segue sendo insuficiente; então, resultou necessário recorrer a distribuições como a de Poisson.

A distribuição de Poisson, no âmbito da *Geomedicina*, é muito empregada porque se adequa a estimar eventos de rara ocorrência, seja pela baixa incidência populacional seja para o mapeamento de casos de óbitos como está sendo empregada nesta pesquisa. A probabilidade de Poisson é utilizada quando as variáveis são independentes e os sucessos ocorrem em instantes aleatórios de tempo, sendo estes considerados como fenômenos ou processos:

- *ordinários* - num intervalo infinitamente pequeno, não pode ocorrer mais de um sucesso;
- *estacionários* - a probabilidade de que ocorram “k” sucessos num intervalo “T”, é função apenas de “k” e de “T”.

O cumulativo verdadeiro de Poisson utilizando a expressão a seguir fornece como resultado, a probabilidade que o número de eventos aleatórios analisados se encontre entre “0” e “x” inclusive:

$$P(x = k) = \frac{\sum_{k=0}^x \lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

onde:

λ : média esperada ou Esperança e, x: número de eventos (número de casos ou de óbitos)

Na tentativa de melhorar o caráter informacional dos dados e do processo de avaliação, foi criada a chamada função de quase-probabilidade (também chamada Log quase-probabilidade) para a média dos dados (μ), assumindo, igualmente, a independência entre as variáveis. A quase-probabilidade para todos os dados é representada pela soma das contribuições

individuais das variáveis, sendo válidas para esta, as mesmas propriedades aplicáveis à função probabilidade na sua relação com a média (μ).

Outros modelos mais complexos do tipo hierárquico, partindo também das variâncias estimadas, como aqueles que aplicam Bayesianos, têm sido empregados visando a análise de máxima probabilidade (Bernardinelli *et al.*1995b; Clayton & Kolder1987). Ante todas estas disjuntivas, especialistas em estatística como Breslow e Gianola, opinaram que estes métodos além de complexos precisam de aplicações e recursos para realizar os cálculos, as cadeias de Markov- Monte Carlo, por exemplo, “que, às vezes, oferece somente um aparente incremento das vantagens no acesso às incertezas das estimativas em função das variâncias das componentes, o que pode ser resolvido aplicando modelos mais simples de regressão marginal média, os quais são preferidos porque facilitam a interpretação dos parâmetros em termos da população”.

Além da importância do processamento estatístico dos atributos que caracterizam os eventos epidemiológicos, resulta não menos importante, a avaliação das incidências ou ocorrências de casos de mortes na locação onde são reportadas. A importância da espacialização geográfica destes eventos liga-se ao ganho em eficiência econômica dos trabalhos de prevenção e reposição ambiental, objetivo que vai muito além dos debates filosóficos que consideram uma falácia a tentativa de encontrar as causas das ocorrências através deste vínculo (<http://www.vanderbilt.edu/radsafe/0301/msg00506.html>). A cartografia dos eventos permite também analisar prováveis tendências ou espalhamentos que ainda não se reconhecem como possíveis fontes causais, fatos que resultam de singular utilidade para correlacionar os eventos aos diversos elementos da dinâmica social, geólogo - estrutural ou ambiental no sentido mais amplo (<http://www.epa.gov/radiation/understand/healtheffects.html>).

Mas ocorre que, segundo a escala da análise, os paradigmas que permitem a espacialização por campos contínuos podem não garantir a necessária independência espacial entre os atributos, de maneira que estes possibilitem o adequado estabelecimento de tendências ou correlações. Nesse caso, estes modelos, depois de testados, não podem ser empregados. No entanto, o “Modelo de Objetos”s exatos, pela sua própria concepção, permite a construção de tendências e relações entre os atributos da base de dados, tanto parcial quanto totalmente, embora este paradigma tenha limitações para as modelagens em escala global, pela perda de exatidão (Burrough 1992; Burrough & Frank 1995; Gatrell *et al* 1996; Ferreira 2003).

5.4 - ORGANIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E MODELAGEM DOS ATRIBUTOS CENSITÁRIOS E EPIDEMIOLÓGICOS

Para a abordagem da presente pesquisa, além das estimativas de doses tabeladas e mapeadas no capítulo precedente, dispõe-se da Base de Dados (BD) cedida pelo Ministério de Saúde Pública da República de Cuba (MINSAP). Como a BD disponibilizada encontrava-se em formato de códigos numéricos Dbase, foi preciso realizar no contexto da pesquisa a edição total desta, convertendo-a ao formato Access, onde todos esses códigos foram substituídos pelos termos e nomes correspondentes às localidades envolvidas, que posteriormente foram georeferenciadas em coordenadas x,y, segundo a projeção Cônica conforme de Lambert (datum Nad 27 Sistema Cuba Norte). Neste processo de organização da BD de atributos epidemiológicos, os obsoletos códigos de classificação internacional da OMS para as doenças cancerígenas de tipo neoplasia, também tiveram sua atualização e foi necessário efetuar a reclassificação e reagrupamento dos dados segundo a nova Classificação Internacional (CID - 10), OPAS e OMS. Só desta forma foi possível abordar e manipular os conteúdos da BD com mais facilidade e clareza dentro da pesquisa.

Finalmente, obteve-se uma base de dados com 28.953 registros para a região, a qual reflete as estatísticas de óbitos no período de 1988 - 2000, com a seguinte distribuição total de registros por províncias: *Villa Clara*, 14.782, *Cienfuegos*, 5.529, e *Sancti Spiritus*, 8.642. No intuito de ponderar e classificar os atributos disponíveis sobre as doenças na região, antes de efetuar análises posteriores, estimou-se a probabilidade marginal (P) das ocorrências de casos para cada uma das três províncias, por sexo. Os resultados apresentados na Tabela 5.2 e na Figura 5.1 mostram que as maiores probabilidades de casos de mortes apresentam-se nos códigos que correspondem a neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos, $P = 0.28$, com destaque para o sexo masculino nas três províncias; seguem as neoplasias malignas dos órgãos digestivos, $P = 0.26$, com maior ocorrência no sexo masculino, para as províncias de Villa Clara e Sancti Spiritus; no entanto, as probabilidades se igualam para ambos os sexos na província de Cienfuegos. No caso das doenças do tecido linfático, hematopoético e outros tecidos correlatos, a probabilidade geral das ocorrências, alcança $P = 0.08$, também com valor maior para o sexo masculino. Entre as neoplasias específicas dos órgãos genitais, têm maior peso as de próstata no sexo masculino, $P = 0.11$, seguidas pelas neoplasias de mama no sexo feminino, $P = 0.06$.

Conclui-se que o comportamento geral das probabilidades das doenças por província e sexo está em correspondência com os resultados encontrados na bibliografia internacional, segundo Teixeira *et al* (1998), Devesa. *et al* (1999), [htt://www3. câncer.gov/atlasplus/charts.html](http://www3.cancer.gov/atlasplus/charts.html).

Além das estimativas de probabilidade de ocorrência de casos por províncias, sexo e códigos CID - 10, os registros dos 13 anos de estatística médica foram também caracterizados e agrupados por idade, sexo e diagnóstico, condizentes ao meio rural ou urbano e às diferentes células da divisão político - administrativas na região. Na Tabela 5.3 e na Figura 5.2, apresenta-se o resumo destes agrupamentos por província. A Tabela 5.3 evidencia os seguintes fatos:

1. A quantidade de casos em crianças é muito pequena, sendo criterioso efetuar um agrupamento etário 0 - 14 anos;
2. Na faixa etária de 30 - 34 anos até a de 50 - 54 anos, o maior número de casos registrados no período é do sexo feminino;
3. É marcante o incremento dos casos acima dos 55 anos, o que pode ser índice da concorrência de fatores que provocam efeitos cumulativos ao longo do tempo. Observa-se que o maior número de casos é registrado na faixa de 75 - 79 anos, tendo em vista que a expectativa de vida ultrapassa 75 anos em Cuba.

Entretanto, a Figura 5.2 mostra como as estatísticas de óbitos por doenças cancerígenas na região apresentam um comportamento em forma de degraus que são harmonicamente condizentes às populações, com destaque nos códigos CID - 10 já avaliados na Tabela 5.2, através das probabilidades.

Os elementos precedentes sugerem também a conveniência de reorganizar e classificar as tabelas de atributos temáticos do tipo vetorial, antes destes serem importados para o SIG no programa *Arc View* para serem avaliados regionalmente, conjuntamente com outras variáveis.

Tabela 5.2 - Cálculo da probabilidade marginal das ocorrências de casos segundo as províncias da região central de Cuba.

| código | t casos | p. total | sexo | | | | t casos | p. total | sexo | | | | t casos | p. total | sexo | | | | casos | P. M_ |
|-----------|---------|----------|------|---------|------|---------|------------|----------|------|---------|------|---------|------------|----------|------|---------|------|---------|---------|------------|
| | | | F | Prob. F | M | Prob. M | | | F | Prob. F | M | Prob. M | | | F | Prob. F | M | Prob. M | | |
| CID-10 | V Clara | casos | F | Prob. F | M | Prob. M | Cienfuegos | casos | F | Prob. F | M | Prob. M | S.Spiritus | casos | F | Prob. F | M | Prob. M | t_ gral | ocorrência |
| C00_C14 | 491 | 0,017 | 159 | 0,005 | 332 | 0,011 | 181 | 0,006 | 36 | 0,001 | 145 | 0,005 | 306 | 0,011 | 83 | 0,003 | 223 | 0,008 | 978 | 0,034 |
| C15_C26 | 3981 | 0,137 | 1794 | 0,062 | 2187 | 0,076 | 1308 | 0,045 | 654 | 0,023 | 654 | 0,023 | 2213 | 0,076 | 1062 | 0,037 | 1151 | 0,040 | 7502 | 0,259 |
| C30_C39 | 4096 | 0,141 | 1218 | 0,042 | 2878 | 0,099 | 1567 | 0,054 | 385 | 0,013 | 1182 | 0,041 | 2377 | 0,082 | 711 | 0,025 | 1666 | 0,058 | 8040 | 0,278 |
| C40_C49 | 179 | 0,006 | 66 | 0,002 | 113 | 0,004 | 72 | 0,002 | 21 | 0,001 | 51 | 0,002 | 125 | 0,004 | 56 | 0,002 | 69 | 0,002 | 376 | 0,013 |
| C43_C44 | 233 | 0,008 | 102 | 0,004 | 131 | 0,005 | 98 | 0,003 | 34 | 0,001 | 64 | 0,002 | 131 | 0,005 | 46 | 0,002 | 85 | 0,003 | 462 | 0,016 |
| C50 | 858 | 0,030 | 855 | 0,030 | 3 | 0,000 | 333 | 0,012 | 332 | 0,011 | 1 | 0,000 | 490 | 0,017 | 485 | 0,017 | 5 | 0,000 | 1681 | 0,058 |
| C51_C58 | 786 | 0,027 | 786 | 0,027 | 0 | 0,000 | 340 | 0,012 | 340 | 0,012 | 0 | 0,000 | 612 | 0,021 | 612 | 0,021 | 0 | 0,000 | 1738 | 0,060 |
| C60_C63 | 1536 | 0,053 | 0 | 0,000 | 1536 | 0,053 | 657 | 0,023 | 0 | 0,000 | 657 | 0,023 | 956 | 0,033 | 0 | 0,000 | 956 | 0,033 | 3149 | 0,109 |
| C64_C68 | 534 | 0,018 | 163 | 0,006 | 371 | 0,013 | 195 | 0,007 | 59 | 0,002 | 136 | 0,005 | 348 | 0,012 | 93 | 0,003 | 255 | 0,009 | 1077 | 0,037 |
| C69_C72 | 377 | 0,013 | 151 | 0,005 | 226 | 0,008 | 126 | 0,004 | 53 | 0,002 | 73 | 0,003 | 195 | 0,007 | 83 | 0,003 | 112 | 0,004 | 698 | 0,024 |
| C73_C75 | 64 | 0,002 | 41 | 0,001 | 23 | 0,001 | 19 | 0,001 | 15 | 0,001 | 4 | 0,000 | 32 | 0,001 | 17 | 0,001 | 15 | 0,001 | 115 | 0,004 |
| C76_C80 | 502 | 0,017 | 256 | 0,009 | 246 | 0,008 | 185 | 0,006 | 88 | 0,003 | 97 | 0,003 | 236 | 0,008 | 96 | 0,003 | 140 | 0,005 | 923 | 0,032 |
| C81_C96 | 1145 | 0,040 | 471 | 0,016 | 674 | 0,023 | 448 | 0,015 | 196 | 0,007 | 252 | 0,009 | 621 | 0,021 | 266 | 0,009 | 355 | 0,012 | 2214 | 0,076 |
| P. M | 14782 | 0,511 | 6062 | 0,209 | 8720 | 0,301 | 5529 | 0,191 | 2213 | 0,076 | 3316 | 0,115 | 8642 | 0,298 | 3610 | 0,125 | 5032 | 0,174 | 28953 | 1,000 |
| província | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE DOENÇAS (CID - 10) | |
|---|---|
| C00_C14 | Neoplasias malignas do lábio, cavidade oral e faringe |
| C15_C26 | Neoplasia maligna dos órgãos digestivos |
| C30_C39 | Neoplasia maligna do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos |
| C40_C49 | Neoplasias malignas dos ossos, das cartilagens articulares, malignas do tecido mesotelial e tecidos moles |
| C43_C44 | Melanomas e outras neoplasias malignas de pele |
| C50 | Neoplasia maligna da mama |
| C51_C58 | Neoplasia maligna dos órgãos genitais femininos |
| C60_C63 | Neoplasia maligna dos órgãos genitais masculinos |
| C64_C68 | Neoplasia maligna do trato urinário |
| C69_C72 | Neoplasia maligna dos olhos, do encéfalo e de outras partes do sistema nervoso central |
| C73_C75 | Neoplasia maligna da tireóide e de outras glândulas endócrinas. |
| C76_C80 | Neoplasia maligna de localizações mal definidas secundária e de localizações não especificadas |
| | Neoplasia maligna do tecido linfático, hematopoético e de tecidos correlatos |

| Significado dos itens na tabela 5.1 | |
|-------------------------------------|--|
| t casos | Total de casos na província |
| p. total | Probabilidade total dos casos na província |
| P.M ocorrência | Probabilidade marginal das ocorrências de casos segundo os códigos |
| P.M província | Probabilidade marginal segundo as províncias |

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE CASOS

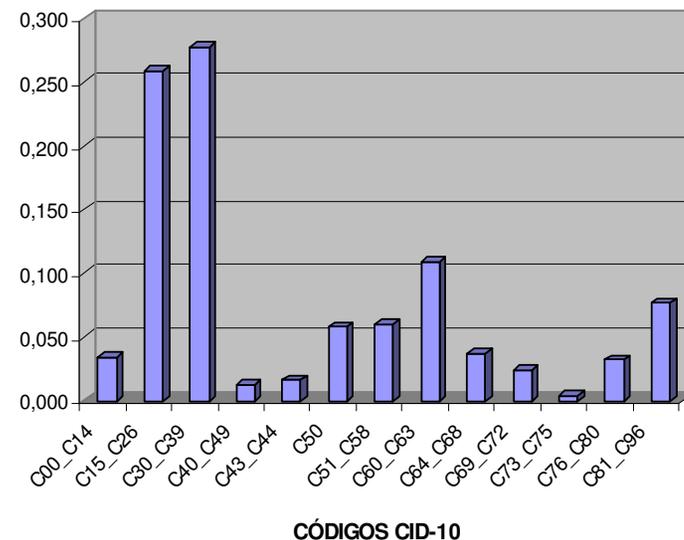


Figura 5.1 Probabilidade de ocorrência de casos, região central de Cuba.

Tabela 5.3 - Caracterização dos casos por grupos etários, sexo e províncias.

| Grupo | Feminino | Masculino | total | V. Clara | Cienfuegos | S_ Spiritus |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 0 - 4 | 36 | 45 | 81 | 41 | 15 | 25 |
| 5 - 9 | 30 | 37 | 67 | 47 | 6 | 14 |
| 10 - 14 | 19 | 35 | 54 | 29 | 8 | 17 |
| 15 - 19 | 31 | 76 | 107 | 53 | 25 | 29 |
| 20 - 24 | 62 | 81 | 143 | 75 | 22 | 46 |
| 25 - 29 | 92 | 86 | 178 | 83 | 38 | 57 |
| 30 - 34 | 154 | 103 | 257 | 112 | 48 | 97 |
| 35 - 39 | 240 | 155 | 395 | 189 | 80 | 126 |
| 40 - 44 | 375 | 253 | 628 | 304 | 118 | 206 |
| 45 - 49 | 570 | 476 | 1046 | 497 | 215 | 334 |
| 50 - 54 | 792 | 789 | 1581 | 818 | 306 | 457 |
| 55 - 59 | 967 | 1095 | 2062 | 1060 | 405 | 597 |
| 60 - 64 | 1189 | 1480 | 2669 | 1417 | 502 | 750 |
| 65 - 69 | 1362 | 1935 | 3297 | 1696 | 651 | 950 |
| 70 - 74 | 1552 | 2449 | 4001 | 2051 | 769 | 1181 |
| 75 - 79 | 1674 | 2781 | 4455 | 2290 | 829 | 1336 |
| 80 - 84 | 1425 | 2578 | 4003 | 2061 | 748 | 1194 |
| >85 | 1407 | 2522 | 3929 | 1959 | 744 | 1226 |
| totais | 11. 977 | 16. 976 | 28. 953 | 14. 782 | 5. 529 | 8. 642 |

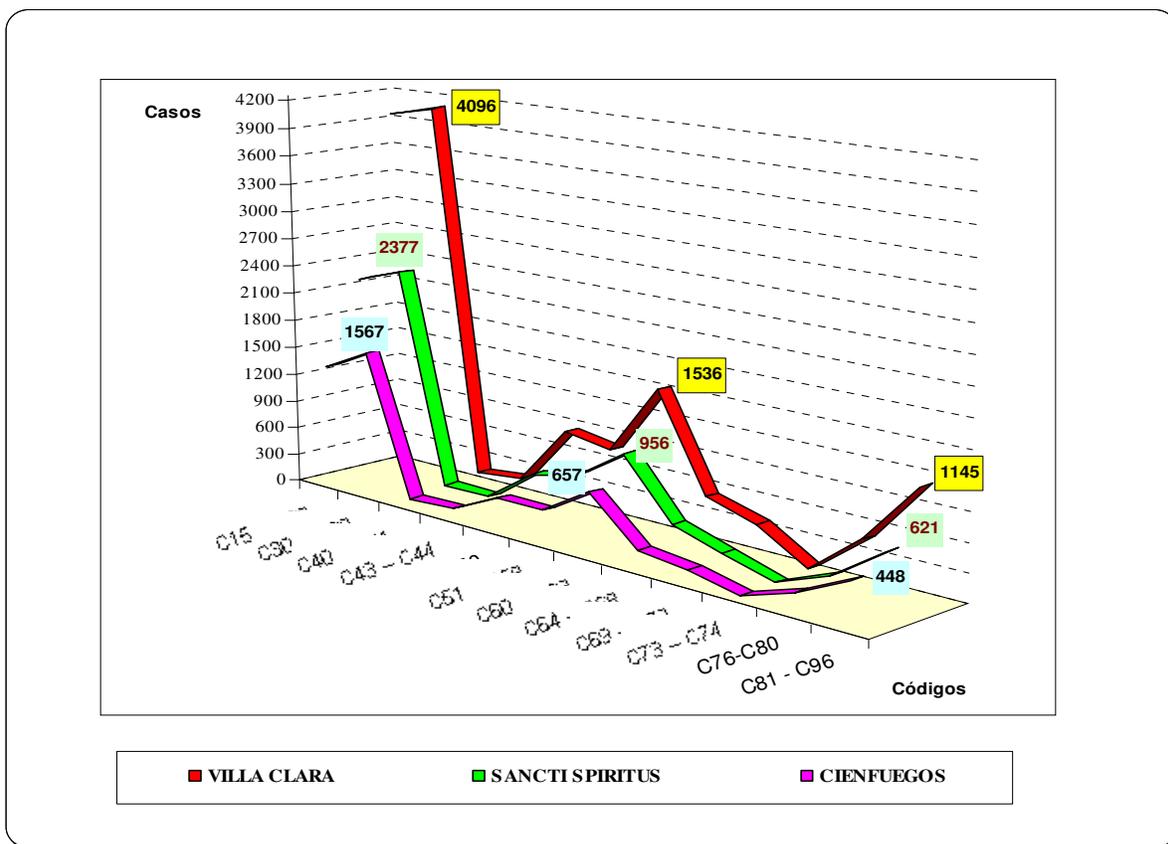


Figura 5.2 Casos de mortalidade nas províncias da região central de Cuba, segundo os códigos CID - 10, período de 1988 - 2000.

Assim, os casos registrados de doenças cancerígenas classificados segundo o código CID - 10, foram agrupados pelos municípios de cada uma das províncias de Villa Clara, Cienfuegos e Sancti Spiritus, em 3 faixas etárias:

- 0 ano - 14 anos , para caracterizar os casos em crianças e adolescentes;
- 15 anos - 49 anos, para caracterizar principalmente a idade fértil da mulher;
- ≥ 50 anos, para caracterizar a faixa das pessoas idosas.

Como exemplo, apresenta-se no Anexo 2, para duas das províncias que abrangem esta pesquisa, a classificação e agrupamento temática por municípios, sexo, idade e meio das ocorrências de casos de mortalidade por neoplasias sólidas segundo os códigos CID - 10 (OPAS e OMS).

A escolha inicial dos municípios como célula básica da divisão político - administrativa da região para o processamento dos dados, baseia-se nas características da informação censitária disponibilizada sobre as populações da região. O mapa que nomeia e mostra a distribuição espacial dos polígonos municipais digitalizados para as três províncias, encontra-se na Figura 4.5. Este mapa serve de suporte à estratégia regional de análise, contendo as entidades topológicas que permitem fornecer uma adequada representatividade local e circunvizinha, aos dados vetoriais referentes às populações e casos de óbitos. Assim, utilizando o paradigma de “Modelo de Objetos” para representar os referidos dados vetoriais, estes podem ser comparados no espaço ou avaliados estatisticamente em relação às cartografias *raster* das estimativas de taxas de dose efetiva de radiação gama, as quais, baseadas no paradigma de campos contínuos, já foram estimadas e mostradas no capítulo precedente (Figuras 4.7 e 4.9).

Ao se dispor na região dos polígonos topograficamente georeferenciados que localizam os principais núcleos onde se concentra a população urbana, estes foram digitalizados das bases topográficas, que classificados e agrupados condizentemente ao tamanho das populações, permitiram assumir uma convenção por intervalos como se mostra a seguir. Posteriormente, para representar cada um destes agrupamentos, foram construídos os correspondentes elementos *buffers* de geometria circular e raios variáveis, já mostrados de maneira geral no capítulo precedente na Figura 4.6 - d. A classificação assumida para as sedes urbanas da região abrangeu os seguintes intervalos de população:

1. localidades urbanas com população ≤ 5.000 habitantes;

2. localidades urbanas com população $> 5.000 \leq 25.000$ habitantes;
3. localidades urbanas com população $> 25.000 \leq 50.000$ habitantes;
4. localidades urbanas com população > 50.000 habitantes.

A geometria empregada para os *buffers* associa a cada intervalo, círculos de 1.0 km, 1.5 km, 2.0 km e 3.0 km de raio, centrados nas coordenadas de georeferência das sedes urbanas.

O procedimento seguinte permite, além da representação gráfica das populações urbanas pelos intervalos assumidos, a representação espacial do provável e natural crescimento harmônico destas populações durante o período analisado e no contexto regional. Os núcleos de maior concentração da população urbana abrangem aproximadamente, uma área de 554 km², representando cerca de 3,3 % do total da área de estudos, sendo estas as regiões onde a maior parte dos casos de óbitos são registrados.

Para analisar e representar espacialmente as minoritárias populações rurais, das quais não se possui informações detalhadas sobre a distribuição nos municípios, assumiu-se que cada uma das áreas municipais não incluídas nos *buffers* desenhados, represente as regiões onde as populações rurais distribuem-se de forma homogênea e constante. Este recurso condizente com o paradigma de “Modelo de Objetos”, possibilita a estimativa aproximada das populações e casos registrados como rurais, os quais distribuem-se numa área que abrange aproximadamente 15.702 km². A Figura 5.3 mostra a distribuição espacial assumida como rural em cada município e as áreas abrangidas pelos *buffers* representativos dos centros de maior concentração urbana.

No intuito de estimar as áreas comuns que abrangem informações censitárias e epidemiológicas de natureza vetorial sobre as cartografias *raster* dos campos físicos observados ou transformados, confeccionaram-se os mapas apresentados nas Figura 5.4 e 5.5.

A Figura 5.4 apresenta, pela primeira vez para os municípios da região central de Cuba, a cartografia da distribuição espacial da densidade de casos de mortalidade, em setores rurais e urbanos, segundo as estatísticas das ocorrências no prazo de 13 anos, sobre as neoplasias malignas de tipo tumores sólidos na região. O conteúdo informativo da Figura 5.4 é expresso em casos. km⁻² e reflete, quais municípios se destacam por este atributo, muito além da análise dos possíveis fatores naturais, sócio-econômicos ou culturais concorrentes nesses setores.

O comportamento das densidades de casos de neoplasias malignas, tanto no meio rural quanto urbano dos municípios das três províncias da região, apresenta a seqüência decrescente destacada a seguir e resumida na tabela 5.4:

Pela densidade dos casos rurais na província de *Villa Clara* destacam-se os municípios: Camajaní (5), Cifuentes (10), Santa Clara (9) e Placetas (8), todos com densidades por volta de 1 caso.km⁻² e abrangendo, em conjunto, uma área rural de 2.207 km² (31 % da área rural da província), onde foram registrados 1.497 casos de óbitos, número que representa aproximadamente, 2,1 % das pessoas que moram na área rural desses municípios. Seguem na seqüência, com menores densidades, Remédios (7), Manicaragua (13), Quemado de Güines (2), Encrucijada (4), Caibarién (6), Santo Domingo (11), Corralillo (1), Ranchuelo (12) e Sagua la Grande (3), esta última, com 0,2 casos. km⁻², estimativa que abrange 4.930 km², representativa de 69 % da área rural da província, onde foram registrados 1.594 casos de óbitos, equivalente a 1,4 % aproximadamente, das pessoas que moram na área rural desses municípios, tendo em vista que a área total estimada como rural na província atinge 7.137 km², e possui 183.963 habitantes.

