

---

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO  
AMBIENTAL E EPIDEMIOLÓGICA DE RADIAÇÕES NATURAIS (RADÔNIO) NO  
ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE (RS - BRASIL)**

SÉRGIO ALFREDO BUFFON

Dissertação para a obtenção do título de  
Mestre em Engenharia

Porto Alegre  
2002

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO  
AMBIENTAL E EPIDEMIOLÓGICA DE RADIAÇÕES NATURAIS (RADÔNIO) NO  
ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE (RS – BRASIL)**

Sérgio Alfredo Buffon  
Geólogo

Trabalho realizado no Departamento de Minas da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral

Porto Alegre  
2002

Esse trabalho foi julgado adequado para dissertação de mestrado em Engenharia, área de concentração de Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Adelir Strieder

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira (LPGA - UFPR)  
Prof. Dr. Augusto Cesar Bittencourt Pires (Inst. Geologia – UnB)  
Prof. Dr. Telmo Fernando P. de Quadros (FEPAM – SEMA – RS)  
Prof. Dr. Marco Túlio M. B. de Vilhena (PPGEM)  
Prof. Dr. Adelir José Strieder (PPGEM – orientador)

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe  
Coordenador do PPGEM

Dedico esse trabalho aos meus pais, Beloni e Luiz, pelo constante apoio a minha formação profissional, com exemplo de vida, de caráter, de ética, de honestidade e de trabalho.

É dedicado também, esse trabalho aos meus irmãos, Juliane e César.

---

## AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Ao professor Adelir José Strieder pela orientação, pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado e pela confiança no trabalho.

Ao amigo e professor Telmo Fernando de Perez de Quadros, pelas esclarecedoras discussões na área de SIG, pelo constante auxílio, pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado, e pelas sugestões e observações valiosas.

Ao professor Francisco J. F. Ferreira pelo aprendizado na área de geofísica.

Ao Dr. Paulo R. Grassi da Secretaria da Saúde do Rio Grande do Sul, a Enf. Neide Ana Spinato (COREN-RS), e a Enf. Sandra Rodrigues dos Santos (SS-RS) pelas valiosas contribuições com o banco de dados de neoplasias.

A CPRM pela utilização do banco de dados aerogeofísicos.

Ao professores Vitor Haertel do CESUP e Nestor Kämpf da Agronomia, por transmitir suas valiosas sabedorias.

Aos colegas do Laboratório de Modelagem Geológica Ambiental – MODELAGE, pela agradável companhia, aos geólogos Dr. Carlos Pires, Carlos Iglesias, Roberto Heemann, e o Eng. Civil Antônio Valente pelo incentivo.

Aos colegas do Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro, e da secretaria pela convivência.

Ao colega Eng. Civil Gelson, pela descontração na hora do descanso “reuniões”.

Ao amigo ausente, pelas conversas, trocas de idéias e de pontos de vista oportunamente tidas.

“Nada há o que temer na vida,  
só é preciso que se entenda tudo”

Marie Curie (1867-1934)

“Para enxergar claro,  
basta mudar a direção do olhar”

Antoine Saint-Exupéry (1900-1944)

“Contrary to some perceptions,  
there is no unique association between  
radiation and cancer risk”

Mukherjee & Mircheva  
(Comentário sobre os efeitos biológicos da  
radiação na revista IAEA, 1991)

---

**SUMÁRIO**

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xv
<b>LISTA DE FÓRMULAS</b> .....	xviii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS</b> .....	xix
<b>LISTA DE FATORES DE CONVERSÃO</b> .....	xxi
<b>RESUMO</b> .....	xxii
<b>ABSTRACT</b> .....	xxiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Objetivos .....	3
1.2 Localização e Acessos .....	5
1.3 Aspectos Fisiográficos .....	6
1.4 Aspectos Geológicos .....	8
<b>2 RADIAÇÃO NATURAL COMO ELEMENTO EPIDEMIOLÓGICO</b> .....	12
2.1 Fontes de Radiação Natural e Decaimento Radioativo .....	13
2.2 Influência da Radiação Natural nos Seres Humanos .....	19
2.3 Estudos de Caso .....	26
2.4 Metodologia de Investigação .....	30
<b>3 INCIDÊNCIAS E CAUSAS DE NEOPLASIA NO RIO GRANDE DO SUL</b> .....	33
3.1 Tipificação de Neoplasias .....	34
3.2 Análise Estatística dos dados Epidemiológicos .....	37
3.3 Análise Espacial da Incidência de Neoplasias no Rio Grande do Sul .....	39

---

<b>4 NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO NATURAL DE RADIOELEMENTOS NO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE .....</b>	<b>46</b>
4.1 Quantificação das Fontes de Informações Disponíveis .....	47
4.2 A Distribuição de Fontes de Radiação no escudo sul-riograndense, uma Análise Espacial .....	50
4.3 Relação entre a Geologia e os Mapas Aerogamaespectrométricos .....	55
4.4 Radiação ambiental vs. produção de radônio vs. Geologia .....	63
<b>5 ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA NO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE .....</b>	<b>73</b>
5.1 Metodologia Empregada na Análise Epidemiológica.....	74
5.2 Modelo Conceitual.....	74
5.3 Base de Dados.....	75
5.3.1 PI Neoplasia .....	76
5.3.2 PI Gamaespectrometria.....	77
5.3.3 PI População .....	77
5.3.4 PI Município .....	77
5.3.5 PI Cidade.....	77
5.3.6 PI Geologia .....	78
5.3.7 PI Limite de Projeto .....	78
5.4 Processamento dos Dados.....	79
5.4.1 PI Neoplasia .....	79
5.4.2 PI Gamaespectrometria.....	80
5.4.3 PI População .....	81
5.4.4 PI Município .....	81
5.4.5 PI Cidade.....	82
5.4.6 PI Geologia .....	82
5.4.7 PI Limite de Projeto .....	82

---

5.5 Operações de SIG.....	83
5.5.1 Reclassificação do PI Gamaespectrométrico .....	83
5.5.2 Transformação para Quadtree.....	85
5.5.3 Metodologia Empregada na Integração.....	86
5.5.4 Análise de Correlação .....	90
5.5.4.1 Análise Qualitativa, PI Neoplasia e PI Gamaespectrometria.....	90
5.5.4.2 Análise Quantitativa.....	95
5.5.4.2.1 PI Neoplasia e PI Gamaespectrometria.....	97
5.5.4.2.2 PI Gamaespectrometria e PI Geologia .....	97
5.5.5 Análise de dados por matriz de sobreposição (integração).....	98
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>138</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>139</b>

---

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.1 – Fluxograma das atividades desenvolvidas nessa dissertação .....	4
Figura 1.2 – Mapa de localização da área de estudo da avaliação ambiental preliminar de radiação natural como elemento epidemiológico.....	5
Figura 1.3 – As principais vias de deslocamento interno no estado do Rio Grande do Sul. ....	6
Figura 1.4 – Esboço geológico do estado do Rio Grande do Sul mostrando as quatro províncias geológicas e em detalhe a área de estudo (mapa compilado do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Brasil, 1989). ....	8
Figura 1.5 – Embasamento cristalino do estado do Rio Grande do Sul, subdividido em cinco unidades litológicas distintas (mapa compilado do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, 1989).....	9
Figura 2.1 – Gráfico estimado da radiação existente na atmosfera (modificado de BEIR V, 1990). ....	12
Figura 2.2 – Alcance das radiações alfa, beta e gama, nas moléculas de ar .....	14
Figura 2.3 – Representação gráfica do tipo de emissão de radiação e a mudança do número atômico e de massa na série de decaimento do urânio 238 (adaptado de Kaplan, 1978 e de Nielson <i>et al.</i> , 1990). ....	16
Figura 2.4 – Representação gráfica do tipo de emissão de radiação e a mudança do número atômico e de massa na série de decaimento do urânio 235 (adaptado de Kaplan, 1978 e de Nielson, <i>et al.</i> , 1990). ....	17
Figura 2.5 – Representação gráfica do tipo de emissão de radiação e a mudança do número atômico e de massa na série de decaimento do tório 232 (adaptado de Kaplan, 1978 e de Nielson, <i>et al.</i> , 1990).....	18
Figura 3.1 - Coeficiente de mortalidade por todas as causas de neoplasias malignas, todas as idades, por sexo no Rio Grande do Sul entre 1980-1999, e identificadas por épocas. (fonte: coordenadoria de informações em saúde – CIS/SES Brasil, 1998) .....	37

---

Figura 3.2 – Histogramas dos dados de neoplasias das épocas 1, 2 e 3.....	37
Figura 3.3. Mapa da distribuição de neoplasias do estado do Rio Grande do Sul na época 1 sem o ajuste na divisão territorial ocasionada pelas emancipações (Fonte: SS-RS). .....	42
Figura 3.4 – Mapa da distribuição de neoplasias do estado do Rio Grande do Sul na época 1 (período entre 1982 e 1986), com o ajuste na divisão territorial ocasionado pelas emancipações (Fonte: SS-RS). .....	43
Figura 3.5 – Mapa da distribuição de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul da época 2 (período entre 1986 e 1991), com o ajuste na divisão territorial ocasionado pelas emancipações (Fonte: SS-RS). .....	44
Figura 3.6 – Mapa da distribuição de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul na época 3 (período entre 1992 e 1995), com o ajuste na divisão territorial ocasionado pelas emancipações (Fonte: SS-RS). .....	44
Figura 3.7 – Mapa da distribuição de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul no período entre 1982 e 1995 (Fonte: SS-RS), delimitado pelas províncias geológicas. ....	45
Figura 4.1 – Localização dos projetos aerogeofísicos no Rio Grande do sul. a) Projeto Camaquã, série 1010, b)Projeto Extremo Sudeste do Brasil, série 1034 (Brasil-CPRM, 2000) .....	48
Figura 4.2 - Mapa dos projetos aerogeofísicos com a indicação do sentido das linhas de vôo. A) Projeto Camaquã. B) Projeto Extremo Sudeste do Brasil.....	50
Figura 4.3 - Histogramas de frequência e cumulativos dos dados aerogeofísicos originais. Projeto Extremo Sudeste do Brasil (a- canal de eTh, b- canal de eU); Projeto Camaquã (c- canal de eTh e d- canal de eU).....	52
Figura 4.4 - Histogramas de frequência e cumulativos dos dados aerogeofísicos após a interpolação. Projeto Extremo Sudeste do Brasil (a- canal de eTh, b- canal de eU); Projeto Camaquã (c- canal de eTh e d- canal de eU). ....	53
Figura 4.5 - Histogramas de frequência e cumulativos dos dados aerogeofísicos processados e filtrados com o filtro coseno direcional na potência 12. Projeto Extremo Sudeste do Brasil (a- canal de eTh, b- canal de eU); Projeto Camaquã (c- canal de eTh e d- canal de eU). ....	54

- 
- Figura 4.6 - Gráfico da variação nos teores médios de Th e U nas rochas ígneas em relação ao teor de Sílica (Si) (Dickson & Scott, 1997)..... 56
- Figura 4.7 – Variações na concentração de radioelementos em perfil alterado de solo arenoso residual altamente lixiviado, desenvolvido sobre granito ao norte de Queensland, Austrália (Wilford *et al.*, 1997)..... 60
- Figura 4.8 – A ilustração mostra a influência que os processos geomorfológicos ocasionam na emissão de radiação gama (Wilford *et al.*, 1997)..... 61
- Figura 4.9 – Drenagens do Complexo Canguçu sobrepostas ao mapa de concentração de Tório (ppm) da parte sudeste do estado. Em destaque, o Rio Piratini e o Arroio Pelotas, que apresentam elevadas concentrações de rádio-elementos. .... 62
- Figura 4.10 – Drenagens nas seqüências vulcanossedimentares de cobertura do Grupo Camaquã sobreposto ao mapa de concentração de Tório, destaque no rio Irapuá que apresentam baixa concentração de radioelementos..... 63
- Figura 4.11 – Mapa do Canal radiométrico de urânio (U) em *micro-Roentgen/hr (mR/h)* da área de estudo com algumas unidades litológicas ou litoestratigráfica da área de estudo: A - Bacia do Paraná; A\*- Bacia do Paraná.do lado oeste; B- Complexo Granítico Dom Feliciano; C - Complexo Granítico Encruzilhada do Sul; D - Formação Serra Geral; E - Complexo Canguçu; F - Grupo Camaquã.; G - Complexo Granítico Lavras do Sul; e H - Grupo Marica ..... 66
- Figura 4.12 – Mapa do Canal radiométrico de tório (Th) em *micro-Roentgen/hr (mR/h)* da área de estudo com algumas unidades litológicas ou litoestratigráfica da área de estudo: A - Bacia do Paraná; A\*- Bacia do Paraná.do lado oeste; B- Complexo Granítico Dom Feliciano; C - Complexo Granítico Encruzilhada do Sul; D - Formação Serra Geral; E - Complexo Canguçu; F - Grupo Camaquã.; G - Complexo Granítico Lavras do Sul; e H - Grupo Marica ..... 67
- Figura 4.13 – Mapa do Canal radiométrico de tório + urânio (Th+U) em *micro-Roentgen/hr (mR/h)* da área de estudo com algumas unidades litológicas ou litoestratigráfica da área de estudo: A - Bacia do Paraná; A\*- Bacia do Paraná.do lado oeste; B- Complexo Granítico Dom Feliciano; C -