Entretanto, nas densidades de casos urbanos da província *Villa Clara*, destaca-se o município Santa Clara, que representa o principal núcleo urbano da província, atingindo densidades no intervalo ≥ 342 casos. km⁻² ≤ 427 casos. km⁻²; este, é seguido pelos núcleos urbanos dos municípios Placetas e Remédios, com densidades de casos incluídas no intervalo ≥ 171 casos. km⁻² ≤ 256 casos. km⁻²; seguindo a seqüência, tem-se os municípios Caibarién, Santo Domingo, Manicaragua, Camajuaní, Quemado de Güines, Sagua la Grande, Encrucijada e o vilarejo de La Esperanza no município Ranchuelo, núcleos urbanos, que atingem todas as densidades de casos incluídas no intervalo ≥ 85 casos. km⁻² ≤ 171 casos. km⁻². Resumindo, dos 34 núcleos que concentram a população urbana da província *Villa Clara*, abrangendo uma área aproximada de 279 km², onze (11) apresentam as maiores densidades de casos. km⁻², numa área urbana de 142 km², grandeza equivalente a 51 % da área urbana e 2 % da área total da província, que atinge 7.415 km², onde moram cerca de 600.000 pessoas. As 23 localidades restantes, que abrangem aproximadamente 137 km² de área, atingem, no máximo, 85 casos. km⁻². As 23 localidades restantes, que abrangem aproximadamente 137 km² de área, atingem, no máximo, 85 casos. km⁻², sendo estas representativas de 1,8 % da área urbana restante, do total estimado para a província, onde moram aproximadamente 33.200 pessoas do total urbano.

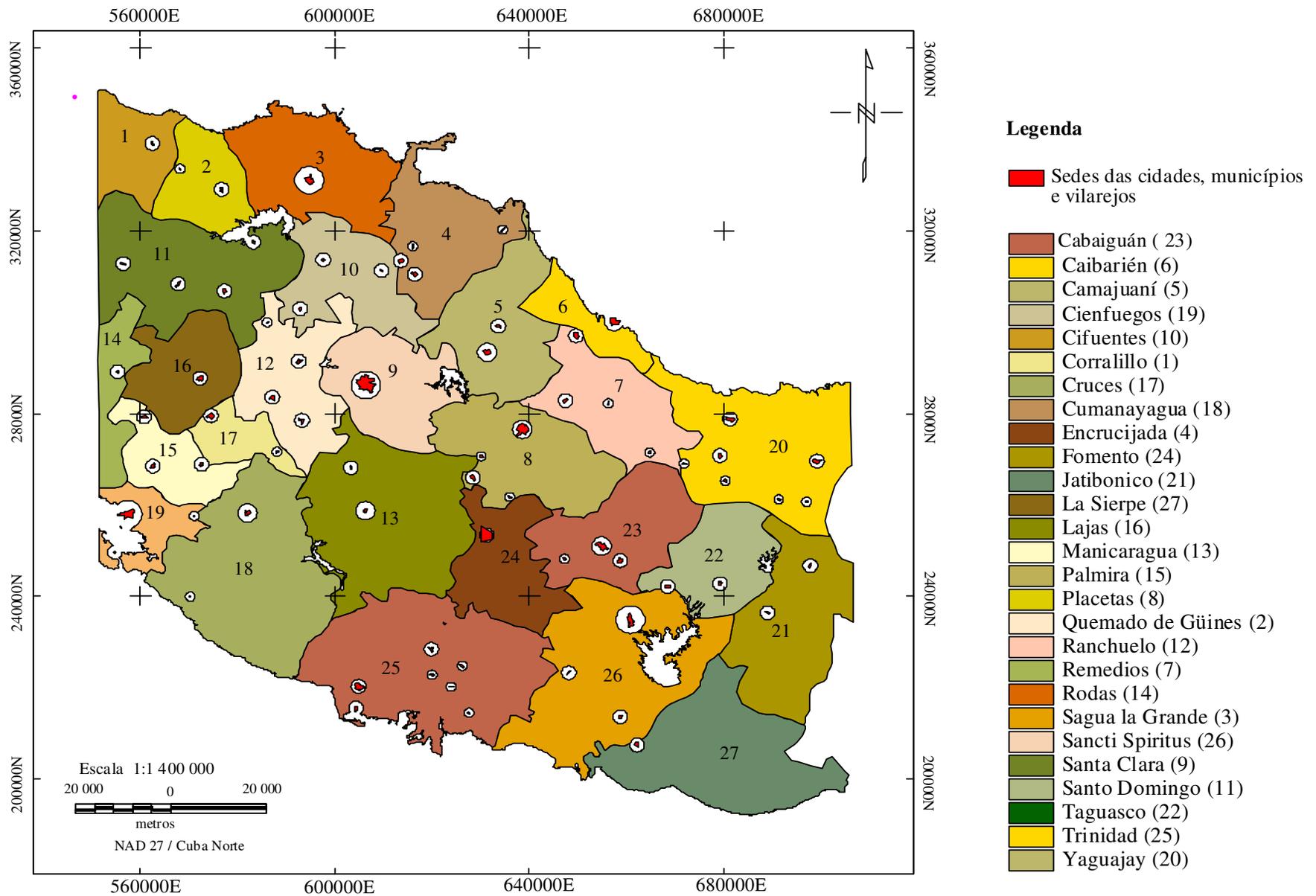


Figura 5.3 Mapa das áreas de distribuição das populações rurais nos municípios, região central de Cuba.

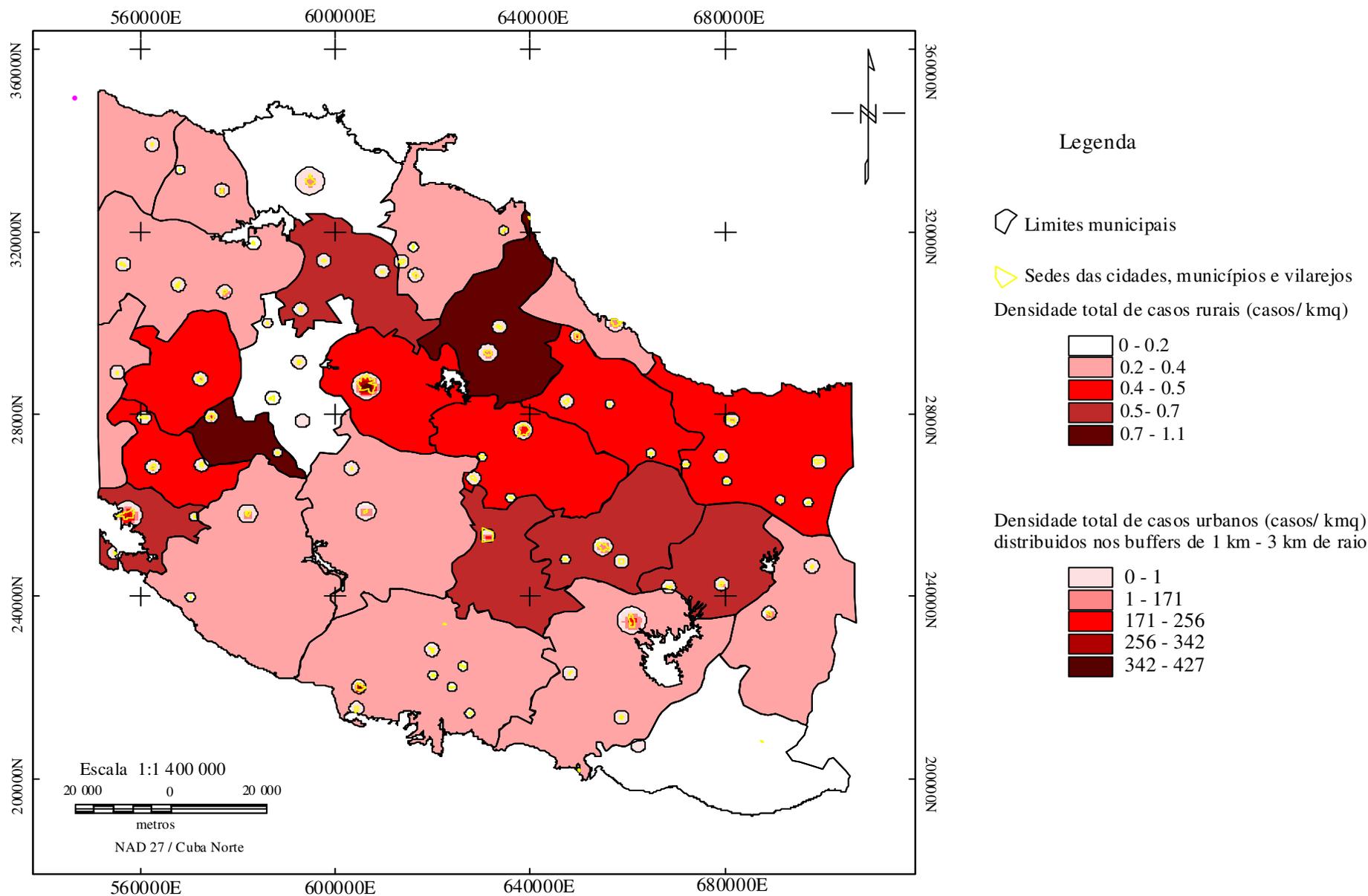


Figura 5.4 Mapa da densidade de casos de doenças cancerígenas (casos/ km q), região central de Cuba.

Em relação aos casos rurais na província de *Cienfuegos* destacam-se os municípios: Cruces (17) e Cienfuegos (19), com densidades de casos por volta de 1 caso.km⁻², abrangendo uma área rural de 386 km² (16 % da área rural da porção da província *Cienfuegos*, que forma parte da área de estudos) onde foram registrados 320 casos de óbitos, número que representa aproximadamente 2,0 % das pessoas que moram na área rural desses municípios; seguem na seqüência com densidades menores, Palmira (15), Lajas (16), Rodas (14) e Cumanayagua (18), esta última, com 0,3 caso.km⁻² onde foram registrados 784 casos de óbitos, grandeza que equivale a 2,0 %, aproximadamente, das pessoas que moram na área rural desses municípios, os quais abrangem segundo a estimativa, 2.045 km² (84 % da área rural da porção da província *Cienfuegos* que compõe a área de estudo), da área estimada como rural na província, por volta de 2.431 km².

Nas densidades de casos urbanos tem destaque o núcleo do município homônimo Cienfuegos, incluído no intervalo ≥ 256 casos. km⁻² ≤ 342 casos. km⁻²; este é seguido do município Cruces, que se inclui no intervalo ≥ 171 casos. km⁻² ≤ 256 casos. km⁻². Seqüencialmente pela sua densidade, incluem-se no intervalo ≥ 85 casos. km⁻² ≤ 171 casos. km⁻², os municípios Cumanayagua, Palmira e Lajas.

Das 12 localidades incluídas na análise das densidades de casos urbanos para a província de Cienfuegos, tem-se somente seis (6), que abrangem uma área por volta dos 100 km², apresentam as maiores densidades de casos. km⁻² sobre uma área urbana de 69 km², valor em área que representa 69 % da área urbana e 3 % da área total da província incluída no setor de estudos, onde moram aproximadamente 175.500 pessoas. As (6) localidades urbanas restantes, que em conjunto abrangem 31 km², atingem, no máximo, 85 casos. km⁻², sendo estas representativas de 31 % da área urbana e 1,2 %, da área urbana restante dos 2.531 km² estimados para toda a província, onde moram cerca de 83.000 pessoas do total urbano.

Pela densidade dos casos rurais na província de *Sancti Spiritus* se destacam em seqüência decrescente, os municípios Cabaiguán (23), com 0,7 caso.km⁻², seguido por Fomento (24), Taguasco (22), Yaguajay (20), Sancti Spiritus (26), Jatibonico (21), Trinidad (25) e La Sierpe (27) apresentando 0,1 casos.km⁻². Em conjunto, todos eles abrangem uma área rural de 6.134 km², onde foram registrados 2.341 casos de óbitos, número que representa 1,6 % das pessoas que moram nessas áreas rurais.

Entretanto, pelas densidades de casos urbanos da província, destaca-se o núcleo do município Trinidad incluído no intervalo ≥ 342 casos. $\text{km}^{-2} \leq 427$ casos. km^{-2} , seguido pelos núcleos urbanos de Sancti Spiritus e Jatibonico, que atingem até densidades no intervalo ≥ 171 casos. $\text{km}^{-2} \leq 256$ casos. km^{-2} . Continuam a seqüência, Fomento, Cabaiguán, Yaguajay, Taguasco e as localidades Guayos e Zaza del Médio, com núcleos urbanos que atingem o intervalo ≥ 85 casos. $\text{km}^{-2} \leq 171$ casos. km^{-2} .

Das 26 localidades urbanas na província de *Sancti Spiritus*, que abrangem uma área de 175 km^2 , onde moram 318.166 pessoas, tem-se 17 localidades que, abrangem 92 km^2 , conjunto que representa 52 % da área ocupada pelos núcleos urbanos e 1,4 % da área total da província, porção menos povoada onde moram cerca de 100.000 pessoas e as densidades atingem até 85 casos. km^{-2} .

A Figura 5.5 apresenta, pela primeira vez para a região central de Cuba, uma representação cartográfica do tipo “Modelo de Objetos” da distribuição espacial por municípios, da densidade populacional urbana e rural expressa em habitantes. km^{-2} . A informação visual que oferece a Figura 5.5 sobre as mudanças regionais da população, complementam a utilidade deste mapa como suporte às análises espaciais e estatísticas no contexto da pesquisa. Para maior visualização desta representação nas áreas urbanas, amplia-se como exemplo, duas janelas que destacam as mudanças dos valores da densidade de casos e de habitantes, dentro do elemento *buffer* que caracteriza o núcleo urbano e vizinhança da cidade de Santa Clara

Destas janelas que compõem a Figura 5.6, evidencia-se o caráter decrescente (do centro até as bordas) que apresentam os atributos vetoriais após a rasterização pela função *kernel*, para calcular a densidade de casos e de população amostradas para toda a região, nas cartografias das Figuras 5. 4 e 5.5. Vale destacar novamente, que segundo o modelo de representação assumido, todas as estimativas estatísticas das populações atingidas, da ocorrência de casos ou das taxas de mortalidade, resultantes das operações de sobreposição de mapas de formato *raster*, com atributos de natureza vetorial, estimaram-se, se eram rurais, proporcionalmente às áreas comuns estimadas, as quais se calcularam através do produto das contagens resultantes da operação, pela área unitária do *pixel*. Entretanto, no meio urbano, as estimativas resultaram apenas da inclusão total ou não dos correspondentes elementos *buffers*, nas áreas comuns resultantes do cruzamento das informações submetidas à análise.

Tabela 5.4 - Análise sumária do mapa da densidade de casos de doenças cancerígenas na região central de Cuba.

| Municípios | área rural km ² | <i>buffers</i> raio (km) x freqüência | área urbana km ² | seqüências de destaque pelos intervalos de densidades de casos urbanos (*) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------|--|
| província Villa Clara | densidade ≈ 1caso. km ⁻² | | ∏ r ² | raio x freqüência → área |
| Camajuaní | 593 | 2 x 1 1,5 x 1 | 19,63 | 2 x 1 →12,57 * |
| Cifuentes | 490 | 1,5 x 3 | 21,21 | - |
| Santa Clara | 483 | 3 x 1 | 28,30 | 3 x 1 →28,30 *** |
| Placetas | 641 | 2 x 1 1,5 x 1 1 x 2 | 26,00 | 2 x 1 →12,57 ** |
| áreas sub-totais | 2. 207 | | ≈ 95 | 53,44 |
| | densidade < 1caso. km ⁻² | | | |
| Remédios | 532 | 1,5 x 2 1 x 2 | 14,14 6,28 | 1.5 x 1 →7,07 ** |
| Manicaragua | 1002 | 2 x 1 1,5 x 1 | 19,63 | 2 x 1 →12,57 * |
| Quemado de Güines | 328 | 1 x 1 1,5 x 1 | 3,14 7,07 | 1.5 x 1 →7,07 * |
| Encrucijada | 569 | 1,5 x 2 1 x 2 | 14,14 6,28 | 1.5 x 1 →7,07 * |
| Caibarién | 204 | 2 x 1 | 12,57 | 2 x 1 →12,57 * |
| Santo Domingo | 826 | 1,5 x 4 | | 1.5 x 1 →7,07 * |
| Corralillo | 306 | 1,5 x 1 | 7,07 | - |
| Ranchuelo (La Esperanza) | 531 | 1,5 x 3 1 x 1 | 21,21 3,142 | 1.5 x 1 →7,07 * |
| Sagua la Grande | 632 | 3 x 1 2 x 1 | 28,30 12,57 | 3 x 1 →28,30 * |
| áreas sub-totais | 4. 930 | | ≈ 184 | 88,79 |
| áreas segundo o meio | 7. 137 km ² | | ≈ 279 km ² | ≈142 km ² |
| província área estimada | 7. 416 km² | (1 x 8; 1,5 x 19; 2 x 5; 3 x 2) | | Intervalos de densidade: ≥ 342 casos. km ⁻² ≤ 427 casos. km ⁻² *** ≥171 casos. km ⁻² ≤ 256 casos. km ⁻² ** ≥ 85 casos. km ⁻² ≤ 171 casos. km ⁻² * |
| | | 34 núcleos urbanos | | |

continuação Tabela 5.4

| municípios | área rural km ² | <i>buffers</i> raio (km) x frequência | área urbana km ² | seqüências de destaque pelos intervalos de densidades de casos urbanos (*) |
|-------------------------|--|--|-----------------------------------|--|
| província Cienfuegos | densidade \approx 1 caso. km ⁻² | | $\prod r^2$ | raio x frequência \rightarrow área |
| Cruces | 187 | 1,5 x 1 1 x 1 | 10,21 | 1.5 x 1 \rightarrow 7,07 * |
| Cienfuegos | 199 | 3 x 1 1,5 x 1 1 x 1 | 38,51 | 3 x 1 \rightarrow 28,30 ** |
| áreas sub-totais | 386 | | 48,72 | 35,37 |
| | densidade < 1 caso. km ⁻² | | | |
| Palmira | 299 | 1,5 x 3 | 21,21 | 2 x 1 \rightarrow 12,57 * |
| Lajas | 424 | 1,5 x 1 | 7,07 | 1.5 x 1 \rightarrow 7,07 * |
| Rodas | 242 | 1,5 x 1 | 7,07 | - |
| Cumanayagua | 1.080 | 2 x 1 1 x 1 | 12,57 3,14 | 1.5 x 1 \rightarrow 7,07 * |
| áreas sub-totais | 2.045 | | 51,06 | 26,71 |
| áreas segundo o meio | 2.431 km ² | | \approx 100 km ² | \approx 62,08 km ² |
| província área estimada | 2.531 km² | (1 x 3; 1,5 x 7; 2 x 1; 3 x 1) | | Intervalos de densidade: \geq 171 casos. km ⁻² \leq 256 casos. km ⁻² ** \geq 85 casos. km ⁻² \leq 171 casos. km ⁻² * |
| | | 12 núcleos urbanos | | |

continuação Tabela 5.4

| municípios | área rural km ² | <i>buffers</i> raio (km) x frequência | área urbana km ² | seqüências de destaque pelos intervalos de densidades de casos urbanos (*) |
|---|-------------------------------------|--|--------------------------------|---|
| província Sancti Spiritus | densidade < 1caso. km ⁻² | | ∏ r ² | raio x frequência → área |
| Cabaiguán | 574 | 2 x 1 1,5 x 1 1 x 1 | 12,57 7,07 3,14 | 2 x 1 → 12,57 ** |
| Fomento | 470,6 | 1,5 x 1 | 7,07 | |
| Taguasco | 431,3 | 1,5 x 2 | 14,14 | |
| Yaguajay | 919,5 | 1,5 x 3 1 x 4 | 21,21 12,56 | 2 x 1 → 12,57 * |
| Sancti Spiritus | 993 | 3 x 1 1,5 x 2 | 28,30 14,14 | 1,5 x 1 → 7,07 * |
| Jatibonico | 708 | 1,5 x 2 | 14,14 | - |
| Trinidad | 1.160 | 1,5 x 3 1 x 4 | 21,21 12,56 | 1,5 x 1 → 7,07 * |
| La Sierpe | 878 | 1,5 x 1 | 7,07 | |
| áreas segundo o meio | 6.134 km ² | | 175,18 km ² | ≈ 142 km ² |
| província área estimada | 6.309 km ² | (1 x 9; 1,5 x 15; 2 x 1; 3 x 1) | | Intervalos de densidade: ≥ 342 casos. km ⁻² ≤ 427 casos. km ⁻² *** ≥ 171 casos. km ⁻² ≤ 256 casos. km ⁻² ** ≥ 85 casos. km ⁻² ≤ 171 casos. km ⁻² * |
| | | 26 núcleos urbanos | | |
| total geral segundo o meio (rural e urbano) | 15.702 km² | | ≈ 554 km² | |
| Estimativa aproximada da área da região central, incluindo as áreas das represas e lagoas | | 16.437 km² | | |

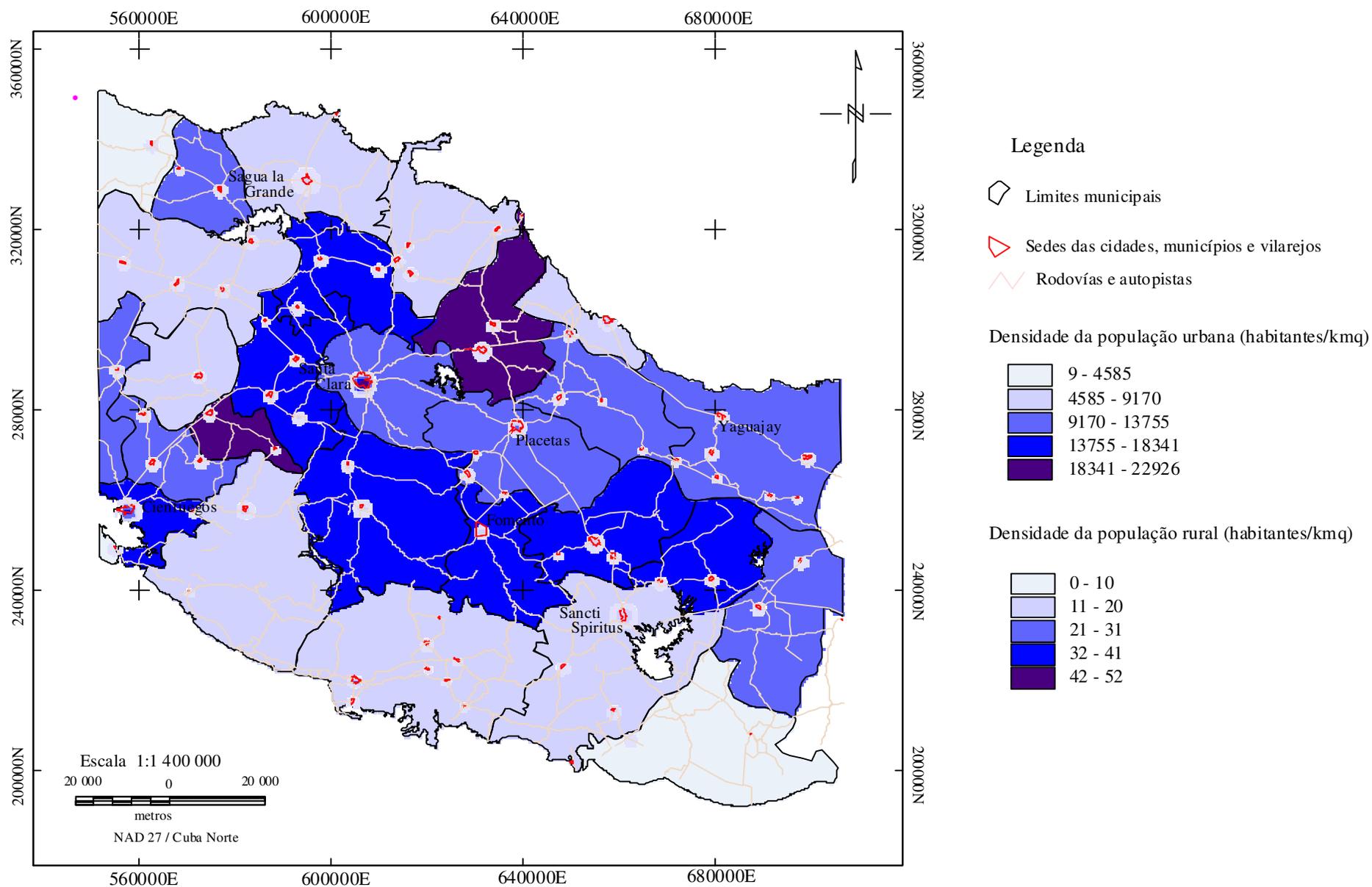
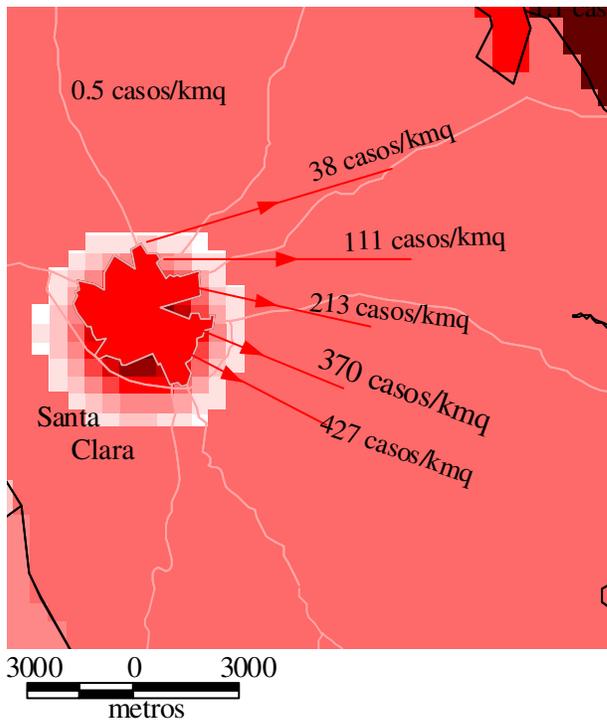


Figura 5.5 Mapa da densidade populacional urbana e rural (habitantes/ km q), região central de Cuba.



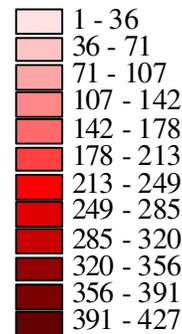
Legenda

Limites municipais

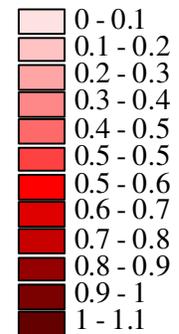
Rodovías e autopistas

Sedes de cidades, municípios e vilarejos

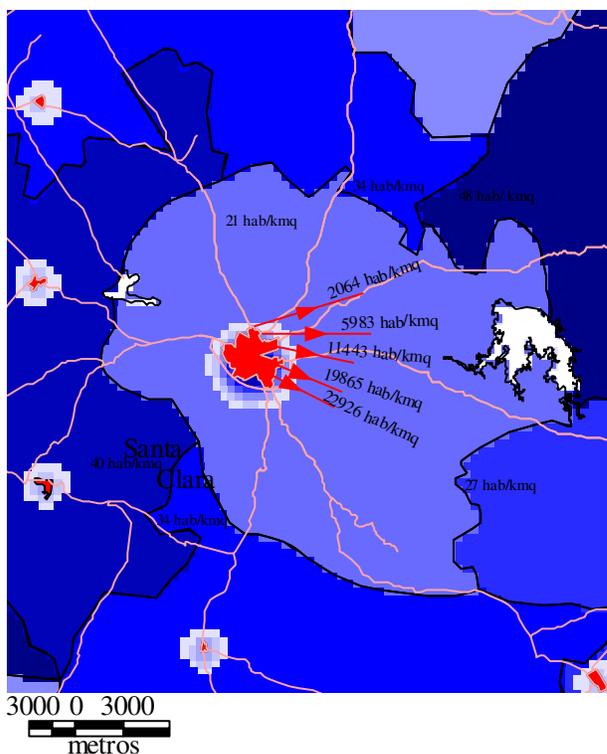
Janela do mapa de densidade de casos de doenças cancerígenas (casos/kmq), nas proximidades da cidade de Santa Clara. (a) urbana; (b) rural



(a)



(b)



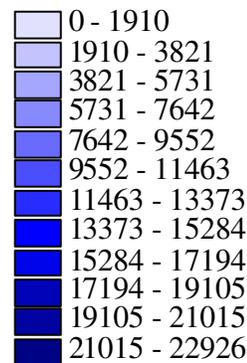
Legenda

Limites municipais

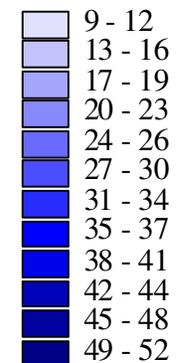
Rodovías e autopistas

Sedes de cidades, municípios e vilarejos

Janela do mapa de densidade de população (casos/kmq), nas proximidades da cidade de Santa Clara. (a) urbana; (b) rural



(a)



(b)

Figura 5.6 Janelas da estimativa através da função *kernel*, da densidade de casos de doenças cancerígenas (casos/ km q) e da densidade populacional (habitantes/ kmq), em *buffers* sobre localidades da região central de Cuba.

5.5 - EXPECTATIVA SOBRE A ESPACIALIZAÇÃO DAS TAXAS DE MORTALIDADE

Entre os modelos empregados na análise e na espacialização de estatísticas médicas estão aqueles que baseados na distribuição de Poisson, permitem, estocasticamente, classificar as diversas unidades do ambiente, visando a chance das ocorrências de casos ou taxas de mortalidade específica, em relação a certo número esperado de casos (média esperada) para a população em estudo. Os mapas obtidos nesta abordagem probabilística (Figuras 5.7 e 5.8) visam a prevenção e/ou avaliação das doenças, na medida em que as taxas de mortalidade da Figura 5.9 relacionem-se com o valor provável esperado na população. A seguir, apresentam-se as tabelas 5.5 e 5.6, que refletem as estimativas da probabilidade de Poisson para os municípios das províncias Villa Clara, Cienfuegos e Sancti Spiritus, segundo o total de casos de óbitos registrados no ano de 1998, assim como as probabilidades de Poisson para os casos de óbitos por neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos código (C30 - C39). As análises particulares dedicadas às ocorrências de casos classificados no código C30 - C39, condizem com as estimativas obtidas na Tabela 5.2 e são destacadas também pelas estatísticas internacionais sobre neoplasias. Os resultados das estimativas contidos nas Tabelas 5.5 e 5.6, são complementados, respectivamente, pelas cartografias das Figuras 5.7 e 5.8 (a, b, c e d), as quais mostram a espacialização das ocorrências prováveis, com base nas médias esperadas..

A espacialização destas probabilidades, após a classificação pelas suas grandezas em três classes (%), é mostrada na Figura 5.7, a qual permite constatar que os municípios que apresentaram maior número de casos de óbitos no ano de 1998 não são necessariamente aqueles em que a probabilidade de ocorrências pela distribuição de Poisson foi superior. Como exemplo, observa-se para municípios da província de *Villa Clara* que Manicaragua, com 108 casos para a data analisada, apresentou $P = 0,20$, enquanto Corralillo, que no mesmo período registrou o menor número de casos (22), atingiu um nível $P = 0,96$, probabilidade comparável a Camajuaní (117 casos, $P = 0,98$), Remédios (94 casos, $P = 0,99$) e Santa Clara (365 casos, $P = 1,00$), que apresentaram maior número de casos. Analogias desta “disparidade” podem ser observadas também nos municípios das províncias de *Cienfuegos* e *Sancti Spiritus*. A suposta “disparidade” responde ao valor e modo de cálculo da “média esperada”, já que esse valor é obtido da relação entre a frequência observada e o número médio de casos na província como um todo (média amostral). Assim, nos municípios onde o número de casos observados foi suficientemente superior ao esperado, a probabilidade de Poisson atingiu valores próximos ao valor limite

Tabela 5.5 - Valores dos parâmetros da distribuição de Poisson para os municípios das províncias Villa Clara, Cienfuegos e Sancti Spiritus segundo os casos de óbitos do ano 1998.

| centróides municipais | | município | No. | população | casos | média esperada | probabilidades |
|-----------------------|--------|-------------------|-----|-----------|-------|----------------|----------------|
| X | Y | | | | | | |
| 561564 | 339472 | Corralillo | 1 | 10258 | 22 | 15,53 | 0,96 |
| 568428 | 333964 | Quemado de Güines | 2 | 23899 | 43 | 36,18 | 0,89 |
| 594112 | 330408 | Sagua la Grande | 3 | 60979 | 99 | 92,30 | 0,78 |
| 621592 | 317681 | Encrucijada | 4 | 35832 | 51 | 54,24 | 0,36 |
| 630356 | 293760 | Camajuaní | 5 | 64088 | 117 | 97,01 | 0,98 |
| 659458 | 299569 | Caibarién | 6 | 40241 | 72 | 60,91 | 0,93 |
| 649188 | 297621 | Remedios | 7 | 49057 | 94 | 74,26 | 0,99 |
| 639081 | 277227 | Placetas | 8 | 74291 | 119 | 112,45 | 0,75 |
| 606394 | 286196 | Santa Clara | 9 | 226900 | 365 | 343,46 | 1,00 |
| 597639 | 313820 | Cifuentes | 10 | 36000 | 38 | 54,49 | 0,01 |
| 577120 | 306322 | Santo Domingo | 11 | 53976 | 80 | 81,70 | 0,45 |
| 735539 | 258090 | Ranchuelo | 12 | 63831 | 29 | 96,62 | 0,00 |
| 606583 | 258516 | Manicaragua | 13 | 77823 | 108 | 117,80 | 0,20 |
| 548050 | 285907 | Rodas | 14 | 14877 | 21 | 20,98 | 0,56 |
| 561852 | 267502 | Palmira | 15 | 33231 | 63 | 46,87 | 0,99 |
| 572067 | 287845 | Lajas | 16 | 23551 | 30 | 33,22 | 0,33 |
| 575543 | 278634 | Cruces | 17 | 33060 | 47 | 46,63 | 0,56 |
| 582518 | 258371 | Cumanayagua | 18 | 50987 | 71 | 71,91 | 0,49 |
| 558451 | 258262 | Cienfuegos | 19 | 158384 | 211 | 223,38 | 1,00 |
| 688113 | 272736 | Yaguajay | 20 | 61073 | 96 | 92,02 | 0,67 |
| 693794 | 233804 | Jatibonico | 21 | 42855 | 49 | 64,57 | 0,03 |
| 678924 | 247713 | Taguasco | 22 | 36698 | 49 | 55,29 | 0,21 |
| 658384 | 254169 | Cabaiguán | 23 | 67307 | 125 | 101,42 | 0,99 |
| 635200 | 246626 | Fomento | 24 | 36196 | 61 | 54,54 | 0,82 |
| 619340 | 224671 | Trinidad | 25 | 72225 | 130 | 111,09 | 0,98 |
| 656649 | 223462 | Santi Spiritus | 26 | 126659 | 168 | 190,84 | 1,00 |
| 679233 | 205726 | La Sierpe | 27 | 17611 | 18 | 26,20 | 0,05 |

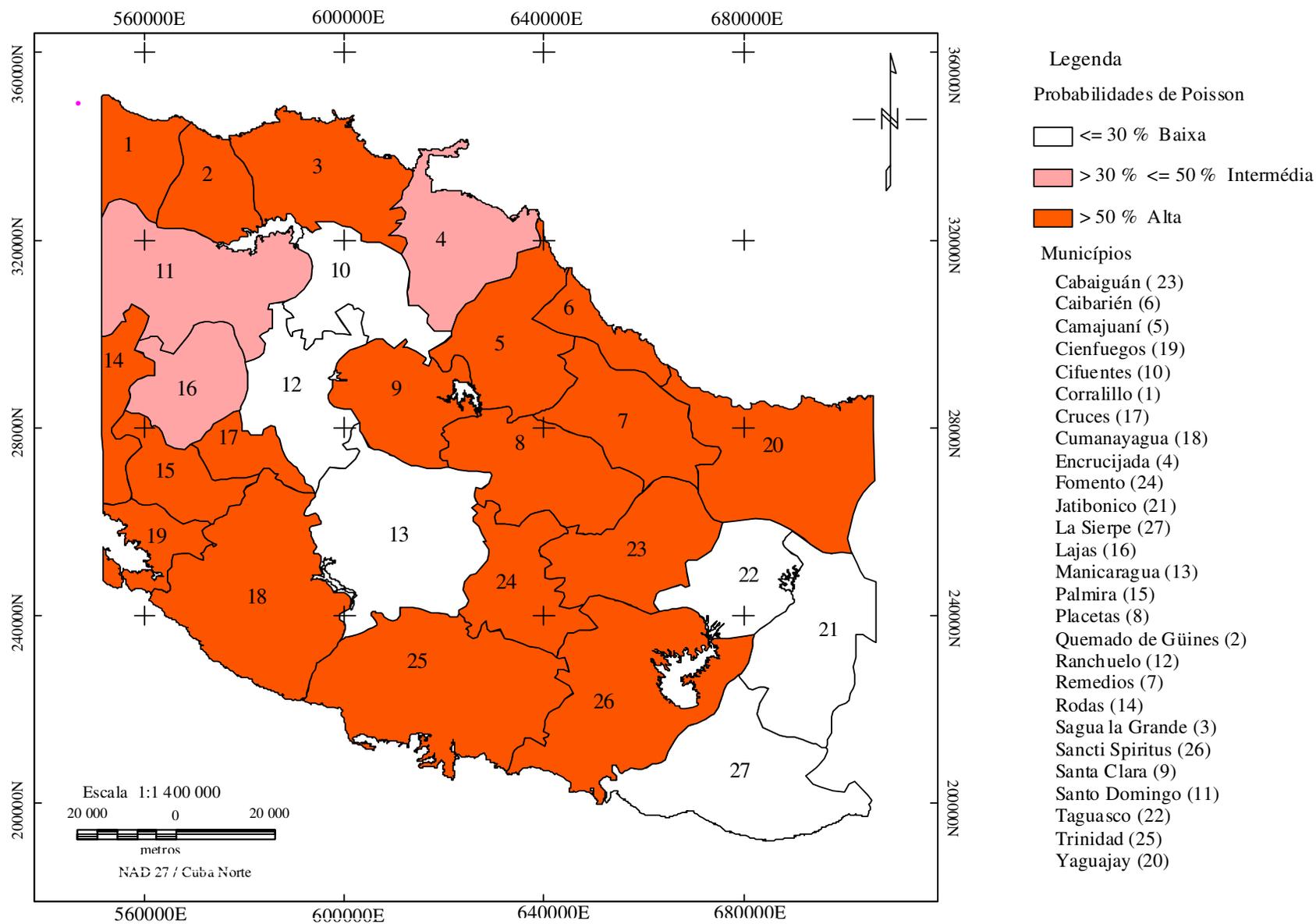


Figura 5.7 Mapa da probabilidade de ocorrência de casos de neoplasias, baseado no modelo de Poisson (ano de 1998), região central de Cuba.

Tabela 5.6 - Probabilidade de Poisson para as neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos código (C30 - C39), na região central de Cuba.

| município | No. | casos segundo sexos idade | | | | | população_1998 | | | média esperada | | | | | Probabilidade de Poisson | | | | |
|-------------------|-----|---------------------------|-----------|------------|------------|------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----|----|-----------|-------|--------------------------|------|------|-----------|-------|
| | | total | F | M | total > 50 | M >50 | total | F | M | total | F | M | total >50 | M >50 | total | F | M | total >50 | M_>50 |
| Corralillo | 1 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10258 | 5007 | 5251 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1,00 | 0,32 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Quemado de Güines | 2 | 15 | 4 | 11 | 15 | 11 | 23899 | 11518 | 12381 | 10 | 3 | 7 | 9 | 7 | 0,96 | 0,86 | 0,94 | 0,97 | 0,96 |
| Sagua la Grande | 3 | 28 | 7 | 21 | 26 | 20 | 60979 | 30554 | 30425 | 25 | 7 | 18 | 24 | 17 | 0,75 | 0,62 | 0,77 | 0,73 | 0,83 |
| Encrucijada | 4 | 12 | 6 | 6 | 10 | 5 | 35832 | 17615 | 18217 | 15 | 4 | 11 | 14 | 10 | 0,28 | 0,89 | 0,09 | 0,18 | 0,07 |
| Camajuaní | 5 | 28 | 8 | 20 | 27 | 19 | 64088 | 31480 | 32608 | 27 | 7 | 19 | 25 | 18 | 0,66 | 0,70 | 0,62 | 0,71 | 0,66 |
| Caibarien | 6 | 24 | 6 | 18 | 19 | 15 | 40241 | 20508 | 19733 | 17 | 5 | 12 | 16 | 11 | 0,97 | 0,83 | 0,96 | 0,84 | 0,92 |
| Remedios | 7 | 23 | 10 | 13 | 22 | 13 | 49057 | 24411 | 24646 | 20 | 6 | 15 | 19 | 14 | 0,77 | 0,97 | 0,39 | 0,79 | 0,52 |
| Placetas | 8 | 41 | 8 | 33 | 40 | 32 | 74291 | 36976 | 37315 | 31 | 8 | 22 | 29 | 20 | 0,97 | 0,54 | 0,99 | 0,98 | 0,99 |
| Santa Clara | 9 | 96 | 26 | 70 | 93 | 60 | 226900 | 116001 | 110899 | 94 | 26 | 68 | 88 | 61 | 0,61 | 0,59 | 0,61 | 0,73 | 0,49 |
| Cifuentes | 10 | 10 | 3 | 7 | 7 | 6 | 36000 | 17470 | 18530 | 15 | 4 | 11 | 14 | 10 | 0,12 | 0,42 | 0,15 | 0,03 | 0,12 |
| Santo Domingo | 11 | 15 | 2 | 13 | 15 | 13 | 53976 | 26450 | 27526 | 22 | 6 | 16 | 21 | 15 | 0,07 | 0,06 | 0,25 | 0,12 | 0,36 |
| Ranchuelo | 12 | 6 | 1 | 5 | 5 | 4 | 63831 | 31547 | 32284 | 26 | 7 | 19 | 25 | 18 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Manicaragua | 13 | 30 | 11 | 19 | 27 | 17 | 77823 | 37057 | 40766 | 32 | 9 | 23 | 30 | 22 | 0,39 | 0,83 | 0,21 | 0,33 | 0,15 |
| sub totais | | 338 | 92 | 246 | 316 | 225 | 817175 | 406594 | 410581 | | | | | | | | | | |
| Rodas | 14 | 7 | 4 | 3 | 6 | 3 | 14877 | 7186 | 7691 | 6 | 2 | 4 | 6 | 4 | 0,74 | 0,98 | 0,34 | 0,67 | 0,38 |
| Palmira | 15 | 20 | 4 | 16 | 18 | 14 | 33231 | 16234 | 16997 | 13 | 3 | 10 | 12 | 9 | 0,97 | 0,73 | 0,97 | 0,95 | 0,94 |
| Lajas | 16 | 8 | 2 | 6 | 8 | 6 | 23551 | 11529 | 12022 | 10 | 2 | 7 | 9 | 7 | 0,39 | 0,55 | 0,43 | 0,47 | 0,50 |
| Cruces | 17 | 9 | 1 | 9 | 9 | 8 | 33060 | 16243 | 16817 | 13 | 3 | 10 | 12 | 9 | 0,14 | 0,14 | 0,46 | 0,21 | 0,41 |
| Cumanayagua | 18 | 20 | 5 | 15 | 19 | 15 | 50987 | 24565 | 26422 | 21 | 5 | 15 | 19 | 15 | 0,50 | 0,55 | 0,53 | 0,55 | 0,60 |
| Cienfuegos | 19 | 63 | 17 | 46 | 58 | 42 | 158384 | 80364 | 78020 | 64 | 17 | 48 | 60 | 43 | 0,48 | 0,60 | 0,43 | 0,45 | 0,45 |
| sub totais | | 127 | 33 | 95 | 118 | 88 | 314090 | 156121 | 157969 | | | | | | | | | | |
| Yaguajay | 20 | 24 | 7 | 17 | 23 | 16 | 61073 | 29580 | 31493 | 25 | 7 | 18 | 24 | 17 | 0,49 | 0,58 | 0,50 | 0,49 | 0,46 |
| Jatibonico | 21 | 11 | 5 | 6 | 8 | 3 | 42855 | 20716 | 22139 | 17 | 5 | 12 | 17 | 12 | 0,07 | 0,61 | 0,04 | 0,02 | 0,00 |
| Taguasco | 22 | 12 | 3 | 9 | 12 | 9 | 36698 | 17720 | 18978 | 15 | 4 | 11 | 14 | 10 | 0,28 | 0,38 | 0,39 | 0,33 | 0,42 |
| Cabaiguán | 23 | 39 | 15 | 24 | 39 | 24 | 67307 | 33324 | 33983 | 27 | 8 | 19 | 26 | 18 | 0,99 | 0,99 | 0,87 | 0,99 | 0,92 |
| Fomento | 24 | 17 | 5 | 12 | 16 | 12 | 36196 | 17697 | 18499 | 15 | 4 | 10 | 14 | 10 | 0,77 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,79 |
| Trinidad | 25 | 31 | 7 | 24 | 31 | 24 | 72225 | 35340 | 36885 | 29 | 8 | 21 | 28 | 20 | 0,67 | 0,39 | 0,79 | 0,75 | 0,84 |
| Sancti Spiritus | 26 | 47 | 10 | 37 | 45 | 35 | 126659 | 63468 | 63191 | 51 | 15 | 37 | 49 | 34 | 0,30 | 0,13 | 0,57 | 0,30 | 0,60 |
| La Sierpe | 27 | 6 | 2 | 4 | 5 | 4 | 17611 | 8430 | 9181 | 7 | 2 | 5 | 7 | 5 | 0,43 | 0,66 | 0,43 | 0,32 | 0,44 |
| sub totais | | 187 | 54 | 133 | 179 | 127 | 460624 | 226275 | 234349 | | | | | | | | | | |

possível (1,00).

Constata-se na Figura 5.7, que a distribuição probabilística de Poisson apresenta um padrão de espacialização com relativo agrupamento *cluster* dos municípios contíguos, apresentando semelhanças como esperado nos mapas das Figuras 5.8 (a, b, c e d), construídos utilizando as estimativas de probabilidade mostradas na Tabela 5.6 para as neoplasias com código CID-10 (1994) (C30 - C39) e, com a Figura 5.9, que reflete a distribuição espacial das taxas de mortalidade rural e urbana nos municípios da região. Para a avaliação dos casos de doenças ou de óbitos, é prática comum a análise das taxas em relação às populações envolvidas. Para o cálculo da taxa de mortalidade emprega-se a seguinte expressão:

$$\textit{Taxa de Mortalidade} = (\textit{casos de morte} / \textit{população}) * 100.000 \textit{ habitantes}$$

A expressão referida em [htt://www3.cancer.gov/atlasplus/charts.html](http://www3.cancer.gov/atlasplus/charts.html), foi definida por Friedman (1990). O conceito pode ser aplicado sobre a ocorrência total de casos ou sobre os casos correspondentes a um código de doença em particular, como sexo ou idade.

Na distribuição de probabilidades da Figura 5.7, observa-se que os mais baixos níveis de probabilidade de Poisson ($\leq 30\%$) para todos os casos e tipos de neoplasias na região, permitem agrupar os municípios Cifuentes (10), Ranchuelo (12) e Manicaragua (13), localizados na porção centro - oeste da província *Villa Clara*, com os do extremo sudeste, Jatibonico (21), Taguasco (22) e La Sierpe (27), da província de *Sancti Spiritus*. Os municípios restantes possuem níveis de probabilidade categorizados entre intermediários e altos.

Visando encontrar semelhanças no comportamento e distribuição destes atributos, como variáveis independentes em relação as marcantes diferenças de ambientes geológicos, foi comparada a Figura 5.7 ao conjunto das Figuras 5.8 e 5.9, esta última correspondendo ao mapa da distribuição espacial das taxas de mortalidade. Observa-se que são atingidos níveis entre baixo e intermediário, tanto na probabilidade de Poisson quanto nas taxas de óbitos nos municípios Cifuentes (10) e Ranchuelo (12), ambos inseridos nas elevações de Las Villas com uma altitude do relevo entre 70 m - 330 m, coincidindo com a divisória das águas entre as bacias hidrográficas Sagua la Grande e Sagua la Chica e onde a complexidade geológica aumenta pelas falhas de direção SW - NE. Semelhante direção tectônica apresenta as áreas abrangidas por Jatibonico (21), Taguasco (22) e La Sierpe (27) de *Sancti Spiritus*, embora nestes os litotipos sejam preferencialmente sedimentares recentes ou se apresentem misturados às rochas do AVC, como ocorre parcialmente em Taguasco e Jatibonico; toda esta região é complicada pela ampla largura

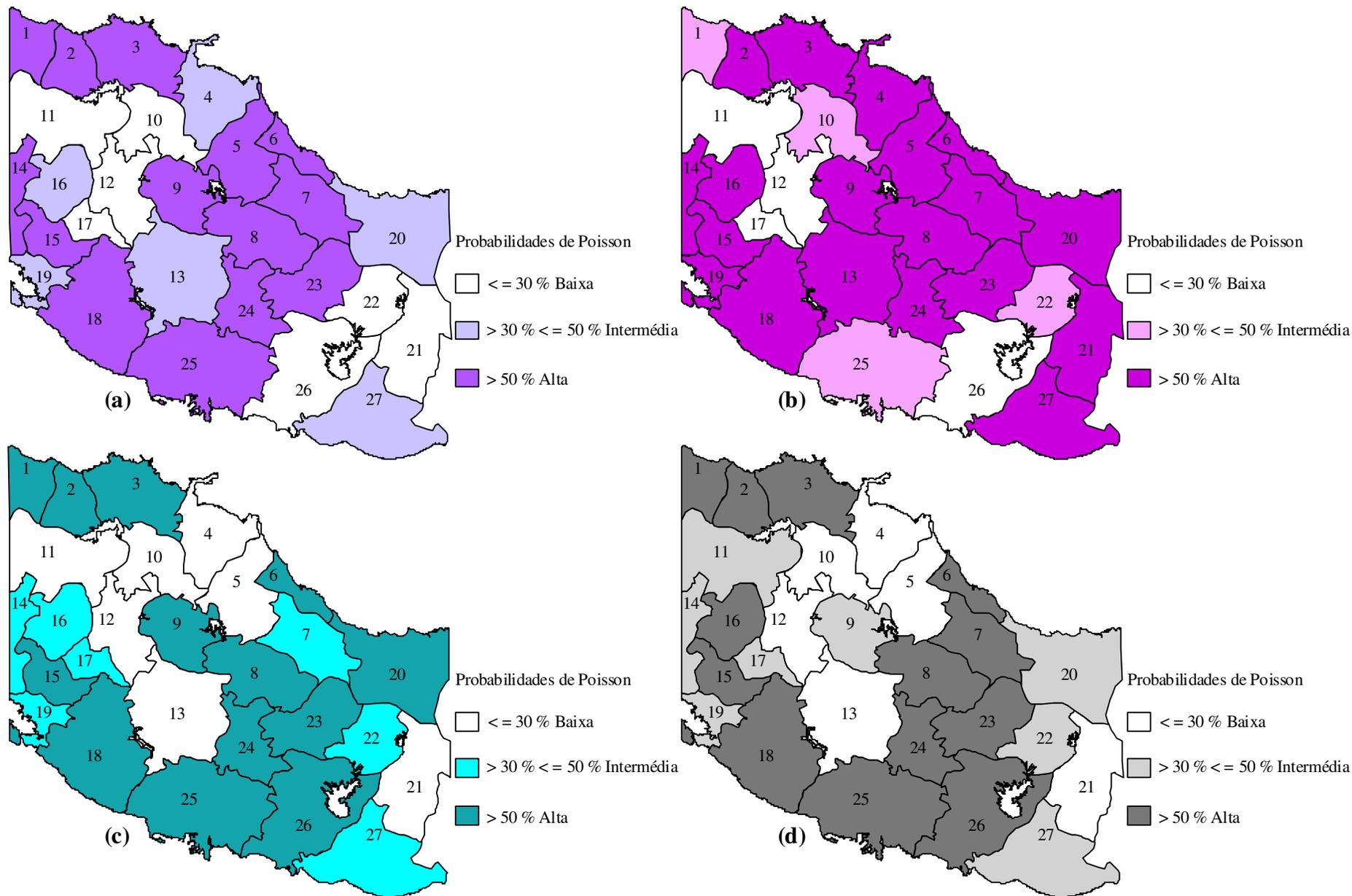


Figura 5.8 Mapa da probabilidade de ocorrência de casos de neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos código C30 - C39, baseado no modelo de Poisson (ano de 1998), região central de Cuba: a - total de casos; b - casos sexo feminino; c- casos sexo masculino; d - casos sexo masculino com 50 anos de idade e maiores.