Complexo Granítico Encruzilhada do Sul; D - Formação Serra Geral; E - Complexo Canguçu; F - Grupo Camaquã.; G - Complexo Granítico Lavras do Sul; e H - Grupo Marica.....	68
Figura 4.14 – A ilustração mostra a fuga do gás radônio (Rn) para o meio ambiente, aproveitando a porosidade (primária) e as fraturas (secundária) presente nos sedimentos. (modificado de Otton <i>et al.</i> 1995) .....	70
Figura 5.1 – Etapas constituintes do processo para a realização da integração de dados (modificado de Wright & Bonham Carter, 1996). .....	74
Figura 5.2 – Área hachurada é região do estado do Rio Grande do Sul onde foi realizada a integração de dados entre os <b>PIs</b> de neoplasias e de gamaespectrometria. ....	78
Figura 5.3 – Mapa do PI Neoplasia, com a região do escudo sul-riograndense, na qual será utilizada para a integração de dados. ....	87
Figura 5.4 – Mapa do PI Gamaespectrometria re-classificado que será utilizado para o estudo de integração de dados.....	88
Figura 5.5 - Tabela bidimensional usada para a metodologia de integração de dados por matriz de sobreposição (adaptada de TYDAC, 1997). ....	89
Figura 5.6 – Demonstração da metodologia de integração de dados por matriz de sobreposição (adaptada da TYDAC, 1997). ....	89
Figura 5.7 - Análise de correlação entre os <b>PI</b> Neoplasia e o <b>PI</b> Gamaespectrométrico através da metodologia de matriz por sobreposição. ....	91
Figura 5.8 - Mapa da análise de correlação pela metodologia de matriz de sobreposição. ...	92
Figura 5.9 – Município de Lavras do sul caracterizado pelo: A) mapa geológico simplificado (adaptado de Brasil 1989); B) <b>PI</b> Neoplasia, adaptado da Figura 3.7 (fonte - SS-RS); C) <b>PI</b> Gamaespectrométrico adaptado da Figura 5.4; D) análise de correlação por matriz de sobreposição entre o <b>PI</b> Neoplasia e o <b>PI</b> Gamaespectrométrico.....	93
Figura 5.10 – Mapa de proximidade da análise de correlação por matriz de sobreposição entre o <b>PI</b> Neoplasia e o <b>PI</b> Gamaespectrométrico, no município de Lavras do Sul. ....	94
Figura 5.11 – Arranjo da matriz conservadora; A) arranjo 1; e B) arranjo 2.....	99

---

Figura 5.12 – Arranjo da matriz não conservadora; A) arranjo 1; e B) arranjo 2.....	100
Figura 5.13 – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz conservadora, arranjo 1. ....	101
Figura 5.14 – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz conservadora, arranjo 2.....	103
Figura 5.15 – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz não conservadora, arranjo 1. ....	104
Figura 5.16 – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz não conservadora, arranjo 2. ....	105
Figura 5.17 – Mapa de risco epidemiológico caracterizado por zona de proximidade de raio de 10 km, usando o mapa de integração Conservador do arranjo 1 da figura 5.13.....	108
Figura 5.18 – Mapa de risco epidemiológico caracterizado por zona de proximidade de raio de 10 km, usando o mapa de integração não conservador do arranjo 1 da figura 5.15.....	109

---

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Lista da série de decaimento do urânio 238 com seu modelo de desintegração, meia-vida e constantes de desintegração (adaptada de Kaplan, 1978 e de Nielson <i>et al.</i> , 1990).....	16
Tabela 2.2 – Lista da série de decaimento do urânio 235 com o modo de desintegração, meia-vida e constantes de desintegração (adaptada de Kaplan, 1978). ....	17
Tabela 2.3 – Lista da serie de decaimento do tório 232, com o modo de desintegração, meia-vida e constantes de desintegração (adaptada de Kaplan, 1978 e de Nielson, <i>et al</i> 1990). ....	18
Tabela 2.4 – Dose de tolerância de alguns tecidos (Barrios & Sartori, 1995). ....	24
Tabela 2.5 – Relação entre intensidade da dose e efeitos somáticos descritos pelo CNEN (Brasil, 1995). ....	25
Tabela 2.6 – Exalação de gás radônio em materiais de construção usados no Egito (modificado de Maged & Borham, 1997).....	27
Tabela 2.7 – Comparação da exalação de radiação entre o conjunto de materiais de construção empregados nas edificações no Egito (modificado de Maged & Borham, 1997) .....	28
Tabela 3.1 - Os grupos de neoplasias identificadas pelo tipo principal de neoplasia do grupo e a comparação dos códigos de nomenclatura e por meio dos códigos de classificação (CID-9, CID-10 e CIDBR-10). ....	35
Tabela 3.2 – Parâmetros estatístico básico dos dados de neoplasias das épocas 1, 2, 3 e total. ....	38
Tabela 3.3 – Identificação de alguns municípios do estado do Rio Grande do Sul que se emanciparam, com a identificação do município de origem e da data de sua emancipação (fonte IBGE). ....	40
Tabela 3.4 – População dos municípios de Jaguari e de Nova Esperança do Sul, antes e após a emancipação ocorrida em 1988, do município de Nova Esperança do sul do município de Jaguari (fonte IBGE). ....	40

---

Tabela 3.5 – Comparação da história epidemiológica de alguns municípios do estado do Rio Grande do Sul no período de 1982 a 1995 (fonte SS-RS). .....	41
Tabela 4.1 - Principais parâmetros do Projeto Aerogeofísico Camaquã (Brasil-CPRM, 2000). .....	47
Tabela 4.2 - Principais Parâmetros do Projeto Aerogeofísico Extremo Sudeste do Brasil (Brasil-CPRM, 2000). .....	48
Tabela 4.3 - Estatística dos dados aerogeofísicos dos canais radiométricos de eTh e eU originais (não processados), dos projetos da área de estudo. ....	52
Tabela 4.4 - Estatística dos dados aerogeofísicos dos canais radiométricos de eTh e eU após interpolação por meio do método da curvatura mínima. ....	53
Tabela 4.5 - Estatística dos dados aerogeofísicos dos canais radiométricos de eTh e eU interpolados e filtrados com filtro coseno direcional na potência 12. ....	54
Tabela 4.6 - Concentração de radioelementos Th e U em diferentes tipos de rochas australianas (adaptada de Nielson <i>et al.</i> , 1990 e de Rigoto <i>et al.</i> , 1998). ....	56
Tabela 4.7 - Concentrações de radioelementos Th e U em diferentes unidades lito-estratigráficas. As concentrações estão indicadas em: <i>range</i> (média) [desvio padrão]. a) Complexo Granítico Dom Feliciano: granitos polidiapíricos avermelhados a cinza; b) formações Rio do Rastro, Rosário do Sul e Santa Maria: sedimentos da Bacia do Paraná; c) Complexo Granítico Encruzilhada: granitóides, granitos, sienitos e granodioritos; d) Complexo Canguçu: granito-gnaiss com migmatitos, granitóides de composição diorítica granodiorítica a monzogranítica, rochas gnaisses de fácies anfibolito superior a granulito; e) Grupo Camaquã: depósitos molássicos resultantes dos eventos finais da orogênese brasileira (sedimentar, vulcano-sedimentar, vulcânico); e) Grupo Maricá: rochas vulcano-sedimentares com vulcanismo intermediário a ácido (Brasil-DNPM, 1989). .....	57
Tabela 4.8 - Concentrações dos radioelementos Th e U em solos derivados de diferentes rochas (adaptada de Dickson & Scott, 1997 e de Wilford <i>et al.</i> , 1997). .....	59
Tabela 4.9 – Características radiométricas quanto à taxa de exposição média de algumas unidades litológicas ou lito-estratigráficas da área de estudo.	

---

Essas características estão descritas de modo qualitativo como: alta, média, ou baixa taxa de exposição. A posição espacial das unidades está identificada por legenda e expressa pelas letras de A até H nas figuras. .... 65

Tabela 5.1 – Classes da re-classificação do **PI** Gamaespectrométrico e os efeitos epidemiológicos causados pela dosagem da taxa de absorção (adaptada de: Bitelli, 1982; Murray, 1963; Wher & Richard, 1965; Barrios e Sartori, 1995; e Brasil, 1995)..... 85

---

**LISTA DE FÓRMULAS**

1-Normalização dos casos de Neoplasia em relação ao numero de habitantes do município .....	36
2-Taxa de exposição em <i>micro-Roentgen/hr (mR/h)</i> total.....	54
3-Taxa de exposição total de Th + U em <i>micro-Roentgen/hr (mR/h)</i> .....	54
4-Coeficiente de contingência “C”, empregado em tabelas politômicas.....	95
5-Para calcular do qui-quadrado “ $\chi^2$ ” .....	95
6-Coeficiente máximo tabela de contingência politômicas quadrada.....	96
7-T de Tschuprow, para tabelas de contingência politômicas quadradas .....	96
8-V de Cramer, para tabelas de contingência politômicas retangulares .....	96

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\alpha$	-	partícula alfa
$\beta$	-	partícula beta
$\gamma$	-	partícula gama
BARMP		Brazil Airborne Radiometric Mapping Project
BEIR	-	<i>Committee Biological Effects of Ionizing Radiation</i>
SEP		Código de Endereçamento Postal
CID	-	Classificação Internacional de Doenças
CPRM	-	Serviço Geológico do Brasil
cps	-	contagens por segundo
DIGEOP	-	Divisão de Geofísica da CPRM
DNA	-	ácido desoxirribonucléico
DNPM	-	Departamento Nacional de Produção Mineral
DO	-	Declaração de Óbito
EPA	-	<i>Environmental Protection Agency</i>
ENVI	-	<i>The Environment for Visualizing Images</i>
EU-BSS	-	<i>European Basic Safety Standards Directive</i>
eU	-	equivalente Urânio
eTh	-	equivalente Tório
Gy	-	gray
IAEA	-	<i>International Atomic Energy Agency</i>
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGR	-	Instituto Goiano de Radioterapia
IPEN	-	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
NRCP	-	<i>National Council on Radiation Protection and Measurement</i> - Estados Unidos

---

PI	-	Plano de Informação
PIs	-	Planos de Informações
ppm	-	parte por milhão (concentração de elementos)
Rad	-	dose de radiação absorvida
Rn	-	gás radônio
RPD	-	<i>Radiation Protection Division</i>
RBE	-	eficiência biológica relativa
R	-	roentgen
R/h	-	roentgen por hora
mR/h	-	miliroentgen por hora
rem	-	equivalente humano de roentgen
SI	-	sistema internacional
SIM-RS	-	Sistema de Informação sobre Mortalidade do estado do Rio Grande do Sul.
SPANS	-	<i>Spatial Analysis System</i>
SS-RS	-	Secretaria da Saúde do estado do Rio Grande do Sul
SSNTD	-	<i>Solid State Nuclear Track Detector</i>

---

## LISTA DE FATORES DE CONVERSÃO

### Atividade radioativa

1 bequerel (Bq) = 1 desintegração por segundo

1 picocurie (pCi) = 0,037 desintegrações por segundo, ou 2,22 por minuto = 0,037 Bq

1 Curie (Ci) = 37 bilhões de desintegrações por segundo

### Concentração de gás radônio para um volume de ar (1 litro de ar)

1 pCi/L = 37 Bq/m<sup>3</sup> (Becquerels por metro cubico) = 1,85 mSv y<sup>-1</sup>

### Atividade da radiação alfa para um volume de ar

1 Working Level (WL) = 2x10<sup>2</sup> pCi/L = 7,4 x 10<sup>3</sup> Bq/m<sup>3</sup> = 6 rem = 1,3x10<sup>5</sup> MeV

### Radiação absorvida por unidade de massa 6,424x10<sup>3</sup>eV/g(0,01 J/kg)

1 Gy = 100 rad

1 R (roentgen) = 1 rad (aproximadamente)

mR = R/1000 (milésima parte do roentgen)

1 rad = 100 ergs/g (aproximadamente)

1 rem = 0,01 Sievert (SV)

---

## RESUMO

Os efeitos provocados por radiações são conhecidos na literatura por meio dos estudos em usinas nucleares e em testes bélicos. Entretanto, os efeitos da radiação natural vêm despertando a atenção das autoridades da saúde, dentre as quais se destaca a *Environmental Protection Agency* (EPA) nos Estados Unidos e a *National Radiological Protection Board* (NRPB) no Reino Unido. Os efeitos epidemiológicos ocasionados por radiação de origem natural, mais especificamente a radiação emanada pelo gás radônio que fica acumulado em residências enclausuradas por muito tempo, tem sido alvo de intensas investigações.

Nessa dissertação, foi realizada uma avaliação ambiental preliminar da radiação natural devida ao radônio como elemento epidemiológico no Estado Sul-riograndense. Os dados utilizados para determinar o risco epidemiológico foram: neoplasias, radiação, geologia e população. O banco de dados dos casos de óbitos por neoplasias do estado foi obtido da Secretaria da Saúde, por meio do Núcleo de Informação em Saúde. A radiação natural devida ao radônio foi determinada a partir dos dados gamaespectrométricos obtidos de levantamento aerogeofísico da CPRM no Estado Sul-riograndense, nos projetos Camaquã e Extremo Sudeste do Brasil realizados nos anos de 1973 e 1978, respectivamente. Os dados geológicos foram obtidos do Mapa Geológico do Estado de 1989. Os dados de população foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A integração de dados foi realizada usando a metodologia de matriz de sobreposição entre os dados de casos de óbitos por neoplasia e de gamaespectrometria. Os dados de população foram empregados para normalizar os dados de neoplasias, e o dado de geologia para correlacionar com a gamaespectrometria. Os resultados da integração são mapas classificados pelo grau de risco epidemiológico, nos quais é apresentada a relação entre os casos de neoplasias pela intensidade de radiação devida ao radônio. Nesse sentido, uma boa relação foi assinalada e são recomendados estudos adicionais sobre esse mesmo banco de dados.

---

## ABSTRACT

The radiation effects on human beings are known from studies carried out on nuclear power plants and nuclear tests. However, the radiation effects due to natural radiation have been recently considered on health agencies, such as U.S.A. *Environmental Protection Agency* (EPA) and United Kingdom *National Radiological Protection Board* (NRPB). The epidemiological character due to natural radiation, mainly that regarded to radon emanation, has been investigated in last years, because the radon gas is accumulated in closed houses.

This master dissertation is devoted to a preliminary evaluation of natural radon emanation as an epidemiological element in the Sul-riograndense shield. The data used in this evaluation are: cancer deaths, natural radiation, geology and population. Just special types of cancer deaths were considered in this evaluation and the data were made available from Núcleo de Informação em Saúde of the Health State Secretary (Rio Grande do Sul). The natural radiation due to radon was determined from an aerogeophysical survey (gamaspectrometric) carried out during 1973 (Camaquã Project) and 1978 (Extremo Sudeste do Brasil) by the Geological Survey of Brazil (CPRM). The geological data is from Rio Grande do Sul geological map, published in 1989. The population data was obtained from Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

The data integration was performed through matrix of superposition method. The main input data were cancer deaths and natural radon emanation (gamaspectrometric data). The population data was used in order to normalize the cancer deaths original data. The gamaspectrometric data was used to achieve a better correlation with geological map. The results of data integration procedures are maps classifying epidemiological risk in the Sul-riograndense Shield, in which the relation between cancer deaths and radon emanation intensity are shown. In this way, a good correlation is shown and additional studies are recommended.

---

# CAPÍTULO 1

## *INTRODUÇÃO*

Em 1896, o francês Antoine-Henri Becquerel observou que os sais de urânio emitiam raios, como os raios X. Essa descoberta acabou influenciando Marie Curie (1867-1934) na procura de um assunto para o seu doutorado. Assim, Marie Curie mediu esses raios e verificou a existência de outros elementos, além do urânio, que emitem radiação. Esses trabalhos mudaram todo um arcabouço conceitual, pois foi verificado que a atividade radioativa dependia somente da quantidade de elemento radioativo. Hoje, são conhecidos toda uma série de elementos radioativos, suas características, aplicações e malefícios. Entre esses elementos radioativos, destaca-se o gás radônio (Rn).

Além da construção de usinas de geração de eletricidade e de outros fins civis, militares e/ou medicinais, o estudo da radiação também está amplamente dirigida para o âmbito geológico, na área da pesquisa mineral. No Brasil os levantamentos de radiação são realizados desde 1952, desde então foram pelos projetos de levantamento aerogeofísico conduzidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), pela Empresas Nucleares Brasileiras S.A. (NUCLEBRÁS), pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e por alguns governos estaduais e empresas privadas.

No estado do Rio Grande do Sul, o levantamento de radiação foi realizado pelo DNPM e pela CPRM. Um dos objetivos desses levantamentos no estado foi à aquisição de dados gamaespectrométricos de algumas partes do estado para o estudo geológico. Os dados radiométricos originais desse projeto foram convertidos de "contagens por segundo" (cps) para concentração de elementos (ppm) em 1996 (Brasil, 1997), o que proporcionou uma

---

melhor abordagem na quantificação e na identificação de regiões com diferentes concentrações de radiação.

No percurso da história da radiação, registra-se algumas curiosidades, uma das quais está relacionada com a família Curie. Na época em que o casal Curie estudava um novo elemento por meio do processo de purificação, processo este que gerava grande atividade radioativa, o casal Curie teve que se afastar dos trabalhos por motivos de saúde. No diagnóstico, constava um cansaço inexplicável, um possível reumatismo nas articulações, principalmente dos dedos, entre outras doenças resultantes da saúde debilitada em que se encontravam. Naquela época, as conseqüências da radiação eram desconhecidas, tampouco os efeitos nocivos sobre os seres humanos (Veríssimo, 1988).

O surgimento da Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* – EPA) em 1970 nos Estados Unidos, dentro da qual há a Divisão de Proteção de Radiação (*Radiation Protection Division* – RPD), organizou e orientou a pesquisa e o monitoramento da radiação com o objetivo principal de proteger a saúde humana. Entre os diversos estudos realizados pela EPA-RPD, deve-se destacar especialmente aqueles dedicados aos efeitos do gás radônio (BEIR V., 1990; Gundersen *et al.*, 1992; e Jönsson, 1995).

Os estudos da EPA-RPD, junto com o *Committee Biological Effects of Ionizing Radiation* (BEIR), orientaram as pesquisas realizadas sobre os efeitos epidemiológicos da radiação sobre seres vivos. Estudou-se a influência da radioatividade tanto na saúde física, quanto no seu aspecto psicológico. Entre as divulgações realizadas pela EPA, destaca-se a prevenção como a principal ferramenta de combate aos males causados pela radiação, principalmente aquele causado pelo gás Radônio (Gundersen *et al.*, 1992).

A epidemiologia (ciência que estuda a relação entre saúde e doença em uma comunidade) mostra que os organismos humanos encontram-se constantemente expostos a múltiplos fatores carcinogênicos (anexo 1, 2 e 3), dentre os quais estão os fatores ligados à radiação. As características individuais dos organismos humanos têm um papel importante, mas não se sabe em que grau elas influenciam os agentes carcinógenos com relação à dose e o tempo de exposição. Independente da exposição ao agente carcinógeno, as células do organismo também sofrem permanentes processos de mutação espontânea, que não afetam o desenvolvimento normal das células. Compreende-se, assim, que os fenômenos de mutação podem se iniciar de forma espontânea, ou serem provocados por agentes carcinogênicos, os quais podem ser químicos, físicos, ou biológicos.

---

---

Estudos sobre radiação emanada pelo gás radônio e suas conseqüências na saúde, foram amplamente estudadas em vários países, tais como: i) Reino Unido pela *National Radiological Protection Board* – NRPB (Clarke & Southwood, 1989); ii) países da comunidade européia como a Áustria, Bélgica, Alemanha, Finlândia etc... (Zhu *et al.*, 1998; Arvela, 2001; Maringer *et al.*, 2001; Kemski *et al.*, 2001), e iii) países do continente Africano e da Ásia (Arafa & El-Karadawi, 1997; e Maged *et al.*, 1997).

Também deve ser salientado que muitos pesquisadores consideram a radiação em baixas doses pode ser benéfica à saúde. Esse fenômeno é conhecido como hormese das radiações. Entretanto, a hormese radioativa não tem sido reconhecida por organismos oficiais de proteção radiológica como a ICRP (Giurlani, 1997). De outro modo, deve-se ressaltar que essa dissertação não tratará da radiação direta, mas dos efeitos do gás radônio como resultado do decaimento radioativo; nesse caso, portanto, não há que se considerar os efeitos, ainda discutíveis, das baixas doses de radiação.

### ***1.1. OBJETIVOS***

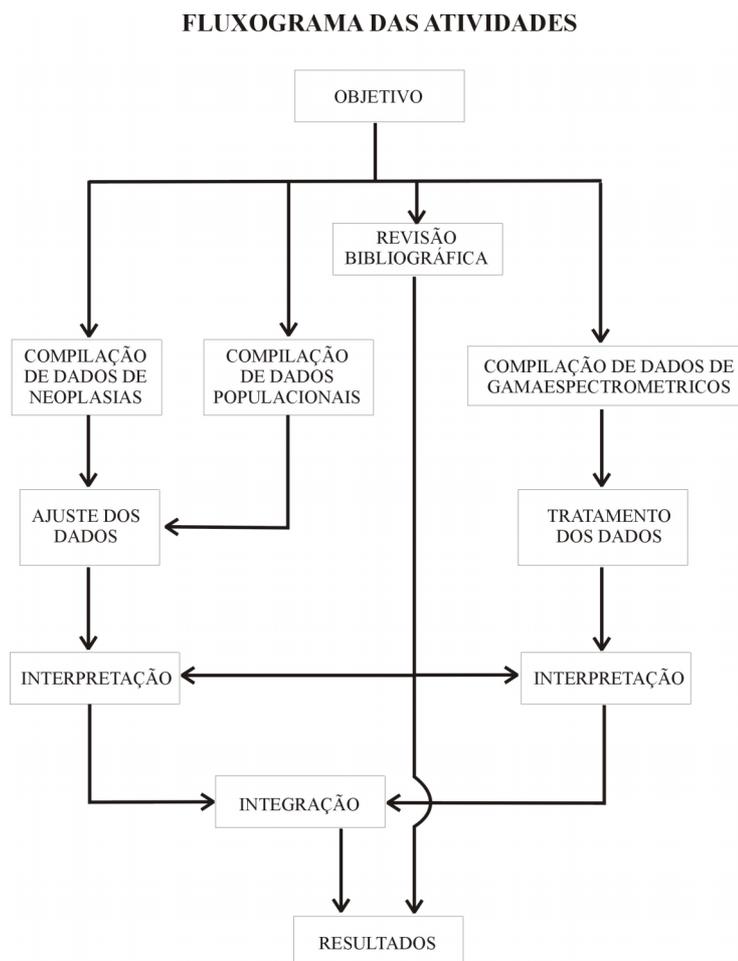
Essa dissertação foi elaborada com o objetivo de realizar a avaliação ambiental preliminar da radiação natural como elemento epidemiológico no escudo sul-riograndense no estado do Rio Grande do Sul. Nesse trabalho, caracterizou-se, como elemento epidemiológico, a neoplasia (crescimento não-controlado de células que fogem, parcial ou totalmente, do controle do organismo) e, como agente de iniciação, a radiação emanada de elementos radioativos, mais especificamente, a radiação emanada do gás radônio.

A avaliação ambiental da radiação natural como elemento epidemiológico engloba basicamente os seguintes aspectos:

- a) descrição dos aspectos fisiográficos e geológicos do estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de caracterizar o ambiente físico de estudo. O estudo fisiográfico abrange as formas morfológicas, características vegetais e climáticas. O estudo geológico tem como objetivo conhecer, situar e discriminar as unidades litológicas com base em revisão bibliográfica, não especificando ao aspecto tectônico;
- b) caracterizar a parte física da radiação e identificar as fontes de radiação natural. Além disso, busca-se descrever a influência da radiação sobre os seres humanos,

- especificando alguns estudos de casos recentes e suas respectivas metodologias investigativas;
- c) realizar um levantamento regionalizado da incidência de neoplasias no Rio Grande do Sul. A tipificação das neoplasias e os critérios adotados para a classificação são destacados. Isso foi feito por meio de um estudo estatístico dos dados, juntamente com uma análise espacial das neoplasias no Rio Grande do Sul;
  - d) determinar as fontes de informação disponíveis sobre radiação no Rio Grande do Sul (gamaespectrometria) e quantificar os níveis de concentração natural de radioelementos;
  - e) integração de dados sobre a incidência de neoplasias, geologia e concentração de radioelementos para análise epidemiológica no estado do Rio Grande do Sul.