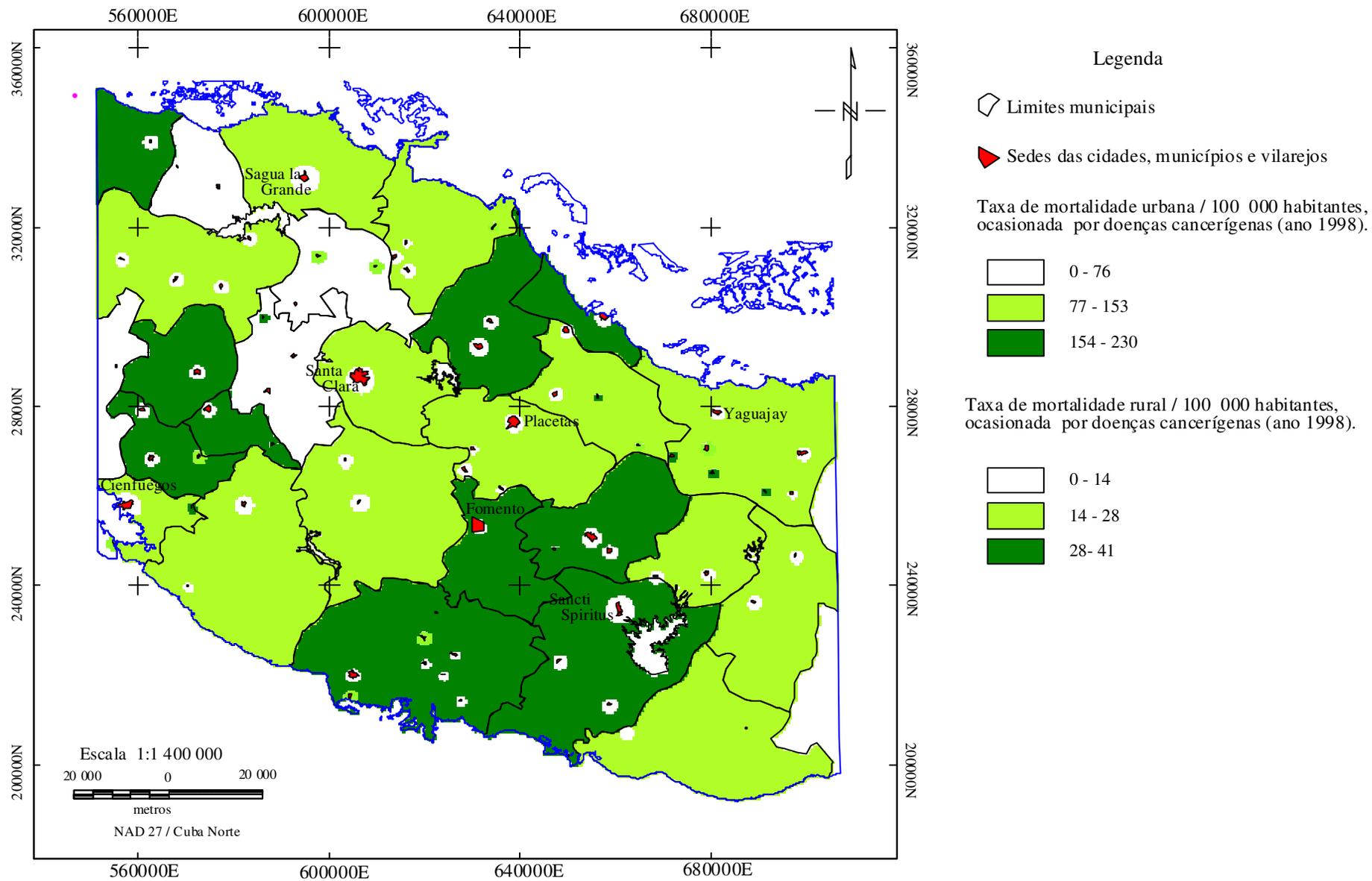


Figura 5.9 Mapa das taxas de mortalidade de doenças cancerígenas, região central de Cuba (casos ano 1998/população)* 100.000 habitantes.

e extensão da Falha La Trocha. Podem-se também incluir neste grupo, pelos níveis intermediários de probabilidade e taxas, os municípios Encrucijada (4), Lajas (16) e Santo Domingo (11), os quais apresentam semelhanças e diferenças nos ambientes geológicos, embora predominem material terrígeno-sedimentar recente. Em Encrucijada, os sedimentos recentes se misturam com os do PMC e das bacias frontais; entretanto, Santo Domingo com mais similaridade que Lajas, incorpora menores contribuições dos sedimentos das bacias frontais que dos intrusivos e ofiolitos no extremo NE. Lajas, que atinge principalmente probabilidades e taxas intermediárias apresenta, como exceção, altos valores nas neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos femininas e um comportamento antagônico às probabilidades de ocorrências do sexo masculino.

Apesar dos municípios Corralillo (1), Sagua la Grande (3), Caibarién (6), Remédios (7), Placetas (8), Santa Clara (9), Palmira (15), Cruces (16), Cumanayagua (18), Cienfuegos (19), Yaguajay (20), Cabaiguán (23), Fomento (24) e Trinidad (25), poderem se classificar nas classes intermediária ou alta das probabilidades e taxas de mortalidade, os ambientes geológicos são bem diferentes e portanto, não podem ser analisados em relação ao meio natural num mesmo grupo.

Em Corralillo, Sagua la Grande, Caibarién e Yaguajay, predominam litotipos da PMC e das bacias frontais, caracterizados por um relevo ondulado, com altitudes que atingem de 20 m no platô litorâneo até 230 m no extremo leste em Yaguajay, faixa que é caracterizada também pelos maiores teores de U-Th e das taxas efetivas de dose. Entretanto, os litotipos dos municípios Remédios (7), Placetas (8), Santa Clara (9), Palmira (15), Cruces (16), Cumanayagua (18), Cienfuegos (19), Cabaiguán (23), Fomento (24) e Trinidad (25), interligam-se muito mais aos ambientes e processos magmáticos, os quais ganham em intensidade na direção sul da região, onde são atingidas as maiores altitudes no setor, que ultrapassam 1000 m no Terreno metamórfico Escambray. Existem elementos neste grupo, como o cinturão de ofiolitos, que exigem um tratamento diferenciado, pois suas rochas misturadas aos intrusivos do AVC e ao material do PMC os evidencia, tanto em relação aos teores radiogeoquímicos quanto às taxas de dose, como analisado nos capítulos precedentes, mas não se consegue distingui-los pelas probabilidades nem pelas taxas de mortalidade. As análises efetuadas sobre as probabilidades e taxas de mortalidade podem ser analisadas de forma análoga através da estimativa dos coeficientes de correlação entre as variáveis taxas de mortalidade e dose efetiva total estimada. Os resultados apresentados na Tabela 5.7 mostram a correlação das variáveis (acima de 50%),

nos municípios Cienfuegos, Jatibonico, Taguasco, Cabaiguán, Fomento Trinidad, Santi Spiritus e La Sierpe, nos quais os litotipos estão compostos por rochas do AVC e sua própria cobertura ou pelas rochas metavulcânicas e metassedimentos do Terreno Escambray, estes últimos localizados nas porções mais elevadas do relevo. Yaguajay liga-se a este grupo nas correlações, principalmente pela altitude do relevo e em segundo lugar, pelos litotipos de natureza continental. Para os municípios restantes, como se pode apreciar da Tabela 5.7, não existe correlação entre as variáveis.

Das Figuras 5.10 e 5.11 visualiza-se para toda a região, a não coincidência espacial direta na distribuição dos valores aumentados e anômalos das taxas de dose efetiva anual estimadas, com as áreas dos *buffers* que representam as sedes urbanas. As estimativas sobre as áreas abrangidas pelos maiores valores de taxas de dose indicaram que estas representam aproximadamente 14 % da área total estimada para a região, equivalente a aproximadamente 2.400 km². Nos *buffers* os diferentes intervalos de densidade de casos registrados nas localidades urbanas foram distribuídas em cinco (5) faixas circulares. As estimativas da abrangência em área das faixas resultaram da reclassificação e análise em ambiente SIG, da informação contida e analisada da Figura 5.4.

Com base no modelo desenhado na pesquisa foi comprovado que as taxas de dose efetiva total anual não conduzem a risco, seja em magnitude seja espacialmente, não sendo possível vinculá-la à distribuição dos casos de doenças registrados nas sedes urbanas. Possivelmente, outros fatores dos quais se tratou na introdução deste capítulo são determinantes na ocorrência da doença, tais como a idade da população cubana e os costumes sócio-culturais ligados ao consumo de bebidas alcoólicas e ao hábito de fumar, os quais devem ser pesquisados como conhecidos causadores de doenças cancerígenas (Wieczorek & Hanson 1998).

A informação dos *buffers* foi incluída na Figura 5.11, onde são apresentados os contornos das principais bacias hidrográficas no contexto geomorfológico mostrado pelo mapa do relevo sombreado da região; a inclusão tem como propósito utilizá-los como célula base nas análises de futuros trabalhos, especialmente daqueles que tendem a vincular outros possíveis contaminantes do meio ambiente aos problemas da saúde da região. Trata-se do estudo dos contaminantes que procedem dos rejeitos das indústrias locais e da própria agricultura ou daqueles elementos metálicos pesados que possam se relacionar à crosta de intemperismo laterítica ou com própria cobertura do AVC. Para estas análises, propõe-se estudos locais que empreguem o mesmo

Tabela 5.7 - Tendências das taxas de mortalidade e das taxas de dose efetiva total anual, Villa Clara, Cienfuegos e Sancti Spiritus.

| município | No. | população_1998 | | | | | total de casos | taxa total de óbitos | casos 1998 | taxa_óbitos 1998 | taxa de dose E_{total} anual | coeficiente correlação |
|-------------------|-----|----------------|-------|-----------|----------|--------|----------------|----------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------------|
| | | urbana | rural | masculino | feminino | total | | | | | | |
| Corralillo | 1 | 7324 | 2934 | 5251 | 5007 | 10258 | 248 | 2.418 | 22 | 214,47 | 512,14 | 0,39 |
| Quemado de Güines | 2 | 14459 | 9440 | 12381 | 11518 | 23899 | 458 | 1.916 | 43 | 179,92 | 499,25 | 0,23 |
| Sagua la Grande | 3 | 54332 | 6647 | 30425 | 30554 | 60979 | 1306 | 2.142 | 99 | 162,35 | 489,17 | 0,22 |
| Encrucijada | 4 | 27663 | 8169 | 18217 | 17615 | 35832 | 657 | 1.834 | 51 | 142,33 | 481,32 | 0,20 |
| Camajuaní | 5 | 35375 | 28713 | 32608 | 31480 | 64088 | 1292 | 2.016 | 117 | 182,56 | 487,55 | 0,21 |
| Caibarien | 6 | 37924 | 2317 | 19733 | 20508 | 40241 | 776 | 1.928 | 72 | 178,92 | 490,36 | 0,21 |
| Remedios | 7 | 37136 | 11921 | 24646 | 24411 | 49057 | 1049 | 2.138 | 94 | 191,61 | 496,10 | 0,19 |
| Placetas | 8 | 57204 | 17087 | 37315 | 36976 | 74291 | 1516 | 2.041 | 119 | 160,18 | 482,28 | 0,12 |
| Santa Clara | 9 | 216690 | 10210 | 110899 | 116001 | 226900 | 4287 | 1.889 | 365 | 160,86 | 479,35 | 0,15 |
| Cifuentes | 10 | 19584 | 16416 | 18530 | 17470 | 36000 | 635 | 1.764 | 38 | 105,56 | 501,11 | 0,18 |
| Santo Domingo | 11 | 39457 | 14519 | 27526 | 26450 | 53976 | 845 | 1.566 | 80 | 148,21 | 491,92 | 0,18 |
| Ranchuelo | 12 | 42511 | 21320 | 32284 | 31547 | 63831 | 527 | 826 | 29 | 45,43 | 482,51 | 0,23 |
| Manicaragua | 13 | 43553 | 34270 | 40766 | 37057 | 77823 | 1186 | 1.524 | 108 | 138,78 | 490,49 | 0,23 |
| Rodas | 14 | 9670 | 5207 | 7691 | 7186 | 14877 | 230 | 1.546 | 21 | 141,16 | 481,91 | 0,33 |
| Palmira | 15 | 25322 | 7909 | 16997 | 16234 | 33231 | 566 | 1.703 | 63 | 189,58 | 478,03 | 0,31 |
| Lajas | 16 | 16486 | 7065 | 12022 | 11529 | 23551 | 416 | 1.766 | 30 | 127,38 | 479,82 | 0,28 |
| Cruces | 17 | 23307 | 9753 | 16817 | 16243 | 33060 | 692 | 2.093 | 47 | 142,17 | 478,87 | 0,27 |
| Cumanayagua | 18 | 32377 | 18610 | 26422 | 24565 | 50987 | 908 | 1.781 | 71 | 139,25 | 500,91 | 0,42 |
| Cienfuegos | 19 | 151890 | 6494 | 78020 | 80364 | 158384 | 2717 | 1.715 | 211 | 133,22 | 479,09 | 0,65 |
| Yaguajay | 20 | 36900 | 24173 | 31493 | 29580 | 61073 | 1235 | 2.022 | 96 | 157,19 | 485,01 | 0,65 |
| Jatibonico | 21 | 24012 | 18843 | 22139 | 20716 | 42855 | 683 | 1.594 | 49 | 114,34 | 481,54 | 0,69 |
| Taguasco | 22 | 21509 | 15189 | 18978 | 17720 | 36698 | 728 | 1.984 | 49 | 133,52 | 483,34 | 0,66 |
| Cabaiguán | 23 | 46010 | 21297 | 33983 | 33324 | 67307 | 1361 | 2.022 | 125 | 185,72 | 486,16 | 0,76 |
| Fomento | 24 | 21077 | 15119 | 18499 | 17697 | 36196 | 751 | 2.075 | 61 | 168,53 | 491,46 | 0,84 |
| Trinidad | 25 | 50731 | 21494 | 36885 | 35340 | 72225 | 1285 | 1.779 | 130 | 179,99 | 493,07 | 0,80 |
| Sancti Spiritus | 26 | 108331 | 18328 | 63191 | 63468 | 126659 | 2381 | 1.880 | 168 | 132,64 | 485,49 | 1,00 |
| La Sierpe | 27 | 9596 | 8015 | 9181 | 8430 | 17611 | 218 | 1.238 | 18 | 102,21 | 477,02 | 1,00 |

“Modelo de Objetos”, mas utilizando as bacias hidrográficas como célula básica de coleta e análise, direcionados a avaliação dos prováveis reflexos de doenças incluídas nos códigos CID - 10 ou de muitas outras ligadas aos danos que foram provocados ao meio ambiente.

Outra possível linha de pesquisa deverá ser relativa aos estudos sócio-culturais, tais como o hábito de fumar e o consumo das bebidas alcoólicas. Estas vias possivelmente conduzam a correlações positivas em relação às doenças cancerígenas que afetam as diferentes localidades do país e, em particular, na região central, que possui um apreciável desenvolvimento industrial, incluindo a indústria de tabaco, embora predominem as atividades agropecuárias. Ambas as atividades incidem de forma direta na qualidade das águas, não preservando o meio natural.

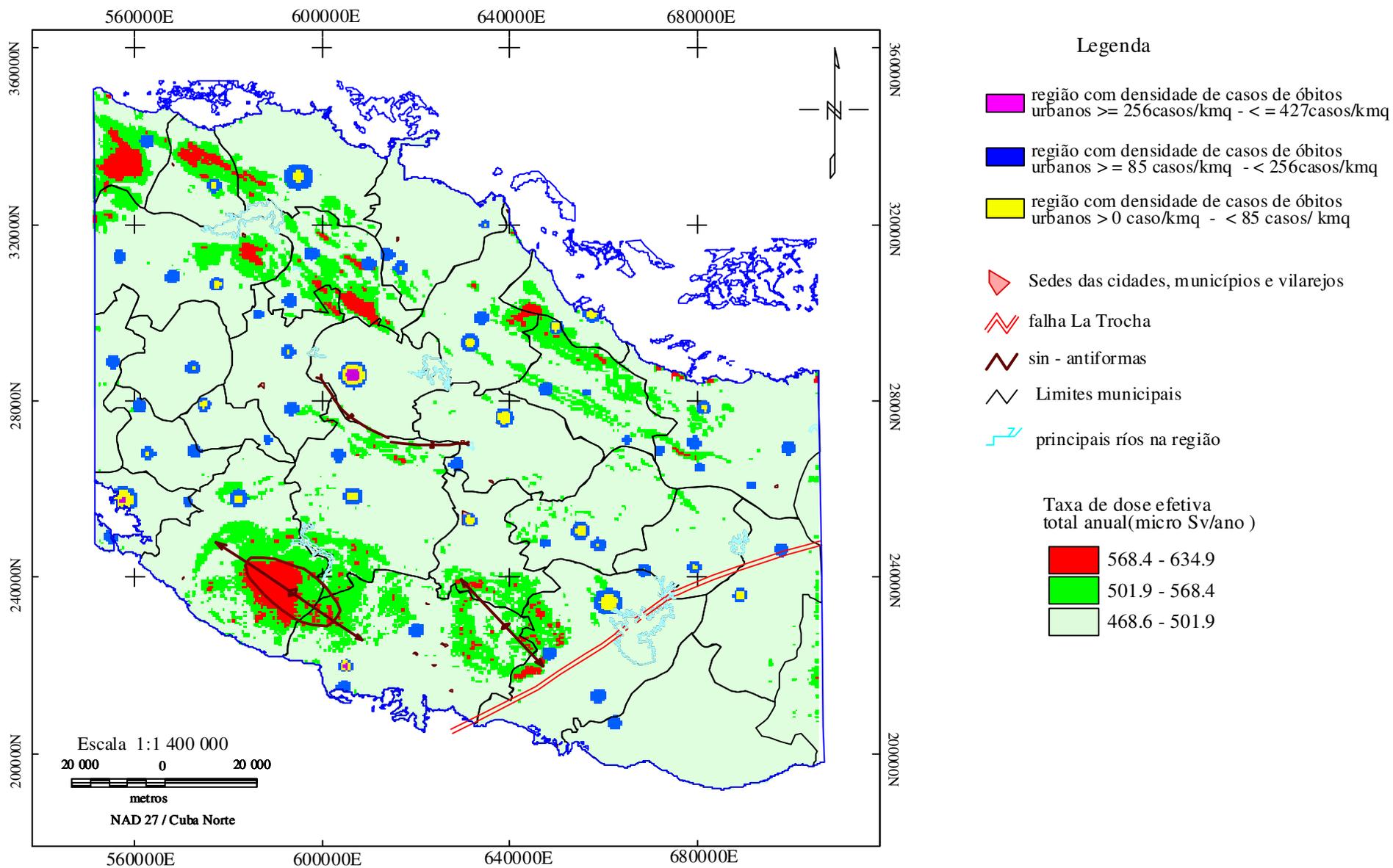


Figura 5.10 Mapa da taxa de dose efetiva total anual (micro Sv/ ano) com destaque de setores anômalo em relação a distribuição das densidades de casos de óbitos registrados em núcleos urbanos da região central de Cuba.

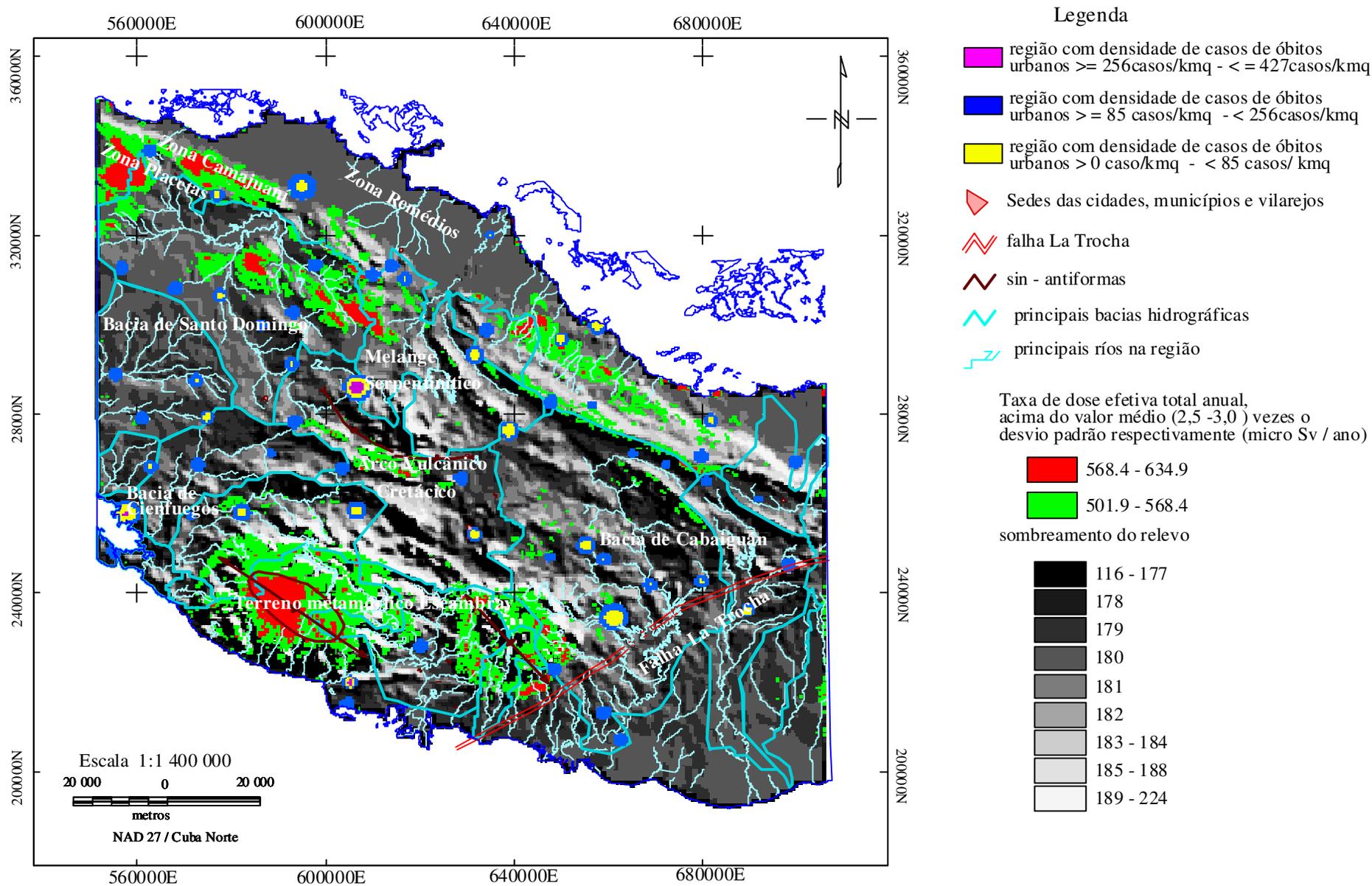


Figura 5.11 Mapa do relevo (sombreamento 45°) com destaque dos setores anômalo da taxa de dose efetiva total anual (micro Sv/ ano) e a distribuição das densidades de casos de óbitos registrados em núcleos urbanos inseridos na paisagem fisiográfica da região central de Cuba.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

PROCESSAMENTO E RESULTADOS DA GEOFÍSICA

Aerogamaespectrometria

❖ Os resultados comprovaram as previsões efetuadas para o método, permitindo caracterizar qualitativa e quantitativamente, através de sutis mudanças das grandezas dos teores dos radioelementos urânio, tório e potássio, os vários ambientes geológicos na escala 1:100.000. Distinguem-se as rochas do neo-autóctone, das sedimentares continentais, das vulcano-terrígenas, das plutônicas do arco vulcânico e das metamórficas do Terreno Escambray.

❖ A análise pelas componentes principais constatou a correlação entre os teores dos radioelementos urânio e tório, U - Th.

❖ As estatísticas dos valores médios dos teores dos radioelementos U - Th nos municípios, mostraram que Th predomina sobre o U e existe anticorrelação com os teores do radioisótopo potássio ^{40}K para os municípios Corralillo, Quemado de Güines, Cifuentes, Remédios, Santo Domingo, Caibarién, Camajuaní e Sagua la Grande; nestes, prevalecem os sedimentos do neo-autóctone, das rochas continentais das zonas da paleomargem continental e dos sedimentos das bacias frontais; esses municípios são caracterizados pela maior contribuição de elementos radioativos na região.

❖ As estatísticas também mostraram que, embora em menor grau, prevaleceu o Th na correlação Th - U, relacionado às vezes, com o desenvolvimento de crostas de composição máfica sobre seqüências cenozóicas do neo-autóctone nos municípios já citados e em Trinidad, Cumanayagua, Rodas, Yaguajay e Fomento. Na direção sul, destaca-se gradativamente a presença do potássio, proveniente dos distintos produtos do magmatismo plutônico e vulcânico e da deposição de suas alterações, originando a cobertura do AVC. Em Trinidad e Cumanayagua, a presença dos três elementos destaca os limites das duas cúpulas meridionais que compõem o Terreno metamórfico Escambray; entretanto, em seus núcleos, prevalece o urânio e o tório, mapeando as rochas metassedimentares e outros litotipos, além das inclusões de ofiolitos e fragmentos de intrusivos. No extremo N - NW de Cumanayagua, tem maior destaque os processos magmáticos, melhor mapeados pelo canal magnético, processo que atinge neste contexto, principalmente, os municípios Rodas, Palmira Cienfuegos, Cruces e Lajas, nos quais

predomina a correlação U - K. Nestes últimos, e particularmente em Rodas, apresentam-se quase na mesma proporção, na superfície, os sedimentos das bacias superpostas ao Arco Vulcânico Cretácico (AVC) e as rochas da cobertura Cenozóica misturadas aos litotipos deste. Em Fomentos, praticamente 80% da área é composta pelos produtos do magma e o restante, pelos anfíbolitos e rochas metassedimentares. Yaguajay é exceção neste grupo, predominando os sedimentos do neo-autóctone, das rochas continentais das zonas da paleomargem continental e os sedimentos das bacias frontais, embora inclua grandes corpos intrusivos do AVC e gabros da associação ofiolítica.

❖ Em ordem decrescente ao valor da correlação U - K, destacam-se Santa Clara, Palmira, Jatibonico, Cienfuegos, Cabaiguán, Ranchuelos Taguasco, Cruces, Placetas, Sancti Spiritus Manicaragua e Fomento. Nos municípios de Santa Clara, Jatibonico, Cabaiguán, Placetas, Sancti Spiritus e Manicaragua, nos quais estão em contato as rochas do AVC e da associação ofiolítica, originam-se situações diversas para o mapeamento, como incrementos locais de urânio e melhor mapeamento superficial pela espectrometria de raios gama ao invés do campo magnético, da largura da faixa de ofiolitos em toda sua extensão.