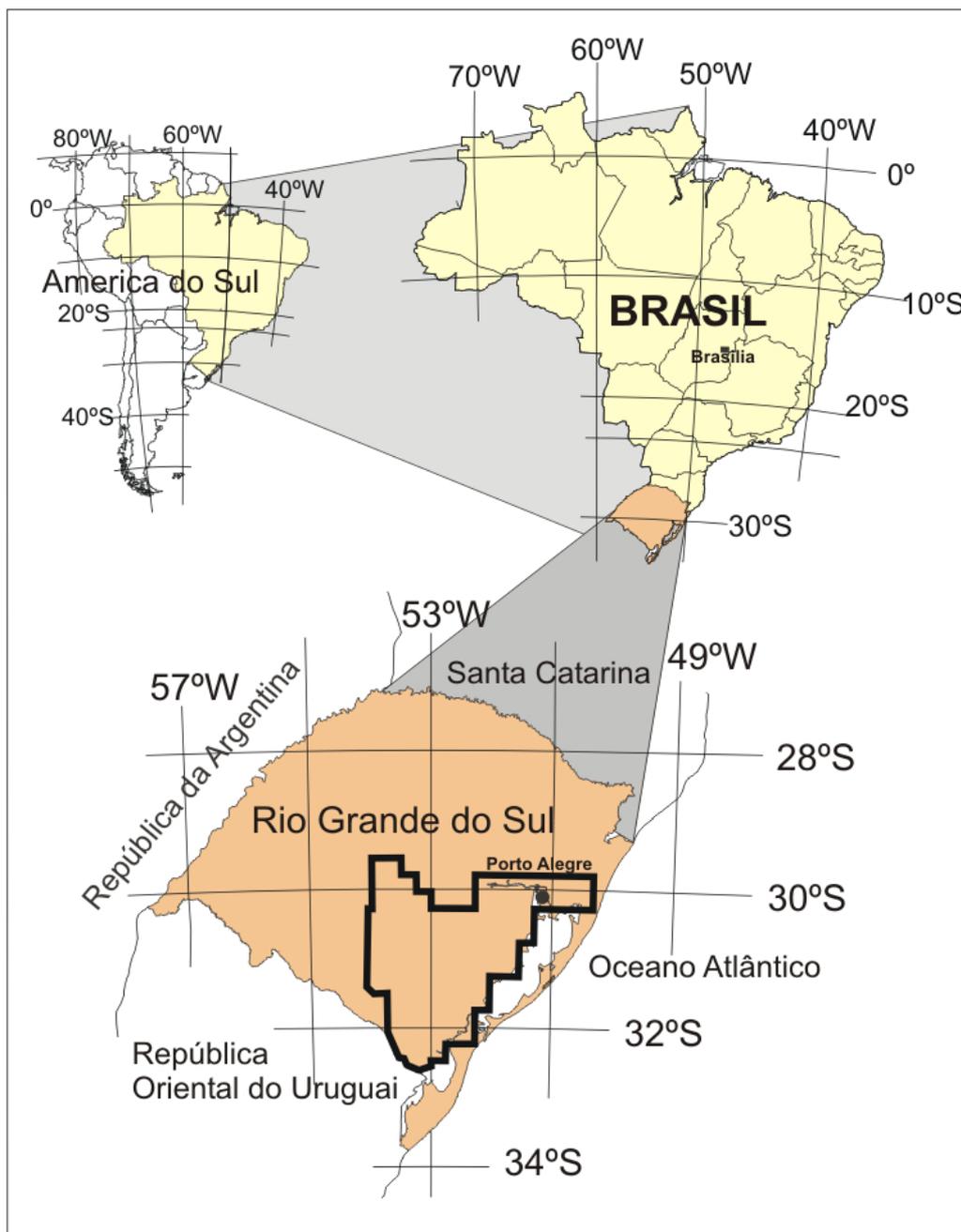
O fluxograma das atividades desenvolvidas nessa dissertação é mostrado na Figura 1.1.



**Figura 1.1** – Fluxograma das atividades desenvolvidas nessa dissertação.

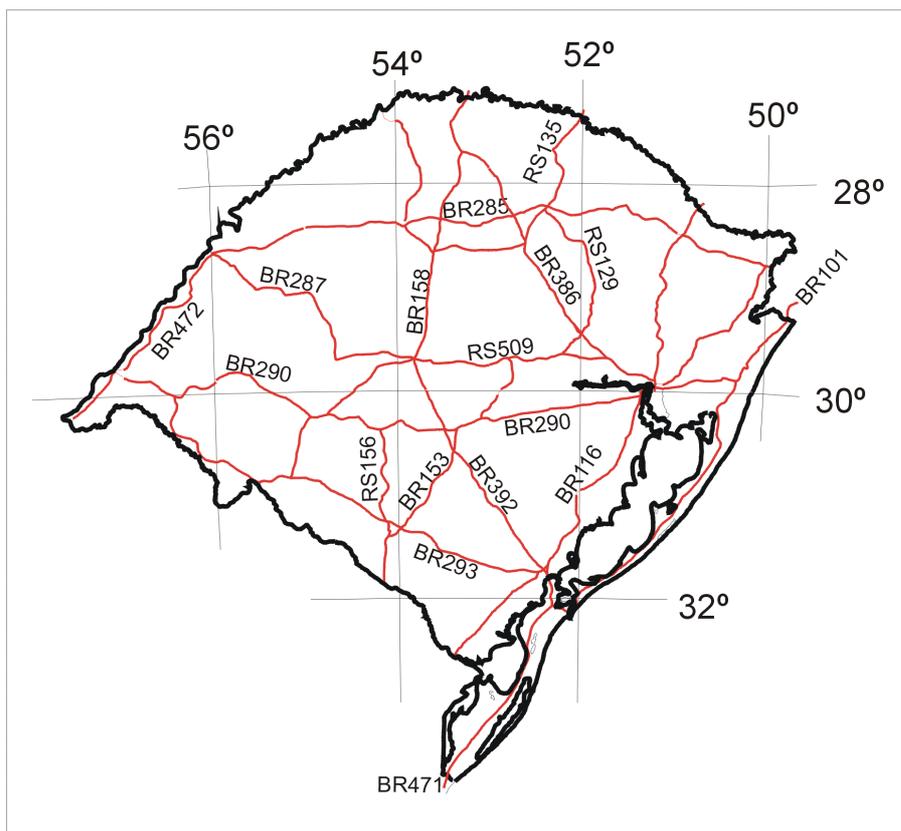
## 1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O Rio Grande do Sul é um dos estados da República Federativa do Brasil e está localizado ao sul da Região Sul. O estado tem fronteiras, ao norte, com o estado de Santa Catarina, a oeste, com a República Argentina, ao sul, com a República Oriental do Uruguai e, a leste, é banhado pelo Oceano Atlântico (Figura 1.2).



**Figura 1.2** – Mapa de localização da área de estudo da avaliação ambiental preliminar de radiação natural como elemento epidemiológico.

O estado do Rio Grande do Sul é servido por um bom número de rodovias (Figura 1.3); as principais rodovias federais norte-sul são as BR101, BR116, BR153, BR158, as leste-oeste são as BR285, BR287, BR290, BR293 e as intermediárias são as BR386, BR392, BR471, BR472. O estado também é servido por diversas rodovias estaduais, entre elas a RS129, RS135, RS156, RS509. As rodovias representam um dos principais meios de deslocamento dentro do estado. Existem hidrovias localizadas principalmente na Laguna dos Patos, no Lago Guaíba e no rio Jacuí (Figura 1.3).



**Figura 1.3** – As principais vias de deslocamento interno no estado do Rio Grande do Sul.

### ***1.3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS***

O clima, no estado como um todo, é úmido a sub-úmido, com alguns dias secos (sub-tropical). A temperatura oscila, no verão, entre 16 °C e 36 °C, com uma média de 24 °C, e, no inverno, entre 3 °C e 21 °C, com uma média de 14 °C. A região mais quente está no oeste do estado e as mais frias estão na serra sudeste e no planalto próximo à cidade de Cambará. A precipitação, em outubro, fica em torno de 320 mm ao mês no oeste do estado,

enquanto, em dezembro, o extremo sul do estado registra precipitação próxima a zero. A precipitação média geral do estado é de aproximadamente 160 mm ao mês. A evaporação na metade oeste do estado, em dezembro, atinge 240 mm ao mês e, em junho, ocorre a menor evaporação em todo o estado. A direção dos ventos tem predomínio, no litoral, de E e NE, com mudanças bruscas de SO; nas demais partes do estado, os ventos S-SO-SE vêm acompanhado de massas frias e os ventos N-NE trazem massas quentes (IBGE, 1986).

Lindman (1974) delimitou e caracterizou três regiões vegetais no estado: i) a região campestre (os campos), ii) a região florestal (as matas) e iii) a região litorânea. Lindman (1974) e Leite (1995) destacaram que, dentro dessas regiões, ocorre uma grande diversidade vegetal, mas que essa diversidade ainda mantém as características principais da região. Ao norte, sobre o planalto da Serra Geral, em sua maior extensão, a vegetação é composta por matas próximas às drenagens, denominadas de mata de galeria, e por campos nas áreas planas (Campos de Cima da Serra). A zona de mata também é encontrada na região entre o planalto e a campanha; são escarpas formadas por paredões, onde a mata é alta e estende-se como um cinto de leste à oeste do estado. No oeste e na metade sul do estado (região da campanha), ocorre um predomínio de campos com solo pouco fértil e litossolo. A zona litorânea apresenta uma vegetação rasteira (gramíneas) e alguns arbustos e restingas.

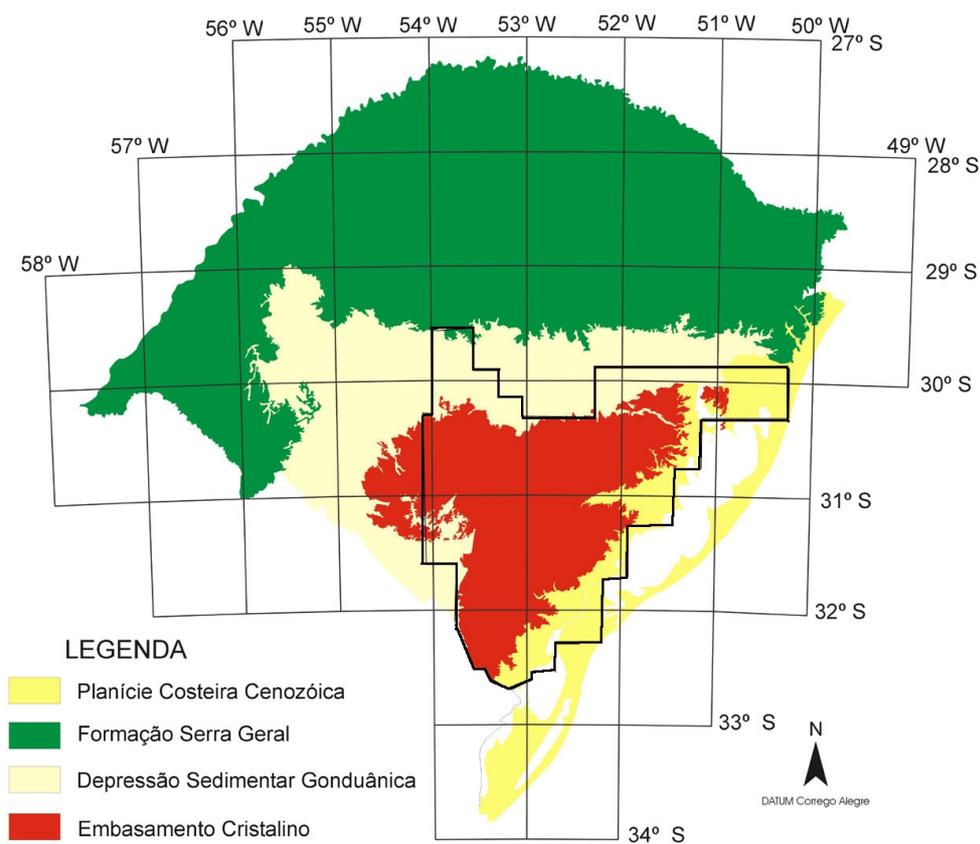
As características geomorfológicas do estado permitem definir compartimentos planialtimétricos com base nas características geológicas. Assim, foram distinguidas quatro unidades geomorfológicas (Brasil, 1974):

- 1) o Embasamento Cristalino apresenta-se geologicamente heterogêneo, o que ocasiona uma diversidade morfológica no âmbito regional. As características gerais são relevos em forma de abóbadas, com algumas áreas mostrando relevo mais acidentado devido à influência tectônica (falhas, dobras). As altitudes variam de 4 a 550 m;
- 2) a Depressão Sedimentar Gonduânica é caracterizada por um relevo ondulado e rebaixado, cujas altitudes variam de 30 a 150 m;
- 3) a Formação Serra Geral define um planalto cujo relevo é suavemente ondulado a ondulado. Junto aos rios, o relevo é fortemente ondulado, ou mostra escarpas. As altitudes variam do nível do mar, em Torres, e aproximadamente 1200 m, em São José dos Ausentes;
- 4) a Planície Costeira Cenozóica resume-se a uma planície com lagunas, onde as altitudes variam entre 5 a 20 m.

## 1.4 ASPECTOS GEOLÓGICOS

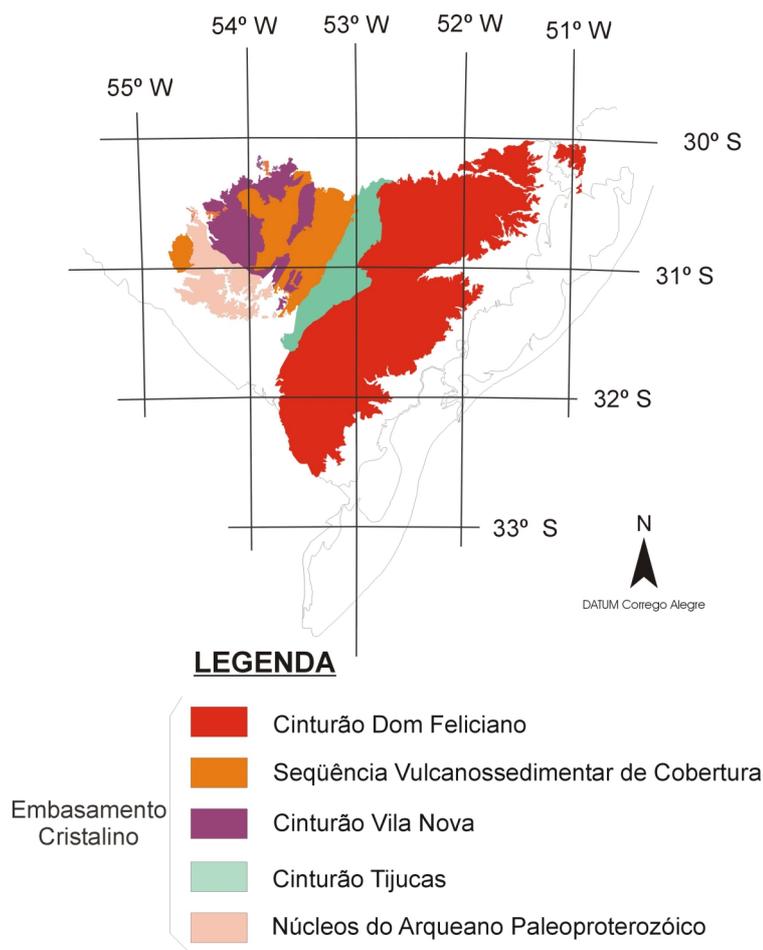
O estado do Rio Grande do Sul mostra os distintos ambientes geológicos (Figura 1.4), e que podem ser compartimentados em quatro grandes províncias geológicas (Brasil, 1974, 1989):

- i) Escudo Sul-riograndense (Escudo de Rochas Cristalinas);
- ii) Depressão Sedimentar Gonduânica (Sedimentos da Bacia do Paraná);
- iii) Formação Serra Geral (Vulcanismo da Bacia do Paraná) e;
- iv) Planície Costeira Cenozóica.



**Figura 1.4** – Esboço geológico do estado do Rio Grande do Sul mostrando as quatro províncias geológicas e em detalhe a área de estudo (mapa compilado do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, 1989).

O Escudo Sul-riograndense compreende rochas plutônicas e metamórficas pré-cambrianas e rochas vulcânicas e sedimentares eo-paleozóicas. Esse compartimento está localizado na metade sul do estado do Rio Grande do Sul. As características do Escudo Sul-riograndense permitem a sua subdivisão em cinco regiões distintas: **a)** os núcleos do Arqueano/Paleoproterozóico, **b)** o Cinturão Vila Nova, **c)** o Cinturão Tijucas, **d)** o Cinturão Dom Feliciano e **e)** as seqüências vulcanossedimentares de cobertura (Figura 1.5).



**Figura 1.5** – Embasamento cristalino do estado do Rio Grande do Sul, subdividido em cinco unidades litológicas distintas (mapa compilado do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, 1989).

Os núcleos do Arqueano/Paleoproterozóico são os terrenos gnáissicos de alto grau, e estão localizados na região sudoeste do Escudo Sul-riograndense, a sul do Lineamento de Ibaré. O principal núcleo é representado pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico (Nardi & Hartmann, 1979), que é constituído por rochas isotrópicas a bandadas de fácies

---

granulito orientadas para NW. Essas rochas são gnaisses básicos e ácidos (tonalitos e trondhjemitos), anortositos, ultramafitos, metapelitos e mármore; também podem ocorrer lherzolitos e pegmatitos (Hartmann, 1987).

O Cinturão Vila Nova é composto por terrenos gnáissicos de baixo a médio grau, que foram descritos por Silva Filho & Soliani (1987) como gnaisses Cambaí. Essa unidade é constituída por uma associação de orto e paragneisses de composições diorítica, tonalítica-trondhjemítica até granodiorítica, por injeções granodioríticas a dioríticas e por corpos básico-ultrabásicos (peridotitos, serpentinitos e xistos magnesianos) conforme Hartmann *et al.* (1992). O cinturão Vila Nova também é composto por complexos vulcanossedimentares metamorfizados e deformados de rochas vulcânicas básicas a intermediárias, rochas vulcanoclásticas mais diferenciadas, rochas metassedimentares, rochas ultramáficas e xistos magnesianos (Naumann *et al.*, 1984). As associações graníticas intrusivas com composição predominantes cálcio-alcalina a alcalina também fazem parte do cinturão Vila Nova (Gastal *et al.*, 1995).

O cinturão Tijucas é uma faixa estreita situada entre o cinturão Don Feliciano e a seqüência vulcanossedimentar de cobertura. Esse cinturão é composto por rochas metassedimentares e metavulcânicas xistosas e algumas associações de quartzitos. As seqüências sedimentares existentes no cinturão Tijucas são constituídas por xistos, filitos com lentes de quartzitos e metacalcários; as seqüências vulcanossedimentares, por outro lado, são compostas por metavulcânicas félsicas aluminosas de composição dacítica e metandesítica. (Issler, 1982; Ribeiro & Fantinel, 1978; Brasil, 1989).

O cinturão Dom Feliciano é formado por granitóides de composição diorítica, tonalítica, granodiorítica a monzonítica, com injeções trondhjemíticas associadas a sienogranitos. Também possui rochas gnáissicas de fácies anfíbolito superior a granulitos (Brasil, 1989).

As seqüências vulcanossedimentares de cobertura são descritas por Santos *et al.* (1998) e reúnem dois grupos: o Grupo Maricá e o Grupo Camaquã. O Grupo Maricá é formado por três unidades:

- 1) Formação Pessegueiro é composta por siltitos, arenitos arcóianos finos a médios e conglomerados com intercalações de arenitos finos e ritmitos. Subordinadamente, essa formação apresenta intercalações de rochas vulcânicas intermediárias a ácidas (andesitos e riolitos);

- 2) Formação Cerro dos Martins é composta por lavas andesíticas, tufos líticos a cristal, brechas e aglomerados vulcânicos. Os sedimentos são constituídos predominantemente por arenitos, siltitos e argilitos rítmicos intercalados com conglomerados;
- 3) Formação Acampamento Velho é composta por rochas vulcânicas ácidas, por tufos e brechas vulcânicas e por ignimbritos, com algumas intercalações de sedimentos.

O Grupo Camaquã foi descrito por Ribeiro & Fantinel (1978). Ele é composto por seqüências de conglomerados, arenitos, pelitos e raras grauvacas e por rochas vulcânicas de composição intermediária.

A Depressão Sedimentar Gonduânica é formada pelos sedimentos da Bacia do Paraná e corresponde a uma faixa entre Santo Antônio da Patrulha até a região de Cacequi, onde inflete para o sul na região de Santana do Livramento e próximo a Bagé. Localizada entre as províncias geológicas do Escudo Sul-riograndense e a Formação da Serra Geral (Figura 1.4), a Depressão Sedimentar Gonduânica é composta principalmente por folhelhos, argilitos, arenitos, siltitos, folhelhos carbonosos; essas rochas foram formadas em vários ambientes sedimentares, como marinho raso, lacustre, fluviais, até eólico, que se encontra no topo da seqüência sedimentar (Zalán, 1987; Brasil, 1989; Milani, 1997).

A Formação Serra Geral faz parte do vulcanismo da Bacia do Paraná e é composta por derrames de lavas que cobrem os sedimentos Gonduânicos. No estado do RS, cobrem uma superfície aproximada de dois terços do estado e podem atingir espessuras de até 1100m (Figura 1.4; Zalán, 1987). Os derrames são compostos principalmente por basalto toleíticos, com intercalações de lentes de arenito eólico interderrames. Também ocorrem riodacitos porfiríticos, riodacitos a riolitos afíricos com intercalações de lentes arenosas e areno-conglomeráticas e, em algumas regiões, derrames vitrofíricos (Roisenberg, 1980).

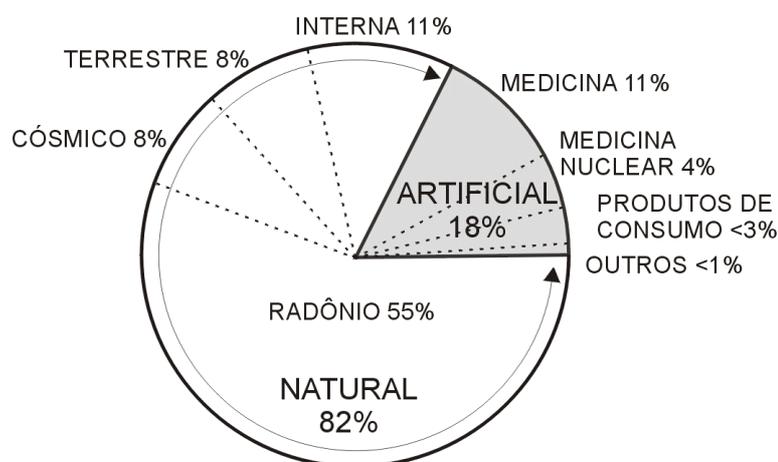
A Planície Costeira compreende uma extensa área situada a leste do estado, que se estende da região de Torres até o Chuí, e abrange a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim (Figura 1.4). A Planície Costeira é formada por depósitos sedimentares de encosta, dunas eólicas, lagunas, depósitos marinhos rasos e paludais. Os sedimentos são compostos por areias sílico-argilosas e por areia fina a grossa quartzosa e mostram algumas concentrações localizadas de minerais pesados e conglomerados de encosta (Brasil, 1989).

## CAPÍTULO 2

### ***RADIAÇÃO NATURAL COMO ELEMENTO EPIDEMIOLÓGICO***

Os efeitos ocasionados pela radiação na saúde foram amplamente debatidos pelo Comitê dos Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante (*Committee Biological Effects of Ionizing Radiation – BEIR – Estado Unidos*), nos anos de 1988 a 1990. A pauta dos debates demonstrou que uma porção da população esteve exposta a níveis nocivos de radiação de origem natural, ou de origem artificial. Entre as origens da radiação natural, destaca-se a radiação produzida pelo gás radônio (BEIR V, 1990; e Paulsen, 1991).

O Conselho Nacional de Proteção e Medida de Radiação (*National Council on Radiation Protection and Measurement – NRCP, Estados Unidos*) realizou um estudo com base na população dos Estados Unidos nos anos 80 e verificou que menos de um quarto da radiação existente foi produzida pelo homem. O diagrama da Figura 2.1 mostra que somente 18% da radiação existente no meio ambiente corresponde à radiação artificial (produzida pelo homem) e que 82% da radiação restante é produto de processos naturais de radiação de origem cósmica, de rochas e solos, e do gás radônio.



**Figura 2.1** – Gráfico estimado da radiação existente na atmosfera (modificado de BEIR V, 1990).

A avaliação feita pelo NRC, que diz respeito à radiação emanada pelo gás radônio como a mais forte fonte isolada de emissão de radiação, foi confirmada no estudo realizado no Reino Unido pela Junta de Proteção Radiológica Nacional (*National Radiological Protection Board* - NRPB). O NRPB constatou, ainda, que a maior influência da radiação nos organismos vivos provém da radiação de partícula alfa ( $\alpha$ ) em comparação com a partícula beta ( $\beta$ ) e a partícula gama ( $\gamma$ ) (Clarke & Southwood, 1989; e Paulsen, 1991).

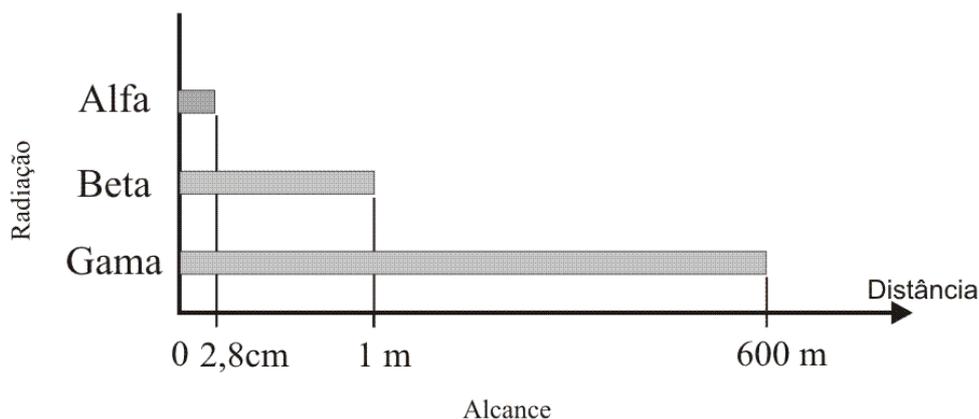
## **2.1 FONTES DE RADIAÇÃO NATURAL E DECAIMENTO RADIOATIVO**

A emissão de radiação é um processo natural que ocorre nos elementos radioativos (fenômeno atômico), cuja atividade está diretamente relacionada à quantidade de elemento radioativo presente. Existem três tipos de radiações que se originam desses elementos radioativos naturais: i) radiação alfa ( $\alpha$ ); ii) radiação beta ( $\beta$ ); e iii) radiação gama ( $\gamma$ ). Sendo que essas radiações são constituídas respectivamente pelas emissões de partícula  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , e que fazem parte do processo de decaimento dos elementos radioativos.