❖ Dos litotipos do Jurássico Superior - Cretáceo que compõem as formações da Paleomargem Continental (PMC), a Formação Palenque destaca-se com teores médios dos radioelementos U e Th levemente superiores, mapeando os espessos sedimentos compostos de calcários micríticos e bio-micríticos, às vezes com argila e areia, biogênicos e detríticos, ou maciços, ocasionalmente dolomitizados, com brechas de calcário da Zona Remédios. Com predomínio de urânio, tório e potássio, mapeia-se a Formação Paraíso da Zona Camajuaní; na Zona Placetas, destaca-se a Formação Veloz no contexto do olistostroma Vega Alta. Do AVC destacam-se pelos teores médios de K, a Formação Bruja, pela alcalinidade de suas rochas intermediárias - ácidas e as formações e intrusivos que representam a composição do AVC e a sua cobertura. Os anfíbolitos em contato ou em imbricações com os plagiogranitos mapeiam-se pelos teores de Th e como já citado, a associação ofiolítica pelos baixos teores médios de U, Th e K, apesar da mistura de seus componentes máficos ferro - magnesianos com produtos do magmatismo do AVC.

Aeromagnetometria

❖ O espectro de potência permitiu estimar para a distribuição das fontes magnéticas anômalas da seção, ao menos duas profundidades, classificando-as como supracrustais quando

afloram ou quando o teto situa-se por volta de 2 km e como intracrustais quando ultrapassam 2 km de profundidade.

- ❖ Os complexos rochosos da PMC apresentam um campo magnético com intensidades variáveis e sinais negativos, próprios das seqüências terrígeno - carbonáticas continentais.

- ❖ A mistura da composição das rochas do melange ofiolítico com as rochas do AVC, a dimensão destes corpos fortemente desmembrados pela tectônica e a provável perda de propriedades magnéticas no processo, impede uma melhor definição destas rochas pelo campo magnético, o qual é melhor expresso nos mapas de espectrometria de raios gama.

- ❖ Um campo de sinal alternante relaciona-se com as seqüências vulcano - sedimentares e plutônicas, mas com predomínio de valores positivos da susceptibilidade magnética.

- ❖ O mapeamento pela magnetometria dos principais sistemas tectônicos permite destacar as direções NW-SE (Cubana), N-S (Banao) e SW - NE, sendo que desta última, a mais representativa na área é a falha La Trocha; a direção sub-horizontal cubana é representada pelas zonas de sutura e pela maior parte dos contactos tectônicos do setor.

ESTIMATIVA DAS TAXAS DE DOSES DE RADIAÇÃO GAMA

- ❖ As contribuições da radiação cósmica (fotônicas e neutrônicas) à taxa de dose efetiva anual para a região foram estimadas com o objetivo de elaborar um mapa na escala 1:1.100.000, representando pela primeira vez, de forma cartográfica, a incidência sobre os grupos populacionais.

- ❖ Para a reclassificação das populações da região e das estatísticas médicas sobre neoplasias malignas do tipo tumores sólidos em relação às doses efetivas estimadas, estimaram-se as técnicas de interpolação pelo inverso da distância ponderada (IDW), Spline, operações de vizinhança e zonais, além da técnica Buffer. A técnica Buffer comprovou ser a mais apropriada para elaborar o “Modelo de Objetos” para representar estes atributos com características topológicas pontuais, em ambiente SIG.

- ❖ O “Modelo de Objetos” possibilitou a análise cruzada das diversas variáveis estatísticas independentes, tanto as epidemiológicas e as censitárias, quanto àquelas relacionadas ao meio ambiente, tais como os atributos geólogo-geofísico e as taxas de dose efetiva estimadas para a região.

❖ Através do modelo digital do terreno, MDE, e do “Modelo de objetos”, classificaram-se e analisaram-se as populações rurais e urbanas, segundo diferentes intervalos de altitude e sedes municipais, dados que aliados às taxas de dose efetiva anual $E_{c\acute{o}smica}$, permitiram estimar que a população rural representa somente 24% do total, 1.591.889 habitantes; destes, 32.858 pessoas, 9 % do total rural, habitam em cotas superiores a 240 m, as quais são submetidas à dose efetiva de natureza cósmica de $323 \mu\text{Sv a}^{-1}$, valor que ultrapassa levemente a média ponderada anual estimada para a região central de Cuba, $321 \mu\text{Sv a}^{-1}$, mas situa-se abaixo do valor mundial, $380 \mu\text{Sv a}^{-1}$.

❖ Foi estimado também, que as localidades urbanas abrangem, aproximadamente, uma área de 554 km^2 , equivalente a 3,3 % do total da área de estudos, onde a maior parte dos casos de óbitos são registrados; a população rural distribui-se numa área aproximada de 15.702 km^2 no modelo.

❖ Obteve-se pela primeira vez, para a região central de Cuba, o mapa de taxa de dose efetiva anual que permitiu associar estruturas e litotipos às concentrações de atividade e às taxas de dose absorvida. O valor médio de $22,0 \text{ nGy.h}^{-1}$ (nível de *background*), que não representa um fator de risco para a população, pode ser incluído no intervalo típico de variabilidade da taxa de dose absorvida no ar, mundialmente, $10 \text{ nGy.h}^{-1} - 200 \text{ nGy.h}^{-1}$.

❖ A distribuição espacial da taxa de dose efetiva anual expressa em $\mu\text{Sv.ano}^{-1}$, foi comparada às taxas obtidas por outros autores em outras regiões do planeta, sendo observada a consistência dos resultados para litotipos semelhantes.

❖ Da comparação entre as duas componentes, *indoor* e *outdoor*, resultou um valor de 1,3, que condiz com o intervalo 0,8 - 2,0, referenciado na literatura internacional.

❖ Apesar das duas componentes não representarem um fator de risco para a população, é importante o conhecimento da distribuição espacial destas fontes e de outras múltiplas causas, para avaliar a linha base ambiental da região, a qual possui o segundo lugar no país em número de casos de óbitos por doenças cancerígenas, com base nos Indicadores Básicos 1996 - 2000 e nas estatísticas registradas ao longo de 13 anos.

❖ A conversão dos baixos níveis de doses absorvida em Kerma no ar foi inconsistente.

MEIO AMBIENTE E SAÚDE

❖ A presente pesquisa, focalizada nas radiações, através das análises zonais das variáveis independentes, deu um primeiro e modesto passo para a República de Cuba acompanhar seus atuais avanços epidemiológicos, através de representações cartográficas e modelos.

❖ A potencialidade das radiações ionizantes, ainda que de baixas doses, de gerar danos ao DNA, relacionados aos processos de carcinogênese e a posição controversa dos pesquisadores, baseados principalmente sobre organismos inferiores, reforçam a abordagem da hipótese da pesquisa: “a radiogeoquímica de ambientes geológicos pode gerar taxas de doses de radiação gama correlacionáveis aos resultados estatísticos obtidos para populações”. O padrão igualitário da população, sem diferenças sócio-econômicas marcantes e a disponibilidade de estatísticas médicas condizentes com as localidades das incidências são fatores favoráveis à pesquisa. Entretanto, as componentes demográficas representadas pela fecundidade, pela mortalidade e pela migração condicionaram regional e nacionalmente, um padrão próprio de países desenvolvidos caracterizado pela baixa natalidade e pelo rápido envelhecimento da população. Estas variáveis, associadas aos hábitos sócio-culturais relacionados ao tabagismo e a ingestão de bebidas alcoólicas, tendem a invalidar a hipótese, já que entre outros, sempre serão fatores a confundir os diagnósticos.

❖ As cartografias da densidade populacional e dos casos de óbitos serviram para caracterizar, quantitativa e qualitativamente, pela primeira vez para a região, a distribuição espacial destas variáveis utilizando o “Modelo de Objetos”. Este modelo serve de linha base ao conhecimento local e regional para as datas de referência, 1988-2000, permitindo, além disso, sua sistemática atualização e extensão a outras regiões do país, nunca antes representadas.

❖ A distribuição espacial, na região central de Cuba, das taxas de mortalidade estimadas é semelhante à apresentada pela Probabilidade de Poisson, tanto para o total de casos registrados, quanto para os casos de neoplasias malignas do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos, C30-C39, códigos com maior peso nas probabilidades marginais e nos registros internacionais.

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano D. 1986. *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. Springer - Verlag, New York, 533 p.
- Anderson M. 1989. Trends in morbidity and mortality from asthma. *Population Trends*, **49**: 18 - 23.
- Anderson H. E. & Nash C. 1997. Integrated Lithostructural Mapping of the Rossing Area, Namibia, using high resolution aeromagnetic, radiometric, Landsat data and aerial photographs. *Exploration Geophysics*, **28**: 185 - 191.
- Anjo R. M., Okuno E., Gomes P. R. S., Veiga R., Estellita L., Mangia L., Uzeda D., Soares T., Facure A., Brage J. A. P., Mosquera B., Carvalho C., Santos A. M. A. 2004. Radioecology teaching: evaluation of the background radiation levels from areas with high concentrations of radionuclides in soil. *European Journal Physics*, **25**: 133 - 144.
- Arcial F., Millán E., Rodríguez S., Bueno I. 1994. Informe del levantamiento geológico 1:50 000 de la parte norte de Villa Clara (Esperanza - Santo Domingo) ONRM. Ciudad de La Habana (*Relatório técnico - econômico*), 157p.
- Avela H. 1987. Environmental Gamma Radiation Measurements in Finland and the influence of Meteorological Conditions after Chernobyl Accident in 1986. STUK - A65. (Suppl **10**) *Annual Report*, Helsinki, 40 p.
- Baeza A. 1994. Natural Radionuclide Distribution in Soils of Cáceres (Spain): dosimetry implications. *Journal Environmental Radioactivity*, **23**: 19 - 37.
- Baranov V. & Naudy H. 1964. Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, **29**: 517 - 531.
- Bastos R.O. & Pascholati E.M. 2001. Environmental Gamma Radiation Dose in Municipalities, Eastern São Paulo State, Brazil. In: *SBGF, International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 7, Salvador, Resumos Expandidos*, 236 - 239.
- Beck H.L., Condon W.M. & Lowder W. M. 1964. *Spectrometric techniques for measuring environmental gamma radiation*, USAEC Report HASL , 150 p.
- Beck H. L. & Planque G. 1968. *The radiation field in air due to distributed gamma - ray sources in ground*. USAEC Report HASL - 195 p.
- Belmustakov E., Dimitiva E., Ganev M., Haydutov I., Kostadinov I., Ianev S., Ianeva J.,

- Kojumdjieva E., Popov N., Shopov V., Tcholakov P., Tchounev D., Cabrera R., Díaz D., Iturrealde - Vinent M., Roque F. 1981. Geología del territorio Ciego - Camagüey - Las Tunas. Resultado de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1: 250. 000. Instituto de Geología y Paleontología y Centro Nacional fondo Geológico, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La habana (inédito), p:1 - 148.
- Bernardinelli L., Clayton D., G., Montomoli C. 1995a. Bayesian Estimates of Disease Maps: How Important is Priors? *Statistics in Medicine*, **14**: 2411 - 2431.
- Bernardinelli L., Clayton D. G., Pascutto C., Montomoli C., Ghislandi M., Songini M. 1995b. Bayesian Analysis of Space - Time Variation in Disease Risk. *Statistics in Medicine*, **14**: 2433 - 2443.
- Bertolo A. & Verdi L. 2001. Validation of a Geographic Information System for the evaluation of the soil radon exhalation potential in South - Tyrol and Veneto (Italy). *Radiation Protection Dosimetry*, **97** (4): 321 - 324.
- Berry B.J. 1964. Approaches to regional analysis: a synthesis. *Annals of the Association of American Geographers*, **54**: 2 - 11.
- Berry J.K. 1993. *Beyond Mapping: concepts, algorithms and issues in GIS*. Fort Collins, GIS World, 246 p.
- Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VI Report: "*The Health Effects of Exposure to Indoor Radon*" <http://www.epa.gov/radon/beirvi.html>.
- Bishop D., Katsumi F., Lawrence G., Munroe G. 2004. *Compendium of uranium and depleted uranium research 1942 to 2004*. Project in process, commissioned by International Depleted Uranium Study Team (IDUST) and International Coalition to Ban Uranium Weapons (ICBUW).
- Bithel J. F. 1995. The Choice of Test for Detecting Raised Disease Risk Near a point Source. *Statistics in Medicine*, **14**: 2309 - 2322.
- Blakely R. J. 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic applications*. Cambridge University Press, 441 p.
- Bouville A. & Lowder W.M. 1988. Human population exposure to cosmic radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, **24**: 293 - 299.
- Bracken I. 1994. A surface model approach to the representation of population - related social indicators. In: Fortheringham A.S., Rogerson, P. *Spatial Analysis and GIS*. Taylor &

- Francis: 15-37.
- Breslow E. N. & Day N. E. 1980. *Statistical Methods in Cancer Research*. Lyon, International Agency for research on cancer:178 p.
- Breslow E. N. & Gianola, M. 2000. Statistics in the Life and Medical Sciences. *Journal of the American Statistical Association*, **95i** (449): 281 p.
- Brislow Q. 1979. Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration - airborne instrumentation. In: *Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores*, P. J. Hood. (ed), Economic Geology Report. 31, Geological Survey of Canada: 135 - 146.
- Bronnimann P. & Pardo G. 1954. Annotations to the correlation chart and catalogue of formations Las Villas province. Centro Nacional Fondo Geológico(CNFG), Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana (inédito):11 p.
- Bulbulian S. 1996. *La Radioactividad*. 5ª. Edição, D.R. FCE, México:139p
- Burrough P.A. 1992. Are GIS data structures too simple minded? *Computers and Geosciences*, **18** (4): 395 - 400.
- Burrough P.A. & Frank A. U. 1995. Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information system truly generic? *International Journal of Geographical Information system*, **9** (2): 101 - 116.
- Celebi N. & Alkan H. 1997. Evaluation of Natural radiation in the Kestanbol SPA Region. In: *Radiation Protection Dosimetry*, **69** (3): 227 - 230.
- Centeno J.A., Mullick F.G., Ejnik J. W. 2003. Medical Geology: An Emerging Discipline in Support of Environmental and Military Medicine, *Natural Science and Public Health: Prescription for a Better Environment*, US. *Geological survey, U.S. Department of the Interior. Open - file Report 03 - 097*.
- Chou D. P., Wang J. N., Chen I. J. 2001. Age - Dependent Protection Quantities for External Photon Irradiation. *Radiation Protection Dosimetry*, **95** (3): 2153 - 223.
- Classificação Internacional de Doenças (CID-10), 2000. *Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde*. 10ª. Edição, **1**, OPAS e OMS, 1 -1191.
- Clayton D. & Kalder J. 1987. Empirical Bayes Estimates of Age - standardized Relative Risks for Use in Disease Mapping. *Biometrics*, **43**: 671- 681.
- Conferencia Internacional sobre la población y el Desarrollo(CIPD) 1994. Cuba Informe sobre la evolución de su población y la interrelación con el desarrollo. El Cairo, Egipto:6 p.

- Coffey W.J. 1981. *Geography: towards a general spatial systems approach*. Methuen, London, 270 p.
- Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIRV), National Academy Press, Washington, DC (1990).
- Conti C. C., Bertelli L., Lopes R. T. 1999. Age - Dependent Dose in Organs per Unit Kerma Free- in - Air: Conversion Coefficients for Environmental Exposure, *Radiation Protection Dosimetry*, 86 (1): 39 - 44.
- Crósta A. P. 1992. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Instituto de Geociências, UNICAMP, 170 p.
- Darnley A. G. 1971. Airborne gamma ray spectroscopy. *Canadian Institute Mineralogy Bulletin*, 63 (694): 145 - 154.
- Darnley A. G., Cameron, E. W., Richardson, K. A. 1975. The federal - provincial uranium reconnaissance program. In: *Uranium exploration ' 75*, Geol. Surv. Canada paper 75 (26): 49-63.
- Darnley A. G. & Ford K. L. 1989. Regional airborne gamma - ray survey: a review. In: *Proceedings of Exploration ' 87*, G. D. Garland (ed), *Ontario Survey Special 3*, Paper 21: 229 - 240.
- Davis J.C. 1973. *Statistics and data analysis in geology*. 1^a ed. New York, John Wiley & Sons, 550 p.
- Dennis J. A. 1997. Editorial Trouble for Radiation Effects Research Foundation (RERF): some Early History. *Radiation Protection Dosimetry*, 69 (1): 3-5.
- Devesa S.S., Grauman D. G., Blot W. J., Pennello G. B., Hoover, R. N. 1999. *Atlas of Cancer Mortality in the United States: 1950 - 1994*. Washington, DC: US Gov, Pub (NIH), 99 - 4564.
- Díaz de Villalvilla L., Pérez M., Sukar K., Marí T., Méndez I., Rodríguez R., Piñeiro E., Quintana M. E., Aguirre G., Echevarria B., Milian I. 1995. Consideraciones geoquímicas acerca de los arcos volcánicos de Cuba. Resúmenes del Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería: 173 - 174.
- Díaz O. C., Furrázola B. G., Iturralde - Vinent M. A. 1997. Estratigrafía de la zona Remedios. In: *Estudios sobre la Geología de Cuba, Ciudad de la Habana*, Furrázola B. G. (ed.),

- CNDIG, p:221 - 242.
- Dickson B. L. & Scott K. M. 1997. Interpretation of Aerial Gamma Ray Surveys - Adding the Geochemical Factors. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17** (2): 187 - 200.
- Diggle P.J. 1983. *Statistical analysis of spatial point patterns*. Academic Press, London **27**:131 - 18.
- Diggle P.J. 1985. A kernel method for smoothing point process data. *Applied Statistics*, **34**: 138 - 47.
- Diggle P.J. 1990. A point process modeling approach to raised incidence of a rare phenomenon in the vicinity of a pre - specified point. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, **153**: 349 - 362.
- Di zhou 1985. Adjustment of Geochemical Background by Robust Multivariate Statistic. *Journal of Geochemical exploration*, **24**: 207 - 222.
- Doyle H. A. 1990. Geophysical exploration for gold. A review. *Geophysics*, **55**: 134 - 146.
- Drury S. A. 1993. *Image Interpretation in Geology*. London, Allen & Urwin, 243 p.
- Dublan L., Alvarez Sánchez H., Melcock B., Molak B., Vázquez C., de Los Santos E., Soucek J., Pérez M., Mihailova A., Bernal L., Zoubek J., Ordoñez M., Lavandero R., Lledíaz P., Morousek J., Svetska J., Mañour J., Marshall W., Pérez Conde R., González E., Rodríguez R. 1986. Informe de los resultados del Levantamiento Geológico a escala 1:50.000 (Zona centro). ONRM. Ciudad de La Habana (*Relatório técnico - econômico*) 267 p.
- Ducloz C. H. 1989. Transcurrent faulting: a major tectonic feature of north - central Cuba. Resúmenes del Primer congreso Cubano de Geología. Ciudad de La Habana: 102 - 103.
- Duval J. S. 1977. High sensitivity gamma - ray spectrometry - state of the art and trial application of factor analysis. *Geophysics*, **42** (3): 549 - 559.
- Duval J. S. 1982. Composite color images of aerial gamma - ray spectrometric data. *Geophysics*, **48** (6): 722 - 735.
- Erviti, B. 1989. Urbanización y asentamientos humanos em Cuba. Serie Monográfica, CEDEM, 23, La Habana, **43**: 1 - 43
- Ferreira M. C. 2003. Análise especial e modelagem cartográfica de epidemias de dengue: proposta de método. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Tese de Livre - Docência.

- Fink R. R. 1994. The primary photon field from sources in the ground. In: *Radioecology: Lectures in environmental radioactivity*. Ed. E. Holm. World Scientific: 87 - 124.
- Florek M., Massarik J., Szarka I. 1996. Natural neutron fluency rate and the equivalent dose in localities with different elevation and latitude. *Radiation Protection Dosimetry*, **67(3)**: 187- 192.
- Friedman G. D., 1990. *Primer of Epidemiology*. 3a.edição, Mc Graw-Hill Book Company, 305 p.
- Galbraith J. H. & Saunders D. F. 1983. Rocks Clasification by Characteristics of Aerial Gamma - ray Measurement. *Journal of Geochemical Exploration*, **18**: 49 - 73.
- García D. E., Delgado R., Millán. G., Díaz de Villalvilla L., Sukar K., Bernal L., Rojas Y. Pérez C., Díaz C., Furrázola G., García I., Delgado I., Pardo M., Suarez V., Duani E. 2000. Generalización del Mapa Geológico de Cuba Central (provincias Cienfuegos, Villa Clara e Sancti Spiritus) *escala 1: 100 000.e Texto adjunto* IGP. MINBAS, Ciudad de La Habana 267 p.
- Garret R. 1983. Sampling Methodology. In: *Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting*, Howarth, R. (ed.). Amsterdam, Elsevier Scientific, 83 - 110.
- Gatrell A. C., Bailey T.C., Diggle P. J., Rowlingson B. S. 1996. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Trans. Inst. Br. Geogr. NS* **21**: 256 - 274.
- González Clemente E. 1982 La configuración de la red fluvial, en el análisis geológico-geomorfológico. *Serie Geografía CIG*, **1**, 53 p.
- Goodchild, M.F. 1986. *Spatial autocorrelation*. Catmog 47, Geo Books, Norwich.
- Govet G. 1983. Rock Geochemistry in Mineral Exploration. In: *Handbook of Exploration Geochemistry*, **3**, Amsterdam, Elsevier, 461 p.
- Grant F. S. 1985. Aeromagnetism, geology and ore environment. *Geoexploration*, **23**: 303 - 333.
- Grasty R. L. 1979. Gamma-ray spectrometric methods uranium exploration - theory and operations procedures. In: *Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores*. P. J. Hood, (ed), Economic Geology Report. 31, Geological Survey of Canada, 147 p.
- Grasty R. L., Carson J. M., Charbonneau B. W., Holman P. B. 1984. Natural background radiation in Canada. *Geological Survey of Canada, Bulletin 360*. Ottawa, 39 p.
- Gunn P.J. 1997. Application of aeromagnetic surveys to sedimentary basin studies. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17** (2): 133 - 144.
- Haining R. J. 1995. Designing spatial data analysis modules for geographical information

- systems. In: *S. Fotheringham & P. Rogerson (eds) Spatial Analysis and GIS*, London, Taylor & Francis, 45 - 63.
- Haining R. J. & Wise S. 1996. Design of software system for interactive spatial statistical analysis linked to a GIS. *Computational Statistics*, **11**: 449 - 466.
- Hall J. E. 2003. The Bystander Effect. *Health Physics*, **85** (1): 31 - 35.
- Handcock M. S. & Wallis J. R. 1994. An Approach to Statistical Spatial - Temporal Modeling of Meteorological Fields. *JASA*, **84** (426): 368 - 378.
- Hatten C. W. 1958. Geology of Central Cuba (Eastern Las Villas and Western Camagüey Provinces). ONRM, Ciudad de La Habana (*Relatório técnico - econômico*) 28 p.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, **56**: 275 - 370.
- Howarth R. & Thornton I. 1983. Regional Geochemical Mapping and its Application to Environmental Studies. In: *Applied Environmental Geochemistry*, Thornton, I. (eds). London, Academic Press, 41 - 73.
- Hsu H. P. 1984. *Applied Fourier Analysis* (College outline series). Harcourt brace college Publishers, San Diego, 223 p.
- Hsu S. K., Sibuet J. C., Shyu, C. T. 1996. High - resolution detection of geological boundaries from potential - field anomalies: an enhanced analytical signal technique. *Geophysics*, **61**: 373 - 386.
- Hutchinson M. F. & Gessle P. E. 1994. *Splines - more than just a smooth interpolator?*. *Geoderma*, **62**: 45 - 67.
- International Conference On Non-Ionizing Radiation - ICNIR - 2003 Proceedings of the International Conference on Non - Ionizing Radiation at UNITEN. Electromagnetic Fields and Our Health. 20th. 22nd. October 2003.
- International Atomic Energy Agency - IAEA 1989. Construction and Use of Calibration Facilities for Radiometric Field Equipment. *Technical Reports Series 309*, Vienna, 86 p.
- International Atomic Energy Agency - IAEA 1996. Radiological Security *Technical Reports Series 96* - 00728, Vienna, 18 p.
- International Atomic Energy Agency, Assessment and Treatment of External and Internal Radionuclide Contamination, IAEA - TECDOC - 869, IAEA 1996, Vienna, 55 p.

International Atomic Energy Agency, Planning the Medical Response to Radiological Accidents, *Safety Reports Series 4*, IAEA 1998, Vienna, 89 p.

International Atomic Energy Agency, Assessment and Treatment of External and Internal Radionuclide Contamination, IAEA - TECDOC - 1300, IAEA 2002, Vienna, 103 p

International Atomic Energy Agency - IAEA 2004. Workplace Monitoring for Radiation and Contamination, IAEA - PRTM - 1; 2 (Rev. 1), Vienna, 67 p.

International Commission on Radiation Units and Measurements - ICRU 1980a. *Quantities and units in radiation protection dosimetry*. Report **25**, un - numbered pages.

International Commission on Radiation Units and Measurements - ICRU 1980b. *Radiation Quantities and Units*, Report **33**. Bethesda MD, un - numbered pages.

International Commission on Radiation Units and Measurements- ICRU 1992. *Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations*, ICRU Report **47**. Bethesda MD un - numbered pages.

International Commission on Radiation Units and Measurements - ICRU 1993 *Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles*. Report 49 (Bethesda, MD: ICRU), un - numbered pages.

International Commission on Radiological Protection - ICRP 1980. *Statement and Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Annals of the ICRP4 (**3/4**), 5 un - numbered pages.

International Commission on Radiological Protection - ICRP 1984. *No Stochastic Effects of Ionizing Radiation*, Publication, 41, Pergamon Press, Oxford, un - numbered pages.

International Commission on Radiological Protection - ICRP 1990. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Publication 60. Annals of the ICRP 21 (1 - 3). Pergamon Press, Oxford.

International Commission on Radiological Protection - ICRP 2003c. *Relative Biological effectiveness (RBE), Quality Factor (Q), and radiation weighting factor (w_R)*. Publication 92. *Annals of the ICRP*, **33** (4).

International Commission on Radiological Protection - ICRP 2005. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. for consultation* 81 p.

Iturralde - Vinent M. 1994: Cuban Geology: a new plate-tectonic synthesis. *Journal Petroleum Geology*, **17** (1): 39 - 70.