A absorção da radiação é determinada pelo seu poder de penetração (alcance) nos materiais. A partícula  $\alpha$  perde muita energia como efeito da ionização durante a sua trajetória; aproximadamente 2,8 cm de moléculas de ar podem neutralizar por completo a partícula  $\alpha$  e transformá-los num átomo neutro de hélio. Já, a perda de energia por ocasião da ionização relativa da partícula  $\beta$  é menor do que a da partícula  $\alpha$ ; com uma pequena perda de energia cinética a partícula  $\beta$  têm um alcance de aproximadamente 1000 cm no ar (Kaplan, 1978). A partícula  $\gamma$ , por ser radiação eletromagnética, apresenta conseqüentemente características diferentes das partículas  $\alpha$  e  $\beta$ . A atenuação da radiação  $\gamma$  apresenta um alcance aproximado de 600 metros no ar (Pitkin & Duval, 1980). A Figura 2.2 mostra as radiações e seus respectivos alcances no ar.

A partícula  $\alpha$ , são partículas carregadas positivamente, e foram caracterizadas por Rutherford como núclídeos de hélio duplamente ionizado. Assim, a partícula  $\alpha$  assume propriedades de partícula e apresentam as seguintes características: i) massa 4 vezes maior que o íon de hidrogênio e ii) carga equivalente ao dobro de um íon univalente de hidrogênio. Durante a trajetória da partícula alfa, observa-se que a ionização cresce muito lentamente a

medida que a partícula alfa perdem velocidade, até que uma certa distância da fonte, denominada de *alcance*, onde, a ionização decresce rapidamente. O aumento de pares de íons ocorre porque, durante o processo, a partícula alfa perde energia e, conseqüentemente, velocidade, ou seja, quanto menor for a velocidade da partícula alfa, mais par de íons existirá. Já para um determinado *alcance*, a partícula alfa é capturada para formar um átomo neutro de hélio (Kaplan, 1978).



**Figura 2.2** – Alcance das radiações alfa, beta e gama, nas moléculas de ar.

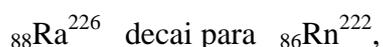
A partícula  $\beta$  têm massa menor do que os partícula alfa e também possui características de partículas, mas carregadas negativamente. A partícula beta, com a mesma energia cinética da partícula alfa, possui mais poder de penetração, mas produzem menos pares de íons. Outra característica da partícula beta é que, durante a sua trajetória, a espessura do material absorvedor diminui a atividade relativa de ionização em escala logarítmica (Kaplan, 1978). Já a radiação  $\gamma$ , é de origem nuclear, sendo uma onda eletromagnética que decorre da excitação do núcleo após a emissão de uma partícula gama, assim, quando um núcleo se desintegra, este fica excitado com uma energia acima do seu estado fundamental, a liberação de um ou mais fótons estabelece novamente em estado fundamental, mas com um elemento adequado a nova estrutura atômica.

As fontes de radiação natural que emitem as partícula alfa, beta e gama têm origem em elementos radiativos tais como:  $C^{14}$ ,  $Na^{22}$ ,  $Na^{24}$ ,  $P^{32}$ ,  $K^{40}$ ,  $Cr^{51}$ ,  $Fe^{59}$ ,  $Co^{60}$ ,  $I^{131}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Hg^{196}$ ,  $Au^{198}$ , etc. Nesse estudo é tratado das radiações naturais que fazem parte das três séries radioativas: série do urânio  ${}_{92}U^{238}$  (Tabela 2.1); do actínio  ${}_{92}U^{235}$  (Tabela 2.2); e do tório  ${}_{90}Th^{232}$  (Tabela 2.3). Nessas séries radioativas, que são mostrados respectivamente nas Figuras 2.3, 2.4 e 2.5 em forma gráfica, o tipo de emissão de radiação das séries radioativas do urânio  ${}_{92}U^{238}$ , do actínio  ${}_{92}U^{235}$  e do tório  ${}_{90}Th^{232}$ .

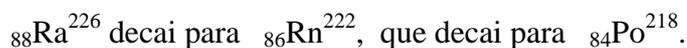
---

Quando há emissão de partícula alfa, o número atômico decresce duas unidades e o número de massa decresce quatro unidades. Por outro lado, a emissão de partícula beta aumenta o número atômico em uma unidade, mas o número de massa permanece o mesmo. Por fim, a emissão da partícula  $\gamma$  não afeta o número atômico, nem o número de massa dos elementos radiativos originais.

O processo de decaimento resulta na estabilidade atômica. O processo de decaimento de um elemento radioativo é medido por sua meia-vida. A meia vida é o tempo necessário para que a metade dos átomos radioativos originais se desintegre, ou seja, quando a metade dos núclídeos denominada de pai decai para núclídeos denominado filho. Exemplo:



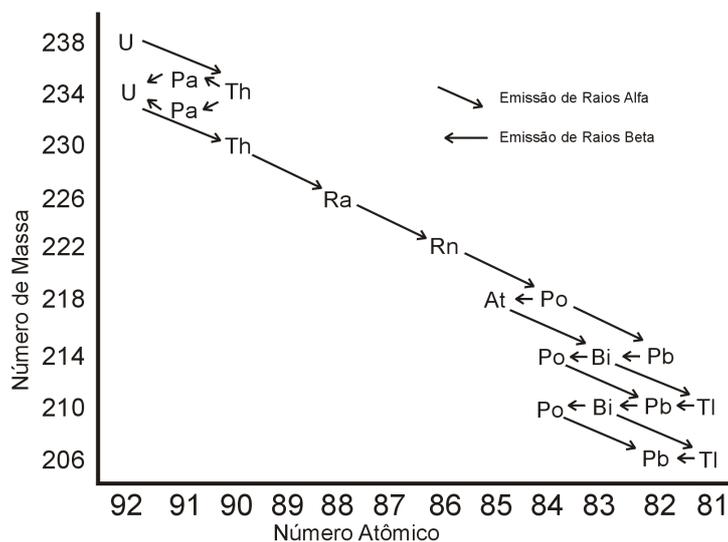
e, assim, o núclídeo filho passa a ser pai e decai novamente para um núclídeo filho:



Em cada passo do processo de decaimento, a desintegração é dada pela relação entre a atividade e o tempo (constante de desintegração).

**Tabela 2.1** – Lista da série de decaimento do urânio 238 com seu modelo de desintegração, meia-vida e constantes de desintegração (adaptada de Kaplan, 1978 e de Nielson *et al.*, 1990).

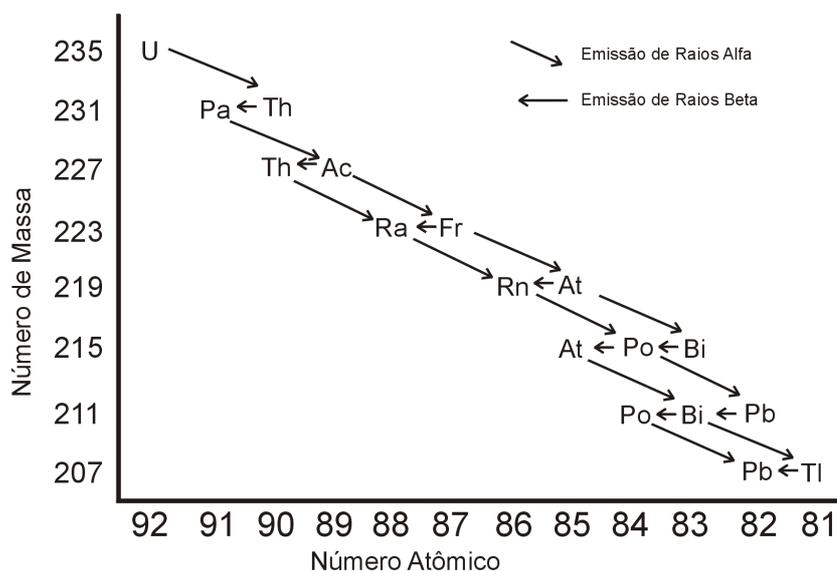
Nuclídeo	Tipo de Radiação	Meia-vida	Constante de desintegração s <sup>-1</sup>
<sup>92</sup> U <sup>238</sup>	alfa	4.5 x 10 <sup>9</sup> anos	4.88 x 10 <sup>-18</sup>
<sup>90</sup> Th <sup>234</sup>	beta	24.1 dias	3.33 x 10 <sup>-7</sup>
<sup>91</sup> Pa <sup>234</sup>	beta	1.18 min	9.77 x 10 <sup>-3</sup>
<sup>91</sup> Pa <sup>238</sup>	beta	6.7 h	2.88 x 10 <sup>-5</sup>
<sup>92</sup> U <sup>234</sup>	alfa	2.50 x 10 <sup>5</sup> anos	8.80 x 10 <sup>-14</sup>
<sup>90</sup> Th <sup>230</sup>	alfa	8.0 x 10 <sup>5</sup> anos	2.75 x 10 <sup>-13</sup>
<sup>88</sup> Ra <sup>226</sup>	alfa	1620 anos	1.36 x 10 <sup>-11</sup>
<sup>86</sup> Rn <sup>222</sup>	alfa	3.82 dias	2.10 x 10 <sup>-6</sup>
<sup>84</sup> Po <sup>218</sup>	alfa, beta	3.05 min	3.78 x 10 <sup>-3</sup>
<sup>82</sup> Pb <sup>214</sup>	beta	26.8 min	4.31 x 10 <sup>-4</sup>
<sup>85</sup> At <sup>218</sup>	alfa	1.5-2.0 seg	0.4
<sup>83</sup> Bi <sup>214</sup>	alfa, beta	19.7 min	5.86 x 10 <sup>-4</sup>
<sup>84</sup> Po <sup>214</sup>	alfa	1.64 x 10 <sup>-4</sup> seg	4.23 x 10 <sup>3</sup>
<sup>81</sup> Tl <sup>210</sup>	beta	1.32 min	8.75 x 10 <sup>-4</sup>
<sup>82</sup> Pb <sup>210</sup>	beta	19.4 anos	1.13 x 10 <sup>-9</sup>
<sup>83</sup> Bi <sup>210</sup>	beta	5.0 dias	1.60 x 10 <sup>-6</sup>
<sup>84</sup> Po <sup>210</sup>	alfa	138.3 dias	5.80 x 10 <sup>-8</sup>
<sup>81</sup> Tl <sup>206</sup>	beta	4.2 min	1.75 x 10 <sup>-3</sup>
<sup>82</sup> Pb <sup>206</sup>	Estável		



**Figura 2.3** – Representação gráfica do tipo de emissão de radiação e a mudança do número atômico e de massa na série de decaimento do urânio 238 (adaptado de Kaplan, 1978 e de Nielson *et al.*, 1990).

**Tabela 2.2** – Lista da série de decaimento do urânio 235 com o modo de desintegração, meia-vida e constantes de desintegração (adaptada de Kaplan, 1978).

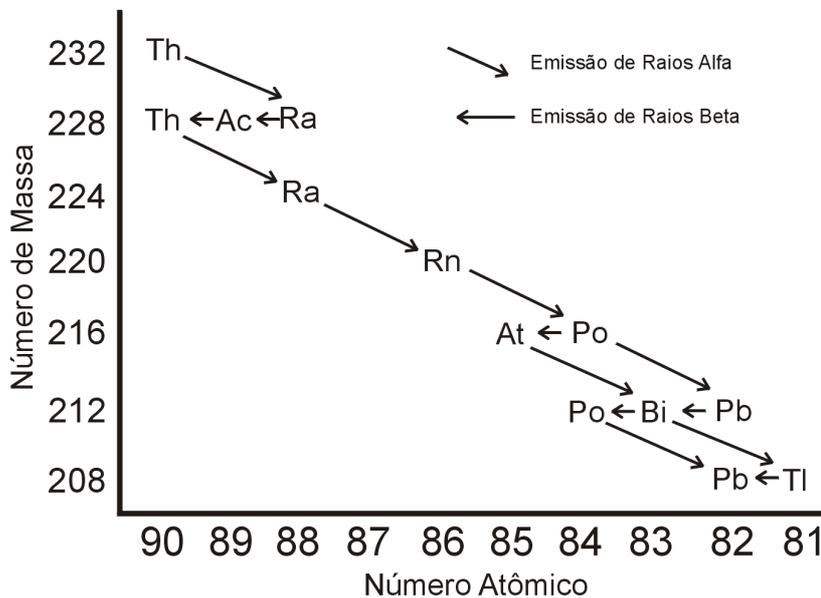
Nuclídeo	Tipo de Radiação	Meia-vida	Constante de desintegração $s^{-1}$
${}_{92}\text{U}^{235}$	alfa	$7.10 \times 10^8$ anos	$3.09 \times 10^{-17}$
${}_{90}\text{Th}^{231}$	beta	25.6 h	$7.51 \times 10^{-6}$
${}_{91}\text{Pa}^{231}$	alfa	$3.43 \times 10^4$ anos	$6.4 \times 10^{-13}$
${}_{89}\text{Ac}^{227}$	alfa, beta	21.6 anos	$1.02 \times 10^{-9}$
${}_{90}\text{Th}^{227}$	alfa	18.17 dias	$4.41 \times 10^{-7}$
${}_{87}\text{Fr}^{223}$	alfa, beta	22 min	$5.25 \times 10^{-4}$
${}_{88}\text{Ra}^{223}$	alfa	11.68 dias	$6.87 \times 10^{-7}$
${}_{85}\text{At}^{219}$	alfa, beta	0.9 min	$1.26 \times 10^{-2}$
${}_{86}\text{Rn}^{219}$	alfa	3.9 seg	0.177
${}_{83}\text{Bi}^{215}$	alfa, beta	8 min	$1.44 \times 10^{-3}$
${}_{84}\text{Po}^{215}$	alfa, beta	$1.83 \times 10^{-3}$ seg	$3.79 \times 10^2$
${}_{82}\text{Pb}^{211}$	beta	36.1 min	$3.20 \times 10^{-4}$
${}_{85}\text{At}^{215}$	alfa	$10^{-4}$ seg	$7 \times 10^3$
${}_{83}\text{Bi}^{211}$	alfa, beta	2.15 min	$5.28 \times 10^{-3}$
${}_{84}\text{Po}^{211}$	alfa	0.52 seg	1.33
${}_{81}\text{Tl}^{207}$	beta	4.79 min	$2.41 \times 10^{-3}$
${}_{82}\text{Pb}^{207}$	Estável		



**Figura 2.4** – Representação gráfica do tipo de emissão de radiação e a mudança do número atômico e de massa na série de decaimento do urânio 235 (adaptado de Kaplan, 1978 e de Nielson, *et al.*, 1990).

**Tabela 2.3** – Lista da serie de decaimento do tório 232, com o modo de desintegração, meia-vida e constantes de desintegração (adaptada de Kaplan, 1978 e de Nielson, *et al* 1990).

Nuclídeo	Tipo de Radiação	Meia-vida	Constante de desintegração $s^{-1}$
${}_{90}^{232}\text{Th}$	alfa	$1.39 \times 10^{10}$ anos	$1.58 \times 10^{-18}$
${}_{88}^{228}\text{Ra}$	beta	6.7 anos	$3.28 \times 10^{-9}$
${}_{89}^{228}\text{Ac}$	beta	6.13 h	$3.14 \times 10^{-5}$
${}_{90}^{228}\text{Th}$	alfa	1.910 anos	$1.15 \times 10^{-8}$
${}_{88}^{224}\text{Ra}$	alfa	3.64 dias	$2.20 \times 10^{-6}$
${}_{86}^{220}\text{Rn}$	alfa	51.5 seg	$1.34 \times 10^{-2}$
${}_{84}^{216}\text{Po}$	alfa, beta	0.16 seg	4.33
${}_{82}^{212}\text{Pb}$	beta	10.6 h	$1.82 \times 10^{-5}$
${}_{85}^{216}\text{At}$	alfa	$3 \times 10^{-4}$ seg	$2.3 \times 10^3$
${}_{83}^{212}\text{Bi}$	alfa, beta	60.5 min	$1.91 \times 10^{-4}$
${}_{84}^{212}\text{Po}$	alfa	$3.0 \times 10^{-7}$ seg	$2.31 \times 10^2$
${}_{81}^{208}\text{Tl}$	beta	3.10 min	$3.73 \times 10^{-3}$
${}_{82}^{208}\text{Pb}$	Estável		



**Figura 2.5** – Representação gráfica do tipo de emissão de radiação e a mudança do número atômico e de massa na série de decaimento do tório 232 (adaptado de Kaplan, 1978 e de Nielson, *et al.*, 1990).

## 2.2 INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO NATURAL NOS SERES HUMANOS

Estudos epidemiológicos realizados para a investigação dos efeitos da exposição à radiação ionizante em animais, mais especificamente a radiação do gás radônio, demonstraram que alterações moleculares nas substâncias químicas danosas ao material cromossômico alteram a composição da célula durante a exposição à radiação (Brasil, 1995; Lugg & Problert, 1997; Monchaux *et al.*, 1999; e BEIR V, 1990). As radiações ionizantes que são absorvidas no tecido e a excitação dos átomos e das moléculas ejetam elétrons como consequência da energia cinética dessa excitação. Essa energia cinética é capaz de promover inúmeras ionizações, que são responsáveis pelas modificações na estrutura celular (Barrios & Sartori, 1995; Fleck, 1995).

A forma pela qual a radiação ionizante pode destruir a estrutura celular é o dano que a ionização imprime no ácido desoxirribonucléico (DNA). Esse dano pode ocorrer de forma direta ou indireta. O DNA é a molécula que contém a informação genética e é formado por duas cadeias polinucleotídicas de adenosina, por um grupo de fosfato e por uma base nitrogenada que pode ser a timina, adenina, citosina ou guanina (Mukherjee & Mircheva, 1991).

A forma direta do dano de ionização ocorre quando um feixe de elétrons ocasiona ruptura da cadeia do DNA. Estima-se que esse mecanismo de destruição da célula seja responsável por 10 % a 30 % dos danos à estrutura celular (Lugg & Problert, 1997).

A maior parte das células, no entanto, é destruída pelo mecanismo indireto de ionização. Nesse processo, há a formação de radicais livres e de moléculas excitadas que reagem com a água intracelular. As moléculas de água ionizadas ( $H_2O^+$ ) liberam radicais de hidroxilas, que se difundem rapidamente e que reagem com outras moléculas do meio para a formação de hidrogênio molecular e de peróxido de hidrogênio. Essas reações ocorrem em poucos microssegundos e são responsáveis pelas alterações celulares e pela perda, ou pela modificação da função celular. A interação da molécula de água ionizada com o DNA pode causar uma ruptura simples ou dupla da cadeia helicoidal do DNA. Isso causa lesões, ou quebras irreparáveis do DNA (BEIR V, 1990; Barrios & Sartori, 1995; Fleck, 1995; Lugg & Problert, 1997).

As alterações promovidas pela radiação sobre as moléculas podem ser distinguidas nos seguintes estágios (Brasil, 1995):

- 
- i) estágio físico inicial: há a permanência de energia na célula por um certo período de tempo;
  - ii) estágio físico-químico: a interação dos produtos resulta na formação de novos produtos;
  - iii) estágio químico: há lesão na estrutura molecular cromossômica;
  - iv) estágio biológico: verifica-se uma relação entre o tempo de exposição, o desenvolvimento da lesão e o aparecimento da sintomatologia.

Os efeitos da exposição à radiação na saúde, conforme mostrada pela comissão da BEIR V relacionada com neoplasia pulmonar, indicam três fontes principais de indução de câncer pulmonar no homem: i) explosões de bombas atômicas, ii) tratamento de pacientes com raios X e iii) mineiros que trabalham com exploração de urânio. Entretanto, nesse mesmo estudo, cogitou-se a possibilidade de existirem efeitos combinados entre quaisquer das três fontes principais de indução de radiação com outros fatores como o cigarro e o gás radônio.

O gás radônio, usualmente chamado de emanção, é um emissor de radiação no estado gasoso. É um gás quimicamente inerte, no sentido de que nenhuma máscara contra gases pode separá-lo quimicamente do ar. A única forma desse gás não ser absorvido pelo corpo é que seja afastado por meio de ventilação muito ativa (Wher & Richard, 1965).

Segundo Gundersen *et al.* (1992) e Nielson *et al.* (1990), a inalação do gás radônio pode ser a segunda causa de câncer, depois do fumo. No entanto, os efeitos combinados (BEIR V, 1990) significam que as possíveis causas de neoplasias devem, ou podem estar interligadas, já que é quase impossível a influência por uma causa/conseqüência específica.

Estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) indicaram a existência de elementos das séries radioativas, como o chumbo e o polônio, em cigarros produzidos no Brasil. Os níveis de radiação dos cigarros brasileiros são idênticos aos de outros cigarros produzidos fora do Brasil (Peres, 1999). A planta do tabaco, como a maioria das plantas, não apresenta afinidade com os elementos radioativos, ou seja, esses elementos não fazem parte da estrutura celular da planta. Uma explicação aceitável para a existência desses elementos radioativos no cigarro seria a sua proveniência a partir dos fertilizantes usados nas lavouras de fumo. A necessidade da obtenção de folhas grandes, saudáveis e, por conseqüência, bonitas (viçosas), com o objetivo de valorizar o produto, estabelece o uso do fosfato como fertilizante. O fosfato apresenta, em sua estrutura, elementos radioativos (ver discussão em detalhe no capítulo 4); esses elementos, então, acabam sendo absorvidos pela planta e depositados nas folhas (Martín, 1995).

---

Segundo Murray (1961) e Nielson *et al* (1990), um dos principais problemas dos efeitos da radiação na saúde humana está relacionada à exposição interna, caracterizada pela inalação ou pela ingestão dos radionuclídios. A ingestão de radionuclídios pode ocorrer, por exemplo, quando se bebe água (Hopke *et al.*, 2000). Apesar de não ser inicialmente considerado um risco à saúde pública (Woods, 1999), existe sempre uma possibilidade de inalar radionuclídios que são transportados pela água, quando ela lixivia locais que contém radionuclídios, ou quando são extraídos em poços oriundos de locais que contém radionuclídios (Wanty *et al.*, 1992; Otton *et al.*, 1995).

Outra forma de ingestão de radionuclídios é os acidentes, como o caso ocorrido em Goiânia, em 13 de setembro de 1987. O desconhecimento dos efeitos causados pelo cloreto de cézio-137, que estava contido numa cápsula de um aparelho de radioterapia furtado do Instituto Goiano de Radioterapia (IGR), foi o motivo da contaminação e de outras conseqüências, como as psicossociais (Helou & Costa Neto, 1995). Acidentes com elementos radioativos podem ocorrer em proporções maiores. O acidente da usina nuclear de *Three Mile Island* (Helou & Costa Neto, 1995), ocorrido em março de 1979 nos Estados Unidos, é um exemplo. Nesse acidente, uma falha num equipamento causou o derretimento parcial do urânio usado como combustível e, conforme informaram as autoridades, a usina liberou uma pequena quantidade de material radioativo, entretanto são observados alguns efeitos da radiação próxima a usina (Pittsburgh, 2002). Outro acidente de grandes proporções foi o da usina nuclear de *Chernobyl* na Ucrânia (Yahoo, 2001), esse desastre espalhou uma nuvem radioativa por quase todo o hemisfério norte do planeta. Essa nuvem esteve constituída de elementos radioativos do gás xenônio, cézio inativos e isótopos radioativos de iodo. Em 1999 ocorreu um acidente na planta de processamento de urânio de Tokaimura - Japão, onde ficaram 55 trabalhadores expostos a radiação, com a morte de um trabalhador (NSC, 2002).

A principal causa dos efeitos da radiação está relacionada principalmente à exposição interna por inalação, mais especificamente, a inalação por gás radônio. Nota-se que, na explosão da bomba A e nos acidentes com as usinas nucleares de *Chernobyl* e de *Three Mile Island*, além da ingestão, também ocorreu à inalação dos elementos radioativos.

O gás radônio está concentrado no ambiente geológico (Neilson, *et al.*, 1990) por processos naturais (o gás radônio tem origem nos processos de decaimento radioativo do  $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ,  $Th^{232}$ , como visto no capítulo 2.1). O gás radônio migra para a superfície por meio de fraturas, ou pelos interstícios dos grãos que compõem o solo, ou a rocha. Fica, assim, concentrado em *trap* (armadilhas), que podem ser naturais, como cavernas e fendas, ou

artificiais, como túneis (Liendo *et al.*, 1997), solos de prédios, de residências, de fossas, de tubulação e de caixas subterrâneas; ou seja, o radônio pode concentrar-se em qualquer ambiente fechado próximo à superfície, inclusive residências fechadas e sítios arqueológicos.

Certos tipos de lesões ocasionadas pela radiação não têm a menor importância quando não for ultrapassado um limite de exposição, ou seja, uma tolerância. O termo tolerância estaria mal empregado, já que todos os esforços são para manter o nível de radiação nulo, em vez de permitir uma certa quantidade mínima. Observa-se que a mínima quantidade de radiação, mesmo vindo de uma partícula de 1 micron, pode causar lesão numa célula (Murray, 1961)

Quando começou o uso, em larga escala, de equipamentos que emitem radiação, foi adotada uma medida de absorção da energia (*roentgen*, R) no 5º Congresso Internacional de Radiologia (1937). O *roentgen* é definido como a quantidade de radiação produzida por uma unidade eletrostática de carga ( $2.08 \times 10^9$  pares de íons), capaz de provocar uma ionização no ar seco, sob pressão e temperatura normais, por  $\text{cm}^3$ . Essa dose de radiação é mais usada para as exposições de partícula gama externa, onde a dose de radiação (Murray, 1961) desprende uma energia de 87,7 ergs numa grama de ar. Para a exposição em materiais, é usado o *rad* (dose de radiação absorvida), e 1 *rad* desprende uma energia de 100 ergs/g ( $10^{-5}$  J) aproximadamente.

Para uma melhor compreensão da unidade *roentgen*, pode-se apresentar o seguinte exemplo: uma quantidade de radiação gama que desprenda 87,7 erg/g no ar desprenderá cerca de 98 ergs/g num tecido mole; ou seja, a dose de radiação gama medida em *roentgens* será aproximadamente o mesmo valor em *rad*. A radiação adsorvida pelo material pode ser determinada em relação à radiação absorvida por uma unidade de tempo, denominada de taxa de exposição, taxa de dose, ou taxa de dosagem. A unidade de absorção pode ser expressa em, minuto, hora; dia, semana, etc:

R/h = *roentgen* por hora;

mR/h = *miliroentgen* por hora

Como a eficiência da energia de ionização, na destruição das células, é diferente para cada uma das partículas alfa, beta e gama, adota-se a medida da eficiência biológica relativa (RBE) de uma radiação ionizante com relação à dose absorvida. A unidade de dose biológica é o *equivalente humano de roentgen* (rem). A RBE da partícula beta e gama é 1 e a RBE da partícula alfa é 20; assim, uma exposição da partícula alfa de 1 rad é igual a 20 rems e uma exposição de 1 rad da partícula gama equivale a 1 rem.