- Iturralde - Vinent M. 1996a: Geological Interpretation of the Cuban K - Ar database. In: "Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba" Proyecto 364. IV 65/ UNESCO, p. 48 - 69 Miami USA.
- Iturralde - Vinent M. 1996b: Introduction to Cuban geology and tectonics. In: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Proj. 364 IUGS/UNESCO, Miami. USA, 3 - 35.
- Jagger J. 1998. Natural background radiation and cancer death in Rocky Mountain states and Gulf Coast states. *Health Physics*, **75** (4): 428-430 (E).
- Jaques A. L., Wellman P., Whitaker A., Wyborn D. 1997. High - resolution in modern geological mapping. In: *Airborne magnetic and radiometric surveys, AGSO. Journal of Australian Geology and Geophysics*, 172: 159 - 173.
- Kantchev I. L., Boyanov A., Iolkisev N., Popov M., Cabrera R., Kanazirski M., Stancheva M. 1978. Informe geológico de la provincia de Las Villas. Resultado de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1:250 000 durante el período 1969 - 1978. ONRM. Ciudad de La Habana (*Relatório técnico - econômico*) 237p.
- Killeen P. G. 1979. Gamma - ray spectrometric methods - application and interpretation. In: *Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores*. P. J. Hood, (ed), Econ. Geol. Report. 31, Geological Survey of Canada: 163 - 229.
- King C. Y. 1978. Radon emanation on San Andreas fault. In: *Nature*, **271**: 516 - 19.
- Klement W. A. 1992. Estimation of dose from External Radiation. In: *Handbook of Environmental Radiation*, Allen Brodsky (ed), CRC Press, 51 - 63.
- Kocher D. & Sjöreen A. 1985. Dose - rate conversion factors for external exposure to photon emitters in soil. *Health Physics*, **48** (2): 193 - 205.
- Kulldorff M., Tango T., Park P. J. 2003. Power comparisons for disease clustering tests. *Computational Statistics & Data Analysis*, **42** (4): 665 - 684.
- Kurochkin I. A., Wiegel B., Siebert B. 1999 Study of the radiation environment caused by galactic cosmic rays at flight altitudes, at the summit of the Zugspitze and at PTB Braunschweig. *Radiation Protection Dosimetry*, **83** (4): 281 - 291.
- Licht O. & Tarvainen T. 1996 Multipurpose geochemical maps produced by integration of geochemical exploration data sets in the Parana, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, **56**: 167 - 182.
- Lipski M. & Vasconcelos E. M. G. 1993. Caracterização de fácies do granito Anhangava (PR)

- utilizando datos aerogamaespectrométricos. In: *XI Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, SBG - MG, Anais*, p.383.
- Liubi L.I., Martinova T. B., Vaciliev Y., Glikman G. A. 1981. Informe sobre los resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo (LAGC)) en el territorio de las provincias de Santa Clara - Sancti Spiritus, escala 1:50. 000. Ciudad de La Habana, IGP (*Relatório técnico - econômico*).
- Liubi L. I., Martinova T. B., Vaciliev B. L., Glikman G. A. 1982. Informe sobre los resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo (LAGC)) en el territorio de la provincia de Cienfuegos, escala 1:50. 000. Ciudad de La Habana, IGP (*Relatório técnico - econômico*).
- Lobik M. & Dostal D. 1986. Informe final del levantamiento geológico 1:100. 000 Escambray II, Zona este, ONRM. Ciudad de La. Habana (*Relatório técnico - econômico*).
- Lowder W. M., Beck H. L., Condon W. M. 1964. Spectrometric determination of dose rate from natural and fall-out gamma - radiation in the United States, 1962 - 1963. *Nature*, **4934**: 745 - 749.
- Lufriú L. 1993. Fundamentos físicos de la Radiestesia. ONITEM, Ciudad de la Habana, p 27.
- Lufriú L., Padilla I., Corbea L. 1996. Notas al Mapa del Campo Aeromagnético de la República de Cuba, escala 1:25. 000. In: *SCG/Núcleo Geofísica, II Simposio Cubano de Geofísica*, Ciudad de La Habana, *Resumos Expandidos*, GEO27.
- Lufriú L. 1998. Fundamentos Físicos de los Sensores Biológicos. Instituto Superior Politécnico Jose Antonio Echevarria, Tese de Doutorado, 67 p.
- Lyatsky, H. 1994. The meaning of anomaly. *Radiation Physics and Chemistry*, **44**: 207 -214.
- McCullagh P. & Nelder J. A. 1989. *Generalized Linear Models*. (2nd ed.), London, Chapman and Hall 479p.
- Martin D. 1989. Mapping population data from zone centroid locations. *Transactions of the Institute of British Geographers NS*, **14**: 90 - 97.
- Martin D & Bracken I. 1991. Techniques for modeling population - related raster databases. *Environment and Planning A*, **23**: 1069 - 1075.
- Martin D. 1996. *Geographic Information Systems and their Socioeconomic Application.*, London, Routledge, 27:25-47.
- Martinova T. B., Torubarov V., Vaciliev B. L. 1985. Informe sobre los resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo (LAGC)) en el territorio de la provincia de Las

- Villa, escala 1 5. 000. Ciudad de La Habana, IGP (*Relatório técnico - econômico*).
- Mauss E. A. 1983. Health effects of ionizing radiation in the low - dose range. In: *New York Academy of Sciences, Nova York, Anais*, 27 - 36.
- Mauss S. & Dimri V. P. 1995. Potencial field power spectrum inversión for scaling geology. *Journal Geophysics Research*, **100**: 12605 - 12616.
- Miesch A. 1981. Estimation of the Threshold and its Statistical Significance. *Journal of Geochemical Exploration*, **16**: 49 - 76.
- Millán G. 1996.a Metamorfitas de la asociación ofiolítica de Cuba. In: *Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba*, Proyect. 364. IV 65/ UNESCO, Miami USA, 131 - 146..
- Millán G. 1996.b Geología del Complejo Mabujina. In: *Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba*, Proyect. 364. IV 65/UNESCO, Miami, USA, 147 - 153.
- Milligan P. R. & Gunn P.J. 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, **17** (2): 77 - 82.
- 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** (2): 52 - 61.
- Mitas L., & Mitasova H. 1988. General variational approach to the interpolation problem. *Computers and Mathematics with Applications*, **16** (12): 983 - 992.
- Mitchell S. A., Randers - Perhrson G., Brenner D. J., Hall J. 2004. Bystander effect and adaptive response in C3H 10 T ½ cells. *International of Radiation Biology*, **80** (7).
- Montero Cabrera M. E., Ortueta Milán M., Herrera Peraza E. F. 2001. Characterization of ophiolites from northern Havana - Matanzas petroleum fields using instrumental neutron activation analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, **54** (2001): 183 - 188.
- Morejón Seijas B. & Molina soto. J. 1997. La población. Universidad de La Habana, Centro de Estudios Demográficos (CEDEM), **52**: 33 - 47.
- Nakashima Y., Fujisaka S. 1992. On the Annual Variation of Photons Originating from Secondary Cosmic Ray Components at Sea Level at Nagoya, Japan. *Radiation Protection Dosimetry*, **45** (1/4): 387 - 390.
- Nikjoo H. & Khvostunov I. K. 2003. Biophysical model of the radiation – induced bystander effect. *Int. J. Radiat. Biol.*, **79**: 43 - 52.
- O'Brien K. W., Friedberg F. E., Duke L., Snyder E. B., Darden Jr., Sauer H. H. 1992. The

- exposure of aircraft crews to radiations of extraterrestrial origin. *Radiation Protection Dosimetry*, **45** (1/4), 145 - 162.
- O'Brien K., W. Friedberg F. E., Sauer H. H 1996. Atmospheric Cosmic Rays and Solar Energetic Particles at Aircraft Altitudes. *Environmental International*, **22** (Suppl. 1): S9 - S44.
- O'Brien K. W., Friedberg F. E., Duke L., Snyder E. B., Darden Jr., Sauer H. H. 1992. The exposure of aircraft crews to radiations of extraterrestrial origin. *Radiation Protection Dosimetry*, **45** (1/4): 145 - 162.
- Padilla I. 2001. Mapa aeromagnético de la República de Cuba y su Transformación por la Ecuación de Euler, escala 1: 250. 000 In: *7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, 7CISBGf/PS4, Resumos Expandidos, I*.
- Padilla I. & Pascholati E. M. 2002. Caracterização Aerogamaespectrométrica da Região Central de Cuba In: *XLI Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa Anais SBG, Resumos Expandidos, S - 03*.
- Padilla I., Lufriú L., Oviedo A. 1996. Distribución y posición relativa de las fuentes profundas del Campo Aeromagnético de la república de Cuba, escala 1: 1. 000 000. In: SCG/Núcleo Geofísica, II Simposio cubano de Geofísica, Ciudad de La Habana, *Resumos Expandidos, GEO70*.
- Padilla I., Lufriú L., Corbea L., Pérez R. M 1994. Informe sobre los resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo (LAGC) en el territorio de la provincia de Las Villa - Sancti Spiritus (Escambray), escala 1:50. 000. Ciudad de La Habana, IGP (*Relatório técnico - econômico*).
- Pearce J. A., Lipperd S. J., Roberts S. 1984. Characteristics and Tectonic Significance of Suprasubduction ophiolites Zones. *Geological Society Index Spec. Rebl.* , **16**: 77 - 96.
- Pérez D. 1998. Resultados de las mediciones de la Tasa de Dosis en Interiores de localidades de la Ciudad de la Habana, Holguín e Camagüey. Instituto de Ciências y Tecnologia Nuclear, Tese de Mestrado, 75 p.
- Pérez R. M. & Sukar S. K. 1997. Granitoides del Arco Volcánico Cretácico de la Región Central de Cuba. In: Furrázola B. G. (eds.) *Estudios sobre la Geología de Cuba*. Ciudad de la Habana, CNDIG, pp 387 - 398.

- Petoussi, N., Zanke, M., Saito, K. 1991. Organ doses to adults and children from environmental gamma rays. In W. Fesdt (ed.) *The Radioecology of Natural and Artificial Radionuclides*. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, 372 - 377.
- Philip G. M. & Watson D. F. 1986. *Matheronian Geostatistics - Quo Vadis??*, *Mathematical Geology*, **18** (1): 93 - 117.
- Piotrowska K., Pszczolkowski A., Piotrowski J., Myczynski R., Rudnicki J., Kusniarski N., Peñalver L. L., Franco G. L., Pérez N., Albear J. F. 1981. *Texto explicativo para el mapa geológico a escala 1: 250. 000 de la provincia de Matanzas*. Brigada cubano - polaca. Instituto de Paleontología, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, (inérito).
- Prieto C. R. L., Pascholati E. M., Amaral, G. 2000. Procesamiento digital de imágenes gammaespectrométricas en Cuba Centro-Oriental. Técnicas y resultados. In: *SCG/Núcleo Geofísica, I Congreso Internacional de Geofísica*. Ciudad de La Habana.
- Prol J. L. & Arriaza G. 1993. *Nota informativa sobre la confección de los mapas de profundidad del basamento y espesor de la corteza terrestre en el territorio cubano*, Ciudad de la Habana, E.G, 36 p.
- Ralph E. 2000. A Paradigm for environmental Epidemiology: Why are Effects of Environmental Exposures Different from Occupational Effects? *Editorial Environmental Health*, **55** (5): 295-296.
- Ramli A. T. 1997. Environmental Terrestrial Gamma Radiation Dose and its Relationship with Soil Type and Underlying Geological Formations in Pontian District, Malaysia. *Applied Radiation and Isotopes*, **48** (3): 407 - 412.
- Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP 2005.
- República de Cuba (Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros).Decreto - Lei No. 147, de 21 de abril de 1994, Acuerdo No. 3808. Aprovecha os objetivos, funções e atribuições específicas do Instituto de Planejamento Físico adjunto ao Ministério de Economia e Planejamento.
- Risica S., Bochicchio F., Bolzan C., Grisanti G., Nuccetelli C. 2001. Experimental and Measurement Issues in Natural Radioactivity. *Radiation Protection Dosimetry*, **97** (4): 345 - 348.
- Roesler S., Heinrich W., Schraube H. 1998. Calculation of radiation fields in the atmosphere and comparison to experimental data. *Radiation Research*, **149** (1): 87 - 97.

- Roquin C. & Zeegers H. 1987. Improving Anomaly Selection by Statistical Estimation of Background Variation in Regional Geochemical Prospecting. *Journal of Geochemical Exploration*, **29**: 295 - 316
- Rothman K. J. 1998. Modern epidemiology. Philadelphia, Lippincot- Rabin, 773 p.
- Russanov V. & Prieto C. R. L. 1987. *Informe sobre los resultados de la Red de apoyo Aerogeofísica Nacional, escala 1: 50 000*. Ciudad de la Habana, IGP (Relatório técnico - econômico).
- Rybach L. 1994. Depth domains of environmental geophysics. *Environmental Geology*, **24**:7- 11.
- Sack R. D. 1973. A concept of physical space in Geography. *Geographical Analysis*, **5** (1): 16 - 34.
- Saito K., Petoussi N., Zankl M., Veit R., Jacob P., Drexler G. 1991. Organ Doses as a Function of Body-Weight for Environmental Gamma-Rays. *Journal of Nuclear Science and Technology*, **28** (7): 627 - 641.
- Saito K. & Jacob, P. 1995. Gamma ray fields in the air due to sources in the ground. *Radiation Protection Dosimetry*, **58**: 29 - 45.
- Saito K., Petoussi - Henss N., Zankl M. 1998. Calculation of the Effective Dose and Its Variation from Environmental Gamma Ray Sources. *Health Physics Society*, **74** (6): 698 - 710.
- Schraube H. O. E, Leuthold. G., Roesler S. 1996. Neutron spectra at flight altitudes and their radiological estimation GSF.
- Schraube H. O. E. 1997 Experimental verification and calculation of route doses. In: Cosmic Radiation and Aircrew Exposure, Proceedings of an international Conference. Dublin. *Nuclear Technology Publishing*, Ashford, 1999.
- Seuc Jo. A., Dominguez. E., Galan Alvarez Y. 2003. Esperanza de vida ajustada por cáncer. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, ISSN 0253 - 1751, **41** (1).
- Shao C., Furusawa M. Aoki, Ando K. 2003. Role of gap junctional intercellular communication in radiation – induced bystander effects in human fibroblasts *Radiat. Res.* 160, 318 - 323
- Shaposhnikova C. 1969. Propiedades físicas de las rocas de Cuba. INRH, Dirección Técnica, Publicaciones Especiales, **7**: 57 - 80.
- Sellinus O. 2004. Medical Geology: An emerging speciality, *TERRAE*, **1** (1):8 - 15
- Singh A. & Harrison A. 1985. Standarized principal components. *International Journal of Remote Sensing*, **6**: 883 - 896.

- Sinclair A. 1991. A Fundamental Approach to Threshold Estimating in Exploration Geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, **41**: 1 - 22.
- Sinitsin A. Ya. 1974. Radiometría. (eds) Universidad de La Habana, 127 p.
- Smetsers R. C. G. M., Blaauboer, R. O. 1994. Time-Resolved Monitoring of Outdoor Radiation Levels in the Netherlands. *Radiation Protection Dosimetry*, **55** (3): 173 - 181.
- Snyder W. S., Ford M. R., Warner G. G., 1978. Estimates of specific absorbed fractions for photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD) Pamphlet No.5, Society of Nuclear Medicine, New York, NY.
- Stanik E., Mañour J., Ching R., Vázquez C. 1975. *Informe de los resultados de los levantamientos geológicos, geoquímicos y trabajos geofísicos realizados en la parte sur de Cuba central en las provincias de Cienfuegos, Sancti Spiritus y Villa Clara* ONRM. Ciudad de La. Habana (Relatório técnico - econômico), 317 p.
- Tango T. 1997. Detection of overall space - time clustering in a non - uniformly distributed population. *Statistics in Medicine*, **16** (22): 2621-2623.
- Teixeira M. T. B., Britto A. V. G., Moreira Filho D. C., Faerntein E., La torre M. R. D. O. 1998. Sobrevida por câncer de pulmão em residentes de Campinas, SP In: *IV Congresso Brasileiro de Epidemiologia*, Rio de Janeiro, RJ.
- Telford W. M. 1990. *Applied Geophysics*. 2^aed, Cambridge University Press, New York, 770 p.
- Ullrich R.L., Bowles N.D., Satterfield L.C. 1996. Strain dependent susceptibility to radiation - induced mammary cancer is a result of differences in epithelial cell sensitivity to transformation. *Radiation Research*, **146**: 353 - 355.
- Ullrich R.L. & Ponnaiya B.1998. Radiation - induced instability and its relation to radiation carcinogenesis. *Int. J. Radiat. Biol.* **74**: 747 - 754.
- UNSCEAR. 1977. Sources and Effects of Ionizing Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with annexes*. United Nations, New York, E. 77.IX.1.
- UNSCEAR. 1982. Ionizing Radiation. Sources and Biological Effects. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with annexes*. United Nations, New York, E.82.IX.8.

- UNSCEAR. 1988. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with annexes*. United Nations, New York, E.88.IX.7.
- UNSCEAR. 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, Annex A, 33 - 89*.
- UNSCEAR. 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, Report to the General Assembly, 1 - 25*.
- Ushakov I. B., Lapaev Z. A., Vorotsova Z. A. 1998. Radiation and alcohol (the essays of radiation narcology or alcoholic“Chernobyl”). Voronezh “Istoki” , 248 p.
- Vasiliev I., Arcial F., Borjas A., Ching R., Darias J. L., Díaz F. 1989. Informe de los resultados del levantamiento Geológico 1:50. 000 y búsqueda norte de Las Villas II, Jíbaro - Báez. ONRM. Ciudad de La Habana (*Relatório técnico - econômico*).
- Vázquez C., Prieto R., Rodríguez M., Milián E. 1993. *Informe de los resultados del levantamiento geológico 1:50 000 y búsqueda norte Las Villas III*. ONRM. Ciudad de La. Habana (*Relatório técnico - econômico*).
- Watson N. D., Macklin T. A., Leys M. T. C., Robson D. F. 1997. A new Era! Collaborative Geological and Geophysical. *Exploration Geophysics*, **28**: 156 - 160.
- WHO Office for Europe. *Disease Mapping and Risk assessment for Public Health Decision – Making, Report on a WHO Workshop, rome, Italy, 2 -4 October 1997*. Health 21 Target 10, 19.
- Wieczorek WF & Hanson CE. 1998. Regional Patterns of alcohol - Specific Mortality in the United States. In: *Geographic Information Systems in Public Health*, Third National Conference, 669 - 676.
- Wilford J. R., Bierwirth P. N., Craig M. A. 1997. Application of airborne gamma - ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, **17** (2): 201 - 216.
- Wolff S. 1998. Adaptive responses In: *Low Doses of Ionizing Radiation. Biological Effects and Regulatory Control*. IAEA, Vienna, 103 p.
- Yoshimura E. M., Umisedo N. K., Okuno E. 2002. Assessment of ambient dose equivalent rate:

performance of an automatic survey meter as an instrument to quantify the presence of radiation in soils. *Nuclear Instruments and Methods in Physics research A*, **487**: 457 - 464.

Zelenka P., Lobik M., Paricelo A., Woller F., Dublan L., Elecko M., Kudlick O., Molak V., Sueska V., Lledíaz Díaz J. P., Pérez M., Darias Coca S. J., Rodríguez Romero M. 1990. Levantamiento Geológico Escambray II, 1: 100. 000. Zona oeste. ONRM. Ciudad de La Habana (*Relatório técnico - econômico*), 197p.

3rd International Conference Health Effects Of The Chernobyl Accident: Results of 15 - Year Follow - Up Studies Kiev (Ukraine), 4 to 8 June 2001.

Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000. Diccionario Geográfico de Cuba. Hidrografía y Geodesia, 1^a edición, 386 p.

<http://imasl-apat.unsl.edu.ar>; <http://www3.cancer.gov/atlasplus/charts.html>;

<http://www.medicalgeology.org>; <http://www.epa.gov/radiation/understand/healtheffects.html>;

<http://www.otherdatatocarcinogenicity.html> (last updated: 28 April 1999)

Anexo 1 - a Estimativa parcial da população rural que mora na faixa ≤ 10 m do modelo digital de elevação (MDE) da região central de Cuba.

| MUNICÍPIOS | TOTAL | COUNT | ÁREA (m ²) | MIN | MAX | RANGE | MEAN | STD | SUM | VARIETY | MAJORITY | MINORITY | MEDIAN |
|--------------|-------|-------|------------------------|-----|-----|-------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Caibarien | 2317 | 790 | 197500000,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,3911 | 0,4880 | 309,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Corralillo | 2934 | 1157 | 289249984,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,1357 | 0,3425 | 157,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Cienfuegos | 6494 | 686 | 171500000,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,1603 | 0,3669 | 110,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| S_La_Grande | 6647 | 2482 | 620499968,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,6567 | 0,4748 | 1630,0000 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| Lajas | 7065 | 1709 | 427249984,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Palmira | 7909 | 1240 | 310000000,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| La Sierpe | 8015 | 3453 | 863249984,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,5482 | 0,4977 | 1893,0000 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| Encrucijada | 8169 | 2208 | 552000000,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,5258 | 0,4993 | 1161,0000 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| Quemado | 9440 | 1334 | 333500000,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,1139 | 0,3177 | 152,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Cruces | 9753 | 777 | 194250000,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Santaclara | 10210 | 1935 | 483750016,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Rodas | 5207 | 939 | 234750000,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,0213 | 0,1444 | 20,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Remedios | 11921 | 2122 | 530500000,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,0009 | 0,0307 | 2,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Sto. Domingo | 14519 | 3273 | 818249984,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Fomento | 15119 | 1886 | 471500000,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Taguasco | 15189 | 1724 | 431000000,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Cifuentes | 16416 | 1959 | 489750016,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Placetas | 17087 | 2567 | 641750016,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S_Spiritus | 18328 | 3935 | 983750016,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,0986 | 0,2981 | 388,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Cumanayagua | 18610 | 4258 | 1064499968,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,0132 | 0,1139 | 56,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Jatibonico | 18843 | 2786 | 696499968,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,0032 | 0,0567 | 9,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Cabaiguán | 21297 | 2309 | 577249984,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Ranchuelo | 21320 | 2134 | 533500000,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Trinidad | 21494 | 4519 | 1129750016,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,1250 | 0,3308 | 565,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Yaguajay | 24173 | 3594 | 898499968,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,2257 | 0,4180 | 811,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Camajuaní | 28715 | 2359 | 589750016,0000 | 0 | 1 | 1 | 0,1026 | 0,3034 | 242,0000 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Manicaragua | 34270 | 4015 | 1003750016,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1 | 0 | 0 | 0 |

*tabela do formato do programa Arc View (TOTAL-população rural do município; ÁREA-porção de área equivalente estimada; SUM-pixels dentro da faixa)

Populações não incluídas dentro da faixa ≤ 10 m segundo o MDE por isso se estimam “zeradas”

Anexo. 1 - b Estimativa da população municipal rural localizada nas faixas de altitude do modelo digital de elevação (MDE) da região central de Cuba.

| Município | Total de pixels nas faixas | Áreas rurais (km ²) no município | Erro residual (%) | Distribuição da população total rural nas faixas de altitude(m) | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|--|-------------------|---|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | | | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-110 | 110-150 | 150-200 | 200-240 | 240-275 | 275-500 | 500-800 | 800-950 | 950-1050 |
| Corralillo | 1.184 | 306 | 0,03 | 389 | 121 | 52 | 74 | 2.285 | 13 | | | | | | | |
| | | | | 157 | 49 | 21 | 30 | 922 | 5 | | | | | | | |
| Rodas | 939 | 242 | 0,00 | 111 | 211 | 1.081 | 1.386 | 2.418 | | | | | | | | |
| | | | | 20 | 38 | 195 | 250 | 436 | | | | | | | | |
| Lajas | 1.709 | 424 | 0,03 | | 45 | 327 | 728 | 5.965 | | | | | | | | |
| | | | | | 11 | 79 | 176 | 1.443 | | | | | | | | |
| Cruces | 777 | 187 | 0,09 | | | | 63 | 7.933 | 1.393 | 239 | 100 | 25 | | | | |
| | | | | | | | 5 | 632 | 111 | 19 | 8 | 2 | | | | |
| Encrucijada | 2.208 | 569 | 0,00 | 4.295 | 1.580 | 895 | 455 | 944 | | | | | | | | |
| | | | | 1.161 | 427 | 242 | 123 | 255 | | | | | | | | |
| Cienfuegos | 686 | 199 | 0,03 | 1.041 | 1.136 | 1.448 | 1.335 | 1.496 | 38 | | | | | | | |
| | | | | 110 | 120 | 153 | 141 | 158 | 4 | | | | | | | |
| Trinidad | 4.519 | 1.160 | 0,00 | 2.687 | 1.845 | 1.313 | 1.246 | 3.834 | 1.413 | 1.940 | 1.241 | 923 | 3.173 | 1.841 | 38 | |
| | | | | 565 | 388 | 276 | 262 | 806 | 297 | 408 | 261 | 194 | 667 | 387 | 8 | |
| Camajuaní | 2.359 | 593 | 0,03 | 2.945 | 2.958 | 2.300 | 2.313 | 11.904 | 4.150 | 1.887 | 207 | 49 | | | | |
| | | | | 242 | 243 | 189 | 190 | 978 | 341 | 155 | 17 | 4 | | | | |
| Quemado | 1.334 | 328 | 0,05 | 1.076 | 524 | 580 | 1415 | 5.845 | | | | | | | | |
| | | | | 152 | 74 | 82 | 200 | 826 | | | | | | | | |
| Ranchuelo | 2.134 | 531 | 0,05 | | | | | 13.697 | 6.164 | 1259 | 170 | 30 | | | | |
| | | | | | | | | 1.371 | 617 | 126 | 17 | 3 | | | | |
| Sto Domingo | 3.273 | 826 | 0,02 | | | 22 | 1.211 | 13.286 | | | | | | | | |
| | | | | | | 5 | 273 | 2.995 | | | | | | | | |
| S_La Grande | 2.482 | 632 | 0,03 | 4.365 | 1.055 | 407 | 239 | 576 | 5 | | | | | | | |
| | | | | 1.630 | 394 | 152 | 89 | 215 | 2 | | | | | | | |
| Placetas | 2.567 | 641 | 0,04 | | | | | 845 | 6.450 | 8.900 | 646 | 126 | 120 | | | |
| | | | | | | | | 127 | 969 | 1.337 | 97 | 19 | 18 | | | |

continuação do Anexo 1 - b.

| Município | Total de pixels nas faixas | Áreas rurais (km ²) no município | Erro residual (%) | Distribuição da população total rural nas faixas de altitude(m) | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|--|-------------------|---|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | | | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-110 | 110-150 | 150-200 | 200-240 | 240-275 | 275-500 | 500-800 | 800-950 | 950-1050 |
| Cifuentes | 1.959 | 490 | 0,05 | | 8 | 50 | 310 | 13.433 | 2.556 | 59 | | | | | | |
| | | | | | 1 | 6 | 37 | 1.603 | 305 | 7 | | | | | | |
| Cumanayagua | 4.258 | 1.080 | 0,00 | 245 | 490 | 625 | 717 | 5.192 | 1.438 | 1.311 | 747 | 590 | 2.185 | 3.641 | 1.237 | 192 |
| | | | | 56 | 112 | 143 | 164 | 1.188 | 329 | 300 | 171 | 135 | 500 | 833 | 283 | 44 |
| Fomento | 1.886 | 471 | 0,02 | | | | | 1.603 | 2.902 | 5.275 | 1.226 | 882 | 2.766 | 465 | | |
| | | | | | | | | 200 | 362 | 658 | 153 | 110 | 345 | 58 | | |
| Caibarién | 790 | 204 | 0,00 | 906 | 721 | 619 | 53 | 18 | | | | | | | | |
| | | | | 309 | 246 | 211 | 18 | 6 | | | | | | | | |
| Remedios | 2.122 | 532 | 0,04 | 11 | 157 | 326 | 343 | 3.753 | 1.747 | 3.640 | 1.652 | 292 | | | | |
| | | | | 2 | 28 | 58 | 61 | 668 | 311 | 648 | 294 | 52 | | | | |
| Palmira | 1.240 | 299 | 0,11 | | 153 | 549 | 1.231 | 5.855 | 121 | | | | | | | |
| | | | | | 24 | 86 | 193 | 918 | 19 | | | | | | | |
| Manicaragua | 4.015 | 1.002 | 0,02 | | | | | 2.262 | 5.659 | 11.207 | 5.488 | 1.938 | 5.522 | 2.194 | | |
| | | | | | | | | 265 | 663 | 1.313 | 643 | 227 | 647 | 257 | | |
| Cabaiguán | 2.309 | 574 | 0,05 | | | | | 7.766 | 7.646 | 4.962 | 849 | 46 | 28 | | | |
| | | | | | | | | 842 | 829 | 538 | 92 | 5 | 3 | | | |
| La_Sierpe | 3.453 | 878 | 0,01 | 4.394 | 1.469 | 919 | 576 | 657 | | | | | | | | |
| | | | | 1.893 | 633 | 396 | 248 | 283 | | | | | | | | |
| Jatibonico | 2.786 | 708 | 0,00 | 61 | 291 | 561 | 1.285 | 10.504 | 3.280 | 2.198 | 649 | 7 | 7 | | | |
| | | | | 9 | 43 | 83 | 190 | 1.553 | 485 | 325 | 96 | 1 | 1 | | | |
| S_Spiritus | 3.935 | 993 | 0,04 | 1.807 | 1.304 | 1.127 | 1.132 | 9.655 | 1.146 | 638 | 242 | 93 | 662 | 522 | | |
| | | | | 388 | 280 | 242 | 243 | 2.073 | 246 | 137 | 52 | 20 | 142 | 112 | | |
| Taguasco | 1.724 | 431 | 0,03 | | | | 79 | 7.612 | 4.141 | 2.775 | 397 | 185 | | | | |
| | | | | | | | 9 | 864 | 470 | 315 | 45 | 21 | | | | |
| Yaguajay | 3.594 | 919 | 0,01 | 5.455 | 3.094 | 1.473 | 599 | 1.641 | 1.002 | 4.419 | 4.372 | 1.883 | 235 | | | |
| | | | | 811 | 460 | 219 | 89 | 244 | 149 | 657 | 650 | 280 | 35 | | | |
| Santa Clara | 1.935 | 483 | 0,06 | | | | | 4.923 | 2.074 | 1.551 | 701 | 375 | 586 | | | |
| | | | | | | | | 933 | 393 | 294 | 133 | 71 | 111 | | | |

Anexo 1 - c Distribuição da população urbana segundo as localidades e as faixas de altitude do MDE na região central de Cuba.

| coordenadas | | faixa ≤ 10 m | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|--------------|--|-------|--------|-------|---------------|-------|--------|-------|--------------|
| X | Y | localidades | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 | tot_feminino |
| 634490 | 320293 | El Santo | 4.914 | 478 | 1283 | 710 | 2.470 | 471 | 1262 | 711 | 2.444 |
| 657444 | 300134 | Caibarien_s | 37.924 | 3882 | 9756 | 4852 | 18.490 | 3735 | 10300 | 5399 | 19.434 |
| 604355 | 215454 | Casilda | 5.764 | 626 | 1570 | 683 | 2.879 | 592 | 1586 | 707 | 2.885 |
| 620009 | 222736 | F.N.T.A | 3.272 | 355 | 891 | 388 | 1.634 | 336 | 900 | 401 | 1.638 |
| 662134 | 207325 | Mapos | 9.596 | 995 | 2696 | 1245 | 4.936 | 939 | 2645 | 1076 | 4.660 |
| 601194 | 345818 | Is_de Sagua | 3.507 | 352 | 903 | 481 | 1.735 | 333 | 927 | 512 | 1.772 |
| totais | | | 64.977 | 6.688 | 17.099 | 8.359 | 32.144 | 6.406 | 17.620 | 8.806 | 32.833 |

| coordenadas | | faixa >10 m - ≤ 20 m | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|----------------------|--|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------------|
| X | Y | localidades | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 | tot_feminino |
| 594740 | 331114 | Sagua la Grande_s | 50.825 | 5095 | 13082 | 6965 | 25.143 | 4827 | 13439 | 7416 | 25.682 |
| 616015 | 316606 | Moreno Macau | 4.185 | 407 | 1092 | 604 | 2.104 | 401 | 1074 | 606 | 2.081 |
| 570264 | 239869 | Gavilanes | 2.844 | 300 | 791 | 350 | 1.441 | 293 | 769 | 342 | 1.403 |
| 557409 | 257908 | Cienfuegos_s | 143.187 | 16.069 | 38.923 | 15.326 | 70.318 | 15.385 | 39.676 | 17.809 | 72.869 |
| 554789 | 249573 | Jagua | 5.343 | 600 | 1.452 | 572 | 2.624 | 574 | 1.480 | 664 | 2.719 |
| totais | | | 206.384 | 22.471 | 55.340 | 23.817 | 10.1630 | 21.480 | 56.438 | 26.837 | 10.4754 |

| coordenadas | | faixa > 20 m - ≤ 30 m | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|-----------------------|--|-------|--------|-------|---------------|-------|--------|-------|--------------|
| X | Y | localidades | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 | tot_feminino |
| 649585 | 297039 | Remedios_s | 19.554 | 1834 | 4982 | 2812 | 9.628 | 1776 | 5163 | 2987 | 9.926 |
| 555315 | 289138 | Cartagena | 9.670 | 1027 | 2650 | 1267 | 4.944 | 928 | 2564 | 1234 | 4.726 |
| 626215 | 224715 | Caracusey | 4.893 | 531 | 1333 | 580 | 2.444 | 502 | 1346 | 600 | 2.449 |
| 623899 | 220127 | Palmarito | 3.093 | 336 | 843 | 367 | 1.545 | 318 | 851 | 379 | 1.548 |
| 627572 | 214399 | San Pedro | 2.569 | 279 | 700 | 305 | 1.283 | 264 | 707 | 315 | 1.286 |
| totais | | | 39.779 | 4.007 | 10.508 | 5.331 | 19.844 | 3.788 | 10.631 | 5.515 | 19.935 |

continuação Anexo 1 - c.

| coordenadas | | faixa > 30 m - ≤ 40 m | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|-----------------------|--|-------|--------|-------|---------------|-------|--------|-------|--------------|
| X | Y | localidades | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 | tot_feminino |
| 583234 | 317556 | Rodrigo | 7.656 | 803 | 2.035 | 1.016 | 3.854 | 757 | 2.045 | 999 | 3.801 |
| 572624 | 268875 | S_ Fernando de Camar | 5.542 | 616 | 1482 | 698 | 2.796 | 590 | 1451 | 705 | 2.746 |
| 681273 | 278801 | Yaguajay_s | 10.034 | 1001 | 2638 | 1410 | 5.049 | 949 | 2652 | 1384 | 4.985 |
| 699172 | 269572 | Mayajigua | 9.809 | 979 | 2578 | 1379 | 4.936 | 928 | 2592 | 1353 | 4.873 |
| 619834 | 228347 | Condado | 6.825 | 741 | 1859 | 809 | 3.409 | 701 | 1878 | 837 | 3.416 |
| totais | | | 39.866 | 4.140 | 10.592 | 5.312 | 20.044 | 3.925 | 10.618 | 5.278 | 19.821 |

| coordenadas | | faixa > 110 m - ≤ 150 m | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|-------------------------|--|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------------|
| X | Y | localidades | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 | tot_feminino |
| 631289 | 293430 | Camajuaní_s | 25.948 | 2484 | 6531 | 3808 | 12.823 | 2397 | 6669 | 4059 | 13.125 |
| 606394 | 286196 | Santa clara_s | 216.690 | 22455 | 56022 | 27090 | 105.567 | 21326 | 57881 | 31916 | 111.123 |
| 609625 | 311304 | Mata | 5.710 | 581 | 1458 | 820 | 2.860 | 507 | 1470 | 874 | 2.851 |
| 593241 | 278540 | San Juan de los Yeras | 12.091 | 1288 | 3077 | 1629 | 5.994 | 1200 | 3079 | 1818 | 6.098 |
| 606282 | 258702 | Manicaragua_s | 29.519 | 3212 | 7687 | 4199 | 15.097 | 2952 | 7647 | 3823 | 14.422 |
| 697758 | 246663 | Arroyo Blanco | 9.549 | 984 | 2550 | 1243 | 4.777 | 908 | 2601 | 1263 | 4.772 |
| 654859 | 250934 | Cabaiguán_s | 30.880 | 2824 | 7940 | 4457 | 15.220 | 2658 | 8070 | 4932 | 15.659 |
| 647187 | 248158 | Santa Lucía | 2.906 | 266 | 747 | 419 | 1.432 | 250 | 759 | 464 | 1.474 |
| 631229 | 253361 | Fomento_s | 21.077 | 2304 | 5402 | 2822 | 10.528 | 2135 | 5375 | 3039 | 10.549 |
| 648100 | 223187 | Banao | 9.861 | 1012 | 2607 | 1242 | 4.861 | 945 | 2705 | 1351 | 5.001 |
| totais | | | 364.231 | 37.410 | 94.021 | 47.729 | 17.9159 | 35.278 | 96.256 | 53.539 | 185.074 |

| coordenadas | | faixa > 200 m - ≤ 240 m | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|-------------------------|--|-------|--------|-------|---------------|-------|--------|-------|--------------|
| X | Y | localidades | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 | tot_feminino |
| 647406 | 282846 | Zulueta | 10.028 | 941 | 2555 | 1442 | 4.938 | 911 | 2648 | 1532 | 5.090 |
| 679155 | 270770 | Meneses | 6.171 | 616 | 1622 | 868 | 3.106 | 584 | 1631 | 851 | 3.066 |
| 680274 | 265296 | Iguará | 3.164 | 316 | 832 | 445 | 1.592 | 299 | 836 | 436 | 1.572 |
| totais | | | 19.363 | 1.873 | 5.009 | 2.755 | 9.636 | 1.794 | 5.115 | 2.819 | 9.728 |

continuação Anexo 1 - c.

| Coordenadas | | faixa > 40 m - ≤ 110 m | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|------------------------|--|--------|---------|--------|---------|---------------|---------|--------|---------|
| X | Y | | Localidades | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 |
| 562466 | 339163 | Rancho Veloz | 7.324 | 754 | 1950 | 991 | 3.695 | 738 | 1926 | 965 | 3.629 |
| 576729 | 329118 | Quemado de Güines_s | 12.334 | 1332 | 3330 | 1643 | 6.306 | 1194 | 3125 | 1709 | 6.028 |
| 568171 | 333593 | Resolución | 2.125 | 230 | 574 | 283 | 1.086 | 206 | 538 | 295 | 1.039 |
| 616434 | 310498 | Encrucijada_s | 9.310 | 906 | 2430 | 1345 | 4.680 | 892 | 2390 | 1348 | 4.630 |
| 613535 | 313477 | Calabazar de Sagua | 9.254 | 900 | 2416 | 1336 | 4.652 | 886 | 2376 | 1340 | 4.602 |
| 633648 | 299156 | San Antonio de las V | 9.427 | 903 | 2373 | 1383 | 4.659 | 871 | 2423 | 1474 | 4.768 |
| 597607 | 313686 | Cifuentes_s | 6.844 | 697 | 1747 | 983 | 3.427 | 607 | 1762 | 1047 | 3.417 |
| 592882 | 302952 | San Diego del Valle | 7.030 | 716 | 1795 | 1010 | 3.520 | 624 | 1810 | 1076 | 3.509 |
| 577305 | 306834 | Santo Domingo_s | 12.073 | 1.267 | 3.209 | 1.602 | 6.078 | 1.194 | 3.225 | 1.575 | 5.995 |
| 567811 | 308394 | Manacas | 10.919 | 1.145 | 2.902 | 1.449 | 5.497 | 1.080 | 2.917 | 1.425 | 5.422 |
| 556502 | 312845 | Mordazo | 8.809 | 924 | 2.314 | 1.169 | 4.435 | 872 | 2.353 | 1.149 | 4.374 |
| 587174 | 283552 | Ranchuelo_s | 16.744 | 1783 | 4261 | 2256 | 8.300 | 1662 | 4264 | 2518 | 8.444 |
| 592568 | 291421 | La Esperanza | 11.242 | 1197 | 2861 | 1515 | 5.573 | 1116 | 2863 | 1691 | 5.669 |
| 586116 | 299946 | Jicotea | 2.433 | 259 | 619 | 328 | 1.206 | 242 | 620 | 366 | 1.227 |
| 562601 | 268468 | Palmira_s | 11.129 | 1237 | 2975 | 1402 | 5.614 | 1185 | 2912 | 1416 | 5.514 |
| 560773 | 279252 | Ciego Montero | 8.651 | 961 | 2313 | 1090 | 4.364 | 921 | 2264 | 1101 | 4.286 |
| 572308 | 287750 | Lajas_s | 16.486 | 1822 | 4331 | 2127 | 8.280 | 1658 | 4372 | 2176 | 8.206 |
| 574524 | 279486 | Cruces_s | 20.335 | 2104 | 5390 | 2606 | 10.101 | 1952 | 5261 | 3021 | 10.234 |
| 588140 | 271578 | Potrerillo | 2.972 | 308 | 788 | 381 | 1.476 | 285 | 769 | 442 | 1.496 |
| 582045 | 258213 | Cumanayagua_s | 29.533 | 3112 | 8212 | 3639 | 14.963 | 3040 | 7983 | 3546 | 14.570 |
| 571099 | 257557 | Guaos | 3.360 | 377 | 913 | 360 | 1.650 | 361 | 931 | 418 | 1.710 |
| 688971 | 236326 | Jatibonico_s | 14.463 | 1490 | 3862 | 1883 | 7.235 | 1376 | 3939 | 1913 | 7.228 |
| 679197 | 242708 | Taguasco_s | 11.702 | 1242 | 3075 | 1614 | 5.932 | 1135 | 3059 | 1576 | 5.770 |
| 668414 | 242104 | Zaza del Medio | 9.807 | 1041 | 2578 | 1353 | 4.971 | 952 | 2564 | 1320 | 4.836 |
| 658695 | 247734 | Guayos | 12.228 | 1118 | 3144 | 1765 | 6.027 | 1052 | 3196 | 1953 | 6.201 |
| 604863 | 220216 | Trinidad_s | 24.315 | 2640 | 6623 | 2882 | 12.145 | 2496 | 6691 | 2982 | 12.170 |
| 660777 | 234796 | Sancti Spiritus_s | 85.713 | 8799 | 22657 | 10792 | 42.248 | 8210 | 23508 | 11746 | 43.465 |
| 658701 | 213527 | Guasimal | 12.757 | 1310 | 3372 | 1606 | 6.288 | 1222 | 3499 | 1748 | 6.469 |
| totais | | | 389.319 | 40.574 | 103.041 | 50.793 | 194.408 | 38.029 | 103.540 | 53.336 | 194.908 |

continuação Anexo 1 - c.

| coordenadas | | faixa >150 m - ≤ 200 m localidades | distribuição por sexo e grupos etários | | | | | | | | |
|-------------|--------|---------------------------------------|--|-------|--------|--------|---------------|-------|--------|--------|--------------|
| X | Y | | totais | M0_14 | M15_49 | M_50 | tot_masculino | F0_14 | F15_49 | F_50 | tot_feminino |
| 656266 | 282218 | Buena Vista | 3.331 | 312 | 849 | 479 | 1.640 | 303 | 880 | 509 | 1.691 |
| 664750 | 271438 | Gral. Carrillo | 4.223 | 396 | 1076 | 607 | 2.079 | 384 | 1115 | 645 | 2.144 |
| 638555 | 276511 | Placetas_s | 41.480 | 4064 | 10517 | 5918 | 20.499 | 3700 | 10683 | 6599 | 20.982 |
| 628394 | 265967 | Báez | 8.480 | 831 | 2150 | 1210 | 4.191 | 756 | 2184 | 1349 | 4.289 |
| 630069 | 270619 | Guaracabulla | 4.738 | 464 | 1201 | 676 | 2.341 | 423 | 1220 | 754 | 2.397 |
| 635950 | 261688 | Nazareno | 2.506 | 246 | 635 | 357 | 1.238 | 223 | 645 | 399 | 1.268 |
| 603313 | 268122 | Mataguá | 14.034 | 1527 | 3654 | 1996 | 7.178 | 1404 | 3635 | 1817 | 6.856 |
| 696990 | 260656 | Perea | 2.778 | 277 | 730 | 391 | 1.398 | 263 | 734 | 383 | 1.380 |
| 691261 | 261181 | Venegas | 2.521 | 252 | 663 | 354 | 1.269 | 239 | 666 | 348 | 1.253 |
| 671829 | 269011 | Jarahueca | 2.422 | 242 | 637 | 341 | 1.219 | 229 | 640 | 334 | 1.203 |
| Totais | | | 86.513 | 8.611 | 22.112 | 12.329 | 43.052 | 7.924 | 22.402 | 13.137 | 43.463 |

Resumo

| Faixa de altitude (m) | população urbana (habitantes) | % | localidades de destaque na faixa |
|-----------------------|-------------------------------|------|--|
| ≤10 m | 64.977 | 5.5 | Caibarién > de 30 mil habitantes |
| > 10 m - ≤ 20 m | 206.384 | 17.0 | S_ La Grande > 50 mil habitantes; Cienfuegos > 140 mil habitantes |
| > 20 m - ≤ 30 m | 39.779 | 3.3 | Remédios > 19 mil habitantes; Cartagena > 20 mil habitantes |
| > 30 m - ≤ 40 m | 39.866 | 3.2 | Yaguajay > 10 mil habitantes |
| > 40 m - ≤ 110 m | 389.319 | 32.2 | S_ Spiritus > 85 mil habitantes; Trinidad, Cumanayagua e Cruces > 20 mil habitantes Quemado, Sto. Domingo, Manacas, Ranchuelo, esperanza, Palmira, Lajas, Jatibonico Taguasco, Guayos e Guasimal > 10 mil habitantes |
| > 110 m - ≤ 150 m | 364.231 | 30.0 | Santa clara > 200 mil habitantes; Camajuaní, Cabaiguán, Manicaragua e Fomento > 20 mil habitantes e San Juan de los Yera > 10 mil habitantes |
| > 150 m - ≤ 200 m | 86.513 | 7.2 | Placetas > 40 mil habitantes e Mataguá > 10 mil habitantes |
| > 200 m - ≤ 240 m | 19.363 | 1.6 | Zulueta > 10 mil habitantes |
| | 1.210.432 | | |

Anexo 2 - Classificação das ocorrências de casos de óbitos por neoplasias malignas segundo o código CID - 10 (OPAS e OMS), sexo e meio.

| Município Corralillo | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|---------|------|------------|---------|------|-----------|---------|------|------------|---------|------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 |
| C00 - C14 | — | — | — | — | — | 1 | — | 1 | — | — | — | 3 |
| C15 - C26 | — | — | 3 | — | 2 | 18 | — | 2 | 7 | — | 2 | 26 |
| C30 - C39 | — | 1 | 7 | — | 1 | 9 | — | 1 | 25 | — | 4 | 37 |
| C40 - C49 | — | — | — | — | 2 | 1 | — | — | — | — | — | — |
| C43 - C44 | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 |
| C - 50 | — | — | 6 | — | 6 | 6 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | — | 3 | — | — | 9 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 17 | — | — | 10 |
| C64 - C68 | — | — | — | — | — | 1 | — | — | 2 | — | — | 5 |
| C69 - C72 | — | 1 | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | 2 |
| C73 - C75 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| C76 - C80 | — | — | 2 | — | — | 3 | — | — | 1 | — | — | 5 |
| C81 - C96 | — | 2 | — | — | — | 2 | — | — | 1 | — | — | 6 |
| 248 | 0 | 4 | 23 | 0 | 11 | 51 | 0 | 4 | 53 | 0 | 7 | 95 |

| Município Quemado de Güines | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | 3 | — | — | 1 | — | — | 1 | — | — | 4 |
| C15 - C26 | — | — | 15 | — | 2 | 37 | — | — | 16 | — | 1 | 46 |
| C30 - C39 | — | — | 11 | — | 1 | 34 | — | 1 | 30 | — | 2 | 66 |
| C40 - C49 | — | — | — | — | 1 | 2 | — | — | — | — | — | 1 |
| C43 - C44 | — | — | 1 | — | — | 3 | — | — | 1 | — | — | 2 |
| C - 50 | — | 2 | 5 | — | 1 | 13 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 2 | 5 | — | — | 10 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 15 | — | — | 45 |
| C64 - C68 | — | — | 2 | — | — | 3 | — | — | 3 | — | 1 | 5 |
| C69 - C72 | — | — | 1 | — | 3 | 4 | — | — | 2 | — | 4 | — |
| C73 - C75 | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| C76 - C80 | — | — | 1 | — | — | 2 | — | — | 1 | — | 1 | 5 |
| C81 - C96 | — | — | 5 | — | 3 | 5 | — | 1 | 7 | 1 | 5 | 12 |
| 458 | 0 | 4 | 49 | 0 | 11 | 114 | 1 | 2 | 76 | 1 | 14 | 186 |

| Município Sagua la Grande | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | — | — | 3 | 7 | — | — | 1 | — | 2 | 38 |
| C15 - C26 | — | — | 15 | — | 10 | 157 | — | 1 | 10 | — | 10 | 179 |
| C30 - C39 | — | — | 12 | — | 6 | 82 | — | 1 | 27 | — | 20 | 208 |
| C40 - C49 | — | — | — | 1 | — | 3 | — | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| C43 - C44 | — | — | — | — | — | 6 | — | — | 1 | — | 1 | 9 |
| C - 50 | — | 3 | 2 | — | 14 | 58 | — | — | — | — | — | 1 |
| C51 - C58 | — | 1 | 5 | — | 10 | 54 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 14 | — | 2 | 110 |
| C64 - C68 | — | — | — | 1 | 1 | 11 | — | — | 3 | — | 1 | 26 |
| C69 - C72 | — | — | — | 2 | 2 | 5 | — | — | 2 | 1 | 7 | 7 |
| C73 - C75 | — | — | — | — | — | 4 | — | — | — | — | — | 1 |
| C76 - C80 | — | 1 | — | — | 2 | 11 | — | — | 3 | — | 1 | 23 |
| C81 - C96 | 1 | 2 | 3 | — | 9 | 34 | — | 2 | 4 | 1 | 7 | 35 |
| 1306 | 1 | 7 | 37 | 4 | 57 | 432 | 0 | 5 | 67 | 3 | 53 | 640 |

| Município Encrucijada | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | — | — | — | 12 | — | 1 | 3 | — | — | 6 |
| C15 - C26 | — | 1 | 17 | — | 3 | 57 | — | 1 | 27 | — | 5 | 64 |
| C30 - C39 | — | 1 | 19 | — | 7 | 30 | — | 4 | 35 | — | 10 | 87 |
| C40 - C49 | — | — | — | — | — | 2 | — | — | 1 | — | 1 | 7 |
| C43 - C44 | — | — | 2 | — | — | 3 | — | 2 | 3 | — | — | 5 |
| C - 50 | — | 1 | 5 | — | 2 | 15 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 3 | 4 | — | 4 | 18 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 23 | — | — | 68 |
| C64 - C68 | — | — | 1 | — | — | 6 | — | 1 | 2 | — | 1 | 6 |
| C69 - C72 | — | — | 1 | 1 | 2 | 3 | — | — | — | — | 2 | 8 |
| C73 - C75 | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | 1 | — | — |
| C76 - C80 | — | — | 1 | — | — | 4 | — | 1 | — | — | — | 4 |
| C81 - C96 | — | 2 | 3 | — | 5 | 9 | 1 | 3 | 11 | 2 | 7 | 9 |
| 657 | 0 | 8 | 53 | 2 | 23 | 159 | 1 | 13 | 105 | 3 | 26 | 264 |

| Município Camajuaní | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|------|-----------|--------|---------|------------|------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | | M - Rural | | | M - Urbano | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | > 50 |
| C00 - C14 | — | — | 5 | — | 2 | 12 | — | — | 8 | — | — | 11 |
| C15 - C26 | — | 1 | 80 | — | 11 | 88 | — | 5 | 91 | — | 5 | 89 |
| C30 - C39 | — | 5 | 37 | — | 6 | 74 | — | 7 | 110 | — | 8 | 110 |
| C40 - C49 | — | — | 3 | — | — | 3 | — | 1 | 6 | — | 1 | 2 |
| C43 - C44 | — | — | 11 | — | — | 2 | — | — | 7 | — | 1 | 2 |
| C - 50 | — | 4 | 19 | — | 5 | 47 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 6 | 20 | — | 4 | 25 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 74 | — | 1 | 60 |
| C64 - C68 | — | — | 7 | — | — | 8 | — | 1 | 14 | — | — | 15 |
| C69 - C72 | 1 | 2 | 7 | — | 1 | 6 | — | 1 | 10 | — | 2 | 4 |
| C73 - C75 | — | 1 | 4 | — | 3 | 1 | — | — | — | — | — | 1 |
| C76 - C80 | — | 2 | 11 | — | — | 10 | — | — | 15 | — | — | 5 |
| C81 - C96 | 1 | 4 | 14 | — | 3 | 15 | — | 6 | 24 | 5 | 5 | 14 |
| 1292 | 2 | 25 | 218 | 0 | 35 | 291 | 0 | 21 | 359 | 5 | 23 | 313 |

| Município Caibarien | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|------|-----------|--------|---------|------------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | | M - Rural | | | M - Urbano | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | 1 | — | — | 8 | — | — | — | — | — | 16 |
| C15 - C26 | — | 1 | 5 | — | 3 | 80 | — | — | 12 | — | 6 | 92 |
| C30 - C39 | — | 1 | 6 | — | 8 | 49 | — | — | 12 | — | 17 | 112 |
| C40 - C49 | — | — | — | 1 | — | 3 | — | — | — | — | — | 5 |
| C43 - C44 | — | — | — | — | 1 | 9 | — | 1 | — | — | 1 | 13 |
| C - 50 | — | — | 1 | — | 3 | 40 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 2 | 3 | — | 16 | 52 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 6 | 1 | 2 | 49 |
| C64 - C68 | — | — | — | — | — | 7 | — | — | 2 | — | — | 22 |
| C69 - C72 | 1 | — | — | 1 | 3 | 3 | — | — | 2 | — | — | 7 |
| C73 - C75 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | — |
| C76 - C80 | — | — | — | — | 2 | 11 | — | — | 1 | — | 1 | 9 |
| C81 - C96 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 23 | — | — | 2 | 2 | 6 | 24 |
| 776 | 2 | 6 | 17 | 3 | 38 | 285 | 0 | 1 | 38 | 4 | 33 | 349 |

| Município Remedios | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | 3 | — | 2 | 5 | — | 1 | 5 | — | 3 | 18 |
| C15 - C26 | — | 1 | 28 | — | 3 | 91 | — | 2 | 41 | 1 | 3 | 103 |
| C30 - C39 | — | 3 | 13 | — | 6 | 67 | — | 1 | 40 | — | 3 | 147 |
| C40 - C49 | — | 2 | — | — | — | 4 | — | 1 | 4 | — | 5 | 3 |
| C43 - C44 | — | — | 1 | — | 1 | 8 | — | — | 2 | — | — | 6 |
| C - 50 | — | 1 | 9 | — | 5 | 41 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 2 | 11 | — | 10 | 40 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 27 | — | — | 91 |
| C64 - C68 | — | — | 2 | 1 | 1 | 13 | — | 2 | 5 | — | 1 | 17 |
| C69 - C72 | — | — | 2 | — | 4 | 5 | — | — | 6 | 1 | 7 | 8 |
| C73 - C75 | 1 | — | 1 | — | — | 4 | — | — | — | — | — | — |
| C76 - C80 | — | — | 3 | — | 2 | 8 | — | 1 | 4 | — | — | 13 |
| C81 - C96 | — | — | 12 | — | 2 | 17 | — | 2 | 6 | 3 | 4 | 27 |
| 1049 | 1 | 9 | 85 | 1 | 36 | 303 | 0 | 10 | 140 | 5 | 26 | 433 |

| Município Placetas | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | 2 | — | — | 20 | — | — | 9 | — | — | 27 |
| C15 - C26 | — | — | 34 | — | 10 | 142 | — | 2 | 48 | — | 8 | 166 |
| C30 - C39 | — | 2 | 37 | — | 10 | 82 | — | 1 | 58 | — | 11 | 230 |
| C40 - C49 | — | — | 1 | — | 1 | 2 | — | 2 | 2 | 1 | 2 | 6 |
| C43 - C44 | — | 1 | 2 | — | 3 | 4 | — | — | 4 | — | 1 | 10 |
| C - 50 | — | 2 | 11 | — | 7 | 58 | — | — | — | — | — | 1 |
| C51 - C58 | — | 2 | 18 | — | 8 | 57 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 33 | — | 1 | 122 |
| C64 - C68 | — | — | 1 | — | 1 | 18 | — | — | 9 | 1 | — | 32 |
| C69 - C72 | — | 1 | 5 | — | 3 | 4 | — | 1 | — | 4 | 8 | 9 |
| C73 - C75 | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — |
| C76 - C80 | — | 1 | 3 | — | 3 | 19 | — | — | 11 | — | — | 13 |
| C81 - C96 | — | 2 | 2 | 2 | 7 | 30 | — | 3 | 13 | 2 | 7 | 37 |
| 1516 | 0 | 11 | 116 | 2 | 53 | 437 | 1 | 10 | 187 | 8 | 38 | 653 |

| Municipio Santa Clara | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | - | - | 2 | - | 6 | 32 | - | - | 8 | - | 5 | 96 |
| C15 - C26 | - | 3 | 29 | - | 30 | 528 | - | 2 | 33 | 3 | 36 | 490 |
| C30 - C39 | - | 1 | 14 | - | 26 | 264 | - | 1 | 42 | - | 57 | 696 |
| C40 - C49 | - | - | 1 | 2 | 7 | 15 | - | - | - | - | 11 | 19 |
| C43 - C44 | - | - | 1 | - | 2 | 17 | - | - | - | - | 3 | 31 |
| C - 50 | - | 4 | 12 | - | 49 | 231 | - | - | - | - | - | 1 |
| C51 - C58 | - | 4 | 5 | - | 48 | 194 | - | - | - | - | - | - |
| C60 - C63 | - | - | - | - | - | - | - | - | 27 | 1 | 9 | 369 |
| C64 - C68 | - | - | 4 | 4 | 4 | 37 | - | - | 7 | 2 | 7 | 95 |
| C69 - C72 | - | 1 | 4 | 4 | 8 | 27 | - | 1 | 4 | 5 | 6 | 51 |
| C73 - C75 | - | - | - | 2 | 1 | 8 | - | - | - | 3 | - | 8 |
| C76 - C80 | - | 1 | 2 | - | 4 | 90 | - | 1 | 5 | 1 | 7 | 68 |
| C81 - C96 | - | 5 | 7 | 3 | 19 | 116 | 1 | 6 | 13 | 7 | 31 | 139 |
| 4287 | 0 | 19 | 81 | 15 | 204 | 1559 | 1 | 11 | 139 | 22 | 172 | 2063 |

| Municipio Cifuentes | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | - | 1 | 2 | - | - | 1 | - | 1 | 6 | - | 1 | 3 |
| C15 - C26 | - | 5 | 30 | - | 4 | 40 | - | 2 | 47 | - | 1 | 45 |
| C30 - C39 | - | - | 21 | - | 4 | 27 | - | 1 | 74 | - | 2 | 54 |
| C40 - C49 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | 1 |
| C43 - C44 | - | 1 | - | - | - | 1 | - | - | 1 | - | 1 | 3 |
| C - 50 | - | 1 | 12 | - | 2 | 20 | - | - | - | - | - | - |
| C51 - C58 | - | 1 | 10 | - | 5 | 15 | - | - | - | - | - | - |
| C60 - C63 | - | - | - | - | - | - | - | - | 34 | - | - | 46 |
| C64 - C68 | - | - | 4 | - | - | 3 | - | - | 10 | - | 2 | 8 |
| C69 - C72 | - | 1 | 1 | - | 3 | 3 | - | 1 | 1 | - | 1 | 5 |
| C73 - C75 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C76 - C80 | - | - | 3 | - | 1 | 4 | - | - | 3 | - | - | 2 |
| C81 - C96 | 1 | 1 | 8 | 1 | - | 10 | 1 | 2 | 7 | - | 3 | 17 |
| 635 | 1 | 11 | 91 | 2 | 19 | 124 | 1 | 7 | 184 | 0 | 11 | 184 |

| Município Santo Domingo | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|------|-----------|--------|---------|------------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | | M - Rural | | | M - Urbano | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | 2 | — | 1 | 6 | — | — | 7 | — | — | 15 |
| C15 - C26 | — | 3 | 29 | — | 3 | 70 | — | 3 | 27 | — | 8 | 57 |
| C30 - C39 | — | 3 | 22 | — | 7 | 50 | — | 3 | 48 | — | 7 | 137 |
| C40 - C49 | — | — | — | — | 1 | 3 | — | — | 1 | — | 2 | 2 |
| C43 - C44 | — | — | 3 | — | 1 | 5 | — | — | 4 | — | — | 6 |
| C - 50 | — | 2 | 7 | — | 3 | 28 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 2 | 4 | — | 4 | 22 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 17 | — | — | 57 |
| C64 - C68 | — | — | 1 | 1 | 2 | 4 | — | — | 3 | — | 2 | 17 |
| C69 - C72 | — | — | 2 | — | 2 | 6 | — | 2 | 6 | — | 1 | 6 |
| C73 - C75 | 1 | — | 1 | — | — | 1 | — | — | 1 | — | — | 1 |
| C76 - C80 | — | — | 3 | 1 | — | 10 | — | — | 8 | — | — | 8 |
| C81 - C96 | — | 3 | 4 | 3 | 4 | 8 | — | 2 | 10 | 1 | 12 | 26 |
| 845 | 1 | 13 | 78 | 5 | 28 | 213 | 0 | 10 | 132 | 1 | 32 | 332 |

| Município Ranchuelo | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|------|-----------|--------|---------|------------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | | M - Rural | | | M - Urbano | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | — | — | — | — | 2 | 4 | — | — | 1 | — | — | 10 |
| C15 - C26 | — | — | 9 | — | 4 | 50 | — | — | 20 | 1 | 2 | 65 |
| C30 - C39 | — | 3 | 7 | — | 3 | 30 | — | 3 | 20 | — | 2 | 72 |
| C40 - C49 | — | — | — | — | — | 1 | — | — | 1 | — | 1 | 4 |
| C43 - C44 | — | — | 1 | — | — | 3 | — | — | — | — | 1 | 2 |
| C - 50 | — | 2 | 6 | — | 4 | 19 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 1 | 3 | — | 4 | 16 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 8 | — | 1 | 58 |
| C64 - C68 | — | — | — | — | — | 6 | — | 1 | 1 | — | 1 | 7 |
| C69 - C72 | — | — | 1 | — | — | 2 | — | — | 1 | 1 | — | 7 |
| C73 - C75 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| C76 - C80 | — | — | 2 | 2 | 1 | 10 | — | — | — | — | — | 9 |
| C81 - C96 | — | 1 | 3 | 1 | 2 | 8 | — | — | 5 | — | 3 | 8 |
| 527 | 0 | 7 | 32 | 3 | 20 | 149 | 0 | 4 | 57 | 2 | 11 | 242 |

| Município Manicaragua | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | - | - | 4 | - | - | 9 | - | - | 6 | - | - | 15 |
| C15 - C26 | - | 2 | 39 | - | 4 | 89 | - | 4 | 76 | - | 9 | 93 |
| C30 - C39 | - | 4 | 31 | - | 3 | 71 | - | 3 | 82 | 1 | 11 | 137 |
| C40 - C49 | - | 1 | - | - | - | 3 | - | 1 | 2 | - | 3 | 4 |
| C43 - C44 | - | - | 5 | - | - | 2 | - | 1 | 1 | - | - | 2 |
| C - 50 | - | 1 | 25 | - | 4 | 31 | - | - | - | - | - | - |
| C51 - C58 | - | 5 | 7 | - | 9 | 23 | - | - | - | - | - | - |
| C60 - C63 | - | - | - | - | - | - | - | - | 49 | - | - | 88 |
| C64 - C68 | - | 1 | 4 | - | - | 3 | - | - | 6 | - | 1 | 24 |
| C69 - C72 | - | 2 | 3 | - | 2 | 4 | 2 | 5 | 5 | - | 3 | 10 |
| C73 - C75 | - | - | 1 | - | - | 4 | 1 | - | 2 | - | - | - |
| C76 - C80 | - | 1 | 10 | - | - | 9 | - | 1 | 2 | - | - | 10 |
| C81 - C96 | - | 3 | 8 | 4 | 7 | 15 | - | 11 | 21 | 5 | 8 | 28 |
| 1186 | 0 | 20 | 137 | 4 | 29 | 263 | 3 | 26 | 252 | 6 | 35 | 411 |

| Município Rodas | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | - | 2 | 1 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | 5 |
| C15 - C26 | - | - | 6 | - | 1 | 17 | - | 2 | 15 | - | - | 14 |
| C30 - C39 | - | 1 | 7 | - | 2 | 13 | - | 2 | 15 | - | 2 | 24 |
| C40 - C49 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 3 |
| C43 - C44 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | - | 2 |
| C - 50 | - | 1 | 4 | - | 2 | 6 | - | - | - | - | - | - |
| C51 - C58 | - | - | 4 | - | 2 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| C60 - C63 | - | - | - | - | - | - | - | - | 10 | - | - | 19 |
| C64 - C68 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | 3 |
| C69 - C72 | - | - | - | - | - | 1 | - | 1 | 1 | - | - | 2 |
| C73 - C75 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C76 - C80 | - | - | 1 | - | - | 6 | - | - | 1 | - | - | 1 |
| C81 - C96 | - | - | 5 | - | - | 2 | - | - | 6 | - | 1 | 8 |
| 230 | 0 | 5 | 28 | 0 | 7 | 47 | 0 | 5 | 53 | 0 | 4 | 81 |

| Município Palmira | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | – | – | 3 | – | – | 3 | – | 1 | 2 | – | – | 16 |
| C15 - C26 | – | 3 | 14 | – | 3 | 33 | – | 1 | 13 | – | 7 | 45 |
| C30 - C39 | – | – | 9 | – | – | 27 | – | – | 33 | – | 7 | 84 |
| C40 - C49 | – | – | – | – | 1 | – | – | – | – | – | – | 4 |
| C43 - C44 | – | 1 | 1 | – | – | 4 | – | – | – | – | 2 | 5 |
| C - 50 | – | 3 | 6 | – | 4 | 21 | – | – | – | – | – | – |
| C51 - C58 | – | 1 | 8 | – | 4 | 17 | – | – | – | – | – | – |
| C60 - C63 | – | – | – | – | – | – | – | – | 26 | – | – | 58 |
| C64 - C68 | – | – | 1 | – | – | 2 | – | – | 1 | – | – | 9 |
| C69 - C72 | – | 1 | – | – | 1 | 2 | – | 1 | 1 | – | 1 | 8 |
| C73 - C75 | – | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| C76 - C80 | – | – | 4 | – | – | 5 | – | 1 | 3 | – | – | 8 |
| C81 - C96 | – | 3 | 4 | – | 3 | 13 | – | – | 3 | 1 | 3 | 16 |
| 566 | 0 | 13 | 50 | 0 | 16 | 127 | 0 | 4 | 82 | 1 | 20 | 253 |

| Município Lajas | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|--------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 |
| C00 - C14 | – | – | 2 | – | – | – | – | – | 1 | – | – | 3 |
| C15 - C26 | – | 2 | 10 | – | 2 | 25 | – | 1 | 28 | – | – | 20 |
| C30 - C39 | – | – | 23 | – | – | 16 | – | 3 | 45 | – | – | 48 |
| C40 - C49 | – | – | 1 | – | – | 1 | – | 1 | 2 | – | 2 | 1 |
| C43 - C44 | – | – | 1 | – | – | 2 | – | – | 1 | – | – | 1 |
| C - 50 | – | – | 9 | – | 6 | 9 | – | – | – | – | – | – |
| C51 - C58 | – | 5 | 3 | – | 1 | 14 | – | – | – | – | – | – |
| C60 - C63 | – | – | – | – | – | – | – | – | 34 | – | – | 25 |
| C64 - C68 | – | – | 2 | – | – | 2 | – | – | 6 | – | – | 2 |
| C69 - C72 | – | 3 | – | 1 | 1 | – | – | – | – | – | 1 | 3 |
| C73 - C75 | – | – | – | – | – | – | – | – | 1 | – | – | – |
| C76 - C80 | – | – | 3 | – | – | 3 | – | – | 5 | – | – | 2 |
| C81 - C96 | – | 1 | 2 | 2 | 2 | 7 | – | 1 | 7 | – | 3 | 8 |
| 416 | 0 | 11 | 56 | 3 | 12 | 79 | 0 | 6 | 130 | 0 | 6 | 113 |

| Município Cruces | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|---------|------|------------|--------|---------|-----------|--------|--------|------------|------|------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | > 50 |
| C00 - C14 | — | — | 1 | — | — | — | — | 2 | — | — | — | 15 |
| C15 - C26 | — | 1 | 16 | — | 2 | 63 | — | 1 | 27 | — | 4 | 61 |
| C30 - C39 | — | 1 | 16 | — | 1 | 18 | — | 4 | 47 | — | 9 | 103 |
| C40 - C49 | — | — | — | — | — | 3 | — | — | — | — | 2 | — |
| C43 - C44 | — | 1 | 1 | — | 2 | 3 | — | — | 4 | — | — | 3 |
| C - 50 | — | — | 9 | — | 7 | 21 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 2 | 7 | — | 4 | 30 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 34 | — | 2 | 48 |
| C64 - C68 | — | — | 2 | — | — | 5 | — | — | 3 | — | 1 | 6 |
| C69 - C72 | — | — | — | 2 | — | 1 | — | — | — | — | 1 | 5 |
| C73 - C75 | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — |
| C76 - C80 | — | — | — | — | — | 7 | — | 1 | 9 | — | — | 8 |
| C81 - C96 | — | 1 | 9 | — | 10 | 15 | — | 3 | 3 | 1 | 6 | 16 |
| 692 | 0 | 6 | 61 | 2 | 26 | 168 | 0 | 11 | 127 | 1 | 25 | 265 |

| Município Cumanayagua | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|---------|------|------------|---------|------|-----------|---------|------|------------|---------|------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 |
| C00 - C14 | — | — | 1 | — | — | 4 | — | — | 6 | — | — | 7 |
| C15 - C26 | — | 3 | 32 | 1 | 5 | 42 | — | 4 | 45 | — | 10 | 61 |
| C30 - C39 | — | 1 | 22 | — | 2 | 48 | — | 4 | 85 | — | 6 | 132 |
| C40 - C49 | — | — | — | 1 | 2 | — | — | — | 4 | — | 1 | 5 |
| C43 - C44 | — | — | — | — | — | 3 | — | 1 | 7 | — | — | 2 |
| C - 50 | — | 2 | 9 | — | 4 | 21 | — | — | — | — | — | — |
| C51 - C58 | — | 4 | 8 | — | 7 | 22 | — | — | — | — | — | — |
| C60 - C63 | — | — | — | — | — | — | — | — | 41 | — | 1 | 74 |
| C64 - C68 | — | 1 | 1 | — | — | 6 | — | — | 13 | — | 5 | 17 |
| C69 - C72 | — | 1 | — | 1 | 1 | 4 | — | 2 | 4 | — | 3 | 7 |
| C73 - C75 | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| C76 - C80 | — | 1 | 4 | — | — | 7 | — | 1 | 9 | — | — | 9 |
| C81 - C96 | — | — | 5 | 1 | 2 | 13 | — | 5 | 14 | 1 | 2 | 26 |
| 908 | 0 | 13 | 83 | 5 | 23 | 170 | 0 | 17 | 228 | 1 | 28 | 340 |

| Municipio Cienfuegos | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|---------|------|------------|---------|------|-----------|---------|------|------------|---------|------|
| CID - 10 | F - Rural | | | F - Urbano | | | M - Rural | | | M - Urbano | | |
| | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 | 0 - 14 | 15 - 49 | > 50 |
| C00 - C14 | - | - | - | - | 3 | 16 | - | - | 1 | - | 6 | 79 |
| C15 - C26 | - | - | 10 | - | 29 | 334 | - | - | 10 | - | 19 | 266 |
| C30 - C39 | - | - | 6 | 1 | 14 | 157 | - | 3 | 33 | - | 39 | 454 |
| C40 - C49 | - | 1 | - | - | 4 | 6 | - | - | 1 | - | 11 | 13 |
| C43 - C44 | - | - | 1 | - | 3 | 11 | - | - | 1 | - | 7 | 25 |
| C - 50 | - | 2 | 4 | - | 27 | 155 | - | - | - | - | - | 1 |
| C51 - C58 | - | 2 | 6 | - | 51 | 136 | - | - | - | - | - | - |
| C60 - C63 | - | - | - | - | - | - | - | - | 19 | - | 1 | 265 |
| C64 - C68 | - | - | 1 | - | 2 | 34 | - | - | 4 | - | 1 | 64 |
| C69 - C72 | - | - | - | 3 | 7 | 23 | - | 1 | 1 | 2 | 5 | 24 |
| C73 - C75 | - | - | - | - | 1 | 9 | - | - | - | - | - | 3 |
| C76 - C80 | - | - | - | - | 1 | 46 | - | - | 1 | - | - | 37 |
| C81 - C96 | 1 | 1 | 1 | 2 | 19 | 72 | - | - | 4 | 7 | 28 | 79 |
| 2.717 | 1 | 6 | 29 | 6 | 161 | 999 | 0 | 4 | 75 | 9 | 117 | 1310 |

Anexo 3 - Classificação internacional de doenças CID - 10 OPAS e OMS, Neoplasias.

| Código | Neoplasias malignas do lábio, cavidade oral e faringe (C00 - C14) |
|---------------|--|
| C00 | Neoplasia maligna do lábio |
| C01 | Neoplasia maligna da base da língua |
| C02 | Neoplasia maligna de outras partes e de partes não especificadas da língua |
| C03 | Neoplasia maligna da gengiva |
| C04 | Neoplasia maligna do assoalho da boca |
| C05N | Neoplasia maligna do palato |
| C06 | Neoplasia maligna de outras partes e de partes não especificadas da boca |
| C07N | Neoplasia maligna da glândula parótida |
| C08 | Neoplasia maligna de outras glândulas salivares maiores e das não especificadas |
| C09 | Neoplasia maligna da amígdala |
| C10 | Neoplasia maligna da orofaringe |
| C11 | Neoplasia maligna da nasofaringe |
| C12 | Neoplasia maligna do seio piriforme |
| C13 | Neoplasia maligna da hipofaringe |
| C14 | Neoplasia maligna de outras localizações e de localizações mal definidas, do lábio, cavidade oral e faringe |
| | |
| | Neoplasia maligna dos órgãos digestivos (C15 - C26) |
| C15 | Neoplasia maligna do esôfago |
| C16 | Neoplasia maligna do estômago |
| C17 | Neoplasia maligna do intestino delgado |
| C18 | Neoplasia maligna do cólon |
| C19 | Neoplasia maligna da junção retosigmóide |
| C20 | Neoplasia maligna do reto |
| C21 | Neoplasia maligna do ânus e do canal anal |
| C22 | Neoplasia maligna da vesícula biliar |
| C23 | Neoplasia maligna de outras partes e de partes não especificadas das vias biliares |
| C25 | Neoplasia maligna do pâncreas |
| C26 | Neoplasia maligna de outros órgãos digestivos e de localizações mal definidas no aparelho digestivo |
| | |
| | Neoplasia maligna do aparelho respiratório e dos órgãos intratorácicos (C30 - C39) |
| C30 | Neoplasia maligna da cavidade nasal e do ouvido médio |
| C31 | Neoplasia maligna dos seios da face |
| C32 | Neoplasia maligna da laringe |
| C33 | Neoplasia maligna da traquéia |
| C34 | Neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões |
| C37 | Neoplasia maligna do tímo |
| C38 | Neoplasia maligna do coração, mediastino e pleura |
| C39 | Neoplasia maligna de outras localizações e de localizações mal definidas do aparelho respiratório de dos órgãos intratorácicos |
| | |
| | Neoplasias malignas dos ossos e das cartilagens articulares (C40 - C41) |
| C40 | Neoplasia maligna dos ossos e cartilagens articulares dos membros |
| C41 | Neoplasia maligna dos ossos e das cartilagens articulares e de outras localizações e localizações não especificadas |
| | |
| | Melanomas e outras Neoplasias malignas de pele (C43 - C44) |
| C43 | Melanoma maligno o da pele |
| C44 | Outras Neoplasias malignas da pele |

| | |
|----------------|---|
| códigos | Neoplasias malignas do tecido mesotelial e tecidos moles (C45 - C49) |
| C45 | Mesotelioma |
| C46 | Sarcoma de Kaposi |
| C47 | Neoplasia maligna dos nervos periféricos e do sistema nervoso autônomo |
| C48 | Neoplasia maligna dos tecidos moles do retroperitônio e do peritônio |
| C49 | Neoplasia maligna do tecido conjuntivo e de outros tecidos moles |
| | |
| | Neoplasia maligna da mama (C50) |
| C50 | Neoplasia maligna da mama |
| | |
| | Neoplasia maligna dos órgãos genitais femininos (C51 - C58) |
| C51 | Neoplasia maligna da vulva |
| C52 | Neoplasia maligna da vagina |
| C53 | Neoplasia maligna do colo do útero |
| C54 | Neoplasia maligna do corpo do útero |
| C55 | Neoplasia maligna do útero, porção não especificada |
| C56 | Neoplasia maligna do ovário |
| C57 | Neoplasia maligna de outros órgãos genitais femininos de dos não especificados |
| C58 | Neoplasia maligna da placenta |
| | |
| | Neoplasia maligna dos órgãos genitais masculinos (C60 - C63) |
| C60 | Neoplasia maligna do pênis |
| C61 | Neoplasia maligna da próstata |
| C62 | Neoplasia maligna dos testículos |
| C63 | Neoplasia maligna de outros órgãos genitais masculinos e dos não especificados |
| | |
| | Neoplasia maligna do trato urinário (C64 - C68) |
| C64 | Neoplasia maligna do rim, exceto pelve renal |
| C65 | Neoplasia maligna da pelve renal |
| C66 | Neoplasia maligna dos ureteres |
| C67 | Neoplasia maligna da bexiga |
| C68 | Neoplasia maligna de outros órgãos urinários e dos não especificados |
| | |
| | Neoplasia maligna dos olhos, do encéfalo e de outras partes do sistema nervoso central (C69 - C72) |
| C69 | Neoplasia maligna do olho e anexos |
| C70 | Neoplasia maligna das meninges |
| C71 | Neoplasia maligna da medula espinhal, dos nervos cranianos e de outras partes do sistema nervoso central. |
| C72 | Neoplasia maligna da bexiga |
| | |
| | Neoplasia maligna dos olhos, do encéfalo e de outras partes do sistema nervoso central (C73 - C74)...(193,194) |
| C73 | Neoplasia maligna da glândula tireóide |
| C74 | Neoplasia maligna da glândula supra - renal |
| C75 | Neoplasia maligna de outras glândulas endócrinas e de estruturas relacionadas |
| | |
| | Neoplasia maligna de localizações mal definidas secundária e de localizações não especificadas (C76 -C80)... (195 – 199) |
| C76 | Neoplasia maligna de outras localizações e de localizações mal definidas |
| C77 | Neoplasia maligna a secundária e não especificada dos gânglios linfáticos |
| | Neoplasia maligna secundária dos órgãos respiratórios e digestivos |