A dosagem máxima permissível foi estipulada primeiramente em 1926 quando a *National Bureau of Standards Handbooks on Radiological Protection and Exposure Limits* (Murray, 1961), estipulou que a dosagem externa máxima permissível, a partir da qual poderia haver lesões permanentes no corpo humano em trabalhadores de uma instalação de usina nuclear, era de 12,5 mR por hora, com um limite de 8 horas diárias de trabalho e de 40 horas semanais. Em 1949, esse valor foi mudado para 7,5 mR/h (Murray, 1961); posteriormente, foi alterado para 6,25 mR/h (Wher & Richard Jr, 1965). Em 1958 um acordo internacional introduziu o conceito de dose total acumulada, que corresponde à dose acumulada máxima permissível, ficando estabelecida em  $5(N-18)$  rem, onde N é a idade do indivíduo; além disso, foi definido um limite de 12 rem por ano (Murray, 1961).

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) elaborou as Diretrizes Básicas de Radioproteção (CNEN-NE-3.01 1988), que estabelece uma normatização aplicada às pessoas físicas e jurídicas envolvidas na produção, uso, posse, armazenamento, processamento, transporte, ou deposição de fontes ionizantes. Entretanto, os limites dessa Norma não são aplicados às exposições médicas, exposições naturais e exposições de emergência (CNEN, 1988).

Os danos da radiação no corpo humano dependem de fatores como a dose absorvida, a taxa da dose absorvida e o órgão exposto. A determinação dos efeitos da radiação nos seres humanos pode ser realizada por meio da medida da intensidade de radiação absorvida por qualquer material ou tecido. A unidade de medida adotada atualmente pelo sistema internacional (SI) é o *gray* (Gy). O *gray* mede a absorção ionizante e equivale à dose de radiação ionizante de 1 *joule* absorvida por um elemento de massa igual a 1 kg. Assim:

$$1 \text{ gray} = 1 \text{ joule/kg} = 100 \text{ rad},$$

onde *rad* (dose de radiação absorvida em materiais) tem o mesmo sentido de *gray*; porém, não é uma unidade do SI (Duarte, 1997).

Os tecidos humanos apresentam diferentes tolerâncias à radiação. Os valores descritos na Tabela 2.4 são aplicados, via radioterapia, no processo de tratamento de tumores para evitar danos aos tecidos não afetados e para evitar a criação de novos tumores.

A sensibilidade dos tecidos, de maneira geral, pode ser classificada pela sensibilidade do órgão da seguinte forma:

- i) maior sensibilidade: medula óssea, tecido linfóide, órgãos genitais, trato gastrointestinal e baço;
- ii) média sensibilidade: pele e pulmão;
- iii) menor sensibilidade: músculos e ossos plenamente desenvolvidos.

**Tabela 2.4** – Dose de tolerância de alguns tecidos (Barrios & Sartori, 1995).

<b>Tecido</b>	<b>Radiossensibilidade em gray</b>
Medula óssea	125 a 3000
Pele	3800 a 5000
Mucosa oral	7500
Esôfago	7500
Laringe	6500 a 7500
Pulmão	2400 a 3000
Coração	3500 a 5000
Fígado	2800 a 4250
Rim	2100 a 2750
Bexiga	8000
Ovários	125 a 550
Testículos	500 a 2000
Cristalino	400 a 1300
Cartilagem de crescimento	1250 a 3000
Medula espinhal	3800 a 5250

Existe uma diferença entre a dose de tolerância admitida pelo tecido e os efeitos manifestados pelo indivíduo quando afetado pela radiação. A Tabela 2.5 mostra os efeitos somáticos da radiação que se manifestam no indivíduo e que não influenciam na sua descendência; nesse caso, são efeitos que podem (ou não) ser restaurados por autodefesa do organismo, ou por tratamento médico. Quando ocorre a exposição à radiação, a resposta do organismo vai depender de diversos fatores: i) quantidade de radiação recebida, ii) radiação recebida anteriormente sem recuperação orgânica, iii) intervalo de tempo entre as radiações recebidas, iv) danos físicos simultâneos e v) outros (BEIR V, 1990; Brasil, 1995; e Barrios & Sartori, 1995).

**Tabela 2.5** – Relação entre intensidade da dose e efeitos somáticos descritos pelo CNEN (Brasil, 1995).

Classificação da dose	Intensidade da dose (gray)	Efeitos somáticos
Fraca	0 a 25	Nenhum efeito detectável.
Fraca	50	Modificações sangüíneas leves e temporárias, com possíveis efeitos tardios
Moderada	100	Náusea, fadiga e possíveis vômitos; alterações sangüíneas significativas; recuperação demorada e redução de sobrevivência.
Moderada	200	Náusea e vômitos em 24 horas; após uma semana quadro de epilação, anorexia, astenia, faringite e diarreia; óbito entre duas a seis semanas; possível recuperação.
Semi-letal	400	Náusea e vômitos em 1 ou 2 horas, após uma semana quadro de epilação, anorexia, astenia, hipertemia, faringite e estomatite intensa. Na quarta semana, palidez, diarreia, rinorragia e emagrecimento rápido; óbito entre duas a seis semanas em 50 % dos casos.
Letal	600	Náusea e vômitos em 1 ou 2 horas, diarreia, estomatite e faringite ao final da primeira semana. Hipertemia, emagrecimento rápido e óbito na segunda semana, com provável óbito de todos os expostos.

Os efeitos da radiação também podem ser caracterizados pelos efeitos clínicos ocasionados pela gravidade da radiação no organismo:

- i)** tecido hematopoético: leucemia e diminuição da resistência orgânica, plaquetopenia, anemia e enfraquecimento orgânico;
- ii)** sistema linfático: interferência na função de estocagem de lise das hemácias;
- iii)** gastrintestinal: náuseas, vômitos, ulceração e alterações na produção de secreções;
- iv)** glândula tireóide: diminuição do metabolismo basal com menor absorção de O<sub>2</sub> elevação de aminoácidos urinários e hematúria;
- v)** sistema ósseo: apesar de pouca influência no sistema ósseo, consideram-se os danos causados à porção medular;
- vi)** olhos: lesões irreversíveis no cristalino (catarata); e
- vii)** órgãos reprodutores: esterilidade parcial ou total.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* - EPA) considera como um “risco seguro”, para uma razão de equilíbrio do decaimento de 0.5 (não é usado à razão de equilíbrio 1, devido à ventilação local que dispersa o gás radônio), um fator até 4pCi/L (0.02 WL, ou 148 Bq/m<sup>3</sup>, ou 0.74 mSv/y) para concentração de gás radônio no ambiente. A EPA considera níveis de concentração acima de 2000pCi/L como os principais causadores de sérios danos à saúde do homem (EPA, 1992; EPA, 1993a; e EPA, 1993b).

### 2.3 ESTUDOS DE CASO

A possibilidade da exposição interna aos radionuclídeos (gás radônio) está amplamente ligada a diversos fatores, como: i) aspecto geológico local, ii) condições físicas do meio-ambiente, iii) aspectos das edificações, tanto atuais, como arqueológicas, iv) materiais empregados na construção das edificações e v) acidentes com elementos radioativos.

As características geológicas influenciam na distribuição natural dos radionuclídeos, pois os elementos radioativos fazem parte do contexto geológico (no capítulo 4 são discutidas as características geológicas das rochas e dos solos). Maged *et al.* (1997) exemplificou a influência do contexto geológico por meio da análise dos níveis de concentração de gás radônio em edificações construídas no delta do rio Nilo. Maged *et al.* (1997) observou variações na concentração de gás radônio conforme a localização da edificação no delta.

No âmbito geológico, a emissão de gás radônio também é aplicada nos estudos de atividades sísmicas naturais e vulcânicas (Monnin & Seidel, 1997; Garavaglia, *et al.*, 2000). O gás radônio retido nas fraturas (*trap*) é liberado quando há atividade sísmica por vulcanismo ou por terremotos; assim, esse gás é injetado no meio ambiente e, como consequência, ocorre um aumento significativo desse elemento na superfície terrestre. Em atividades vulcânicas, a temperatura também tem influência no escape do gás radônio, porque, quando há uma elevação da temperatura, ocorre o aumento de escape desse gás causado pela agitação das moléculas do gás nas fraturas.

O gás radônio emanado para o meio ambiente sofre influência das características físicas do ambiente, como a temperatura (Marley & Phillips, 2001). Por exemplo, verificou-se que existe uma correlação entre a temperatura e a concentração de gás radônio; durante a noite, quando a temperatura está mais baixa, há maior concentração do gás no ambiente; durante o dia, quando a temperatura aumenta, a concentração do gás radônio diminui. Assim, há uma relação inversa entre a concentração do gás radônio e a temperatura (Marley & Phillips, 2001; Hussein *et al.*, 2001).

A dispersão e a variação da concentração do gás radônio no ambiente também são influenciadas pela ventilação (Chao *et al.*, 1997). A variação sazonal da concentração de radônio é influenciada pelos fatores meteorológicos, tais como a umidade das estações das chuvas em relação a temperatura durante as estações do ano (Hussein *et al.*, 2001). Outros

fatores físicos do ambiente, como a radiância e a magnetosfera, não foram analisados em relação ao gás radônio.

A existência de emissão de gás radônio em materiais de construção está associada à existência de radionuclídeos na matéria-prima usada na fabricação desses materiais (Maged & Borham, 1997). Um exemplo disso é o caso das argilas, que são empregadas em grande escala na construção civil, na fabricação de cerâmica para piso hidráulico e de louças (Konda, 1995). Experimentos de emissão de gás radônio realizados por Maged & Borham (1997) em materiais de construção usados no Egito verificaram que a argamassa usada para o reboco emanava mais radiação do que do cimento comum (Tabela 2.6) e que uma parede de tijolos, reboco e pintura plástica emanava menos radiação do que uma parede de tijolos com revestimento em cerâmica (Tabela 2.7). A diferença de emissão entre os materiais pode ocorrer porque a pintura plástica, possivelmente, deve ter selado os espaços vazios por onde emanaria a radiação.

**Tabela 2.6** – Exalação de gás radônio em materiais de construção usados no Egito (modificado de Maged & Borham, 1997).

Amostra	Concentração de Radônio	Dose equivalente de Alfa	Exalação de radônio	Atividade específica padrão de $^{238}\text{U}$ ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )
	Média ( $\text{Bq m}^{-3}$ )	Média ( $\text{mSv y}^{-1}$ )	Média ( $\text{mBq m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )	
Cimento comum	<b>121</b>	<b>6.1</b>	<b>255</b>	<b>311</b>
Cimento branco	<b>63</b>	<b>3.2</b>	<b>122</b>	<b>150</b>
Cimento com sulfato	<b>128</b>	<b>4.6</b>	<b>248</b>	<b>331</b>
Cimento não p/concreto	<b>425</b>	<b>21.3</b>	<b>666</b>	<b>1300</b>
Gipso	<b>20</b>	<b>1.0</b>	<b>40</b>	<b>25</b>
Tijolo	<b>235</b>	<b>11.8</b>	<b>455</b>	<b>706</b>

Conhecendo as diferenças de emissão de radiação entre os materiais de construção, Othman *et al.*, (1997) analisou a variação de concentração de gás radônio em edificações construídas de forma típica da Síria e em edificações atuais em diferentes locais na Síria. As residências construídas com os materiais de construção típicos apresentaram um alto índice de radiação em relação às casas construídas com materiais de construção modernos, como concreto e tijolos. Observa-se que a informação da origem do material de

construção não foi citada; é preciso notar que o aspecto geológico é responsável pela localização dos elementos radioativos e que, por consequência, poderia estar amplamente correlacionado com os altos índices de radiação existentes nas edificações construídas na forma típica em diversos locais na Síria.

**Tabela 2.7** – Comparação da exalação de radiação entre o conjunto de materiais de construção empregados nas edificações no Egito (modificado de Maged & Borham, 1997).

Amostra	Concentração de Radônio	Dose equivalente de Alfa	Exalação de radônio	Atividade específica padrão de $^{238}\text{U}$ ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )
	Média ( $\text{Bq m}^{-3}$ )	Média ( $\text{mSv y}^{-1}$ )	Média ( $\text{mBq m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )	
Concreto, reboco e pintura plástica	<b>458</b>	<b>2.3</b>	<b>8</b>	<b>100</b>
Tijolo, reboco e pintura plástica	<b>76</b>	<b>3.8</b>	<b>14</b>	<b>209</b>
Tijolo e cerâmica	<b>4025</b>	<b>201.3</b>	<b>728</b>	<b>12550</b>
Tijolo e gipso	<b>243</b>	<b>12.2</b>	<b>44</b>	<b>731</b>
Tijolo e cerâmica	<b>2731</b>	<b>136.6</b>	<b>494</b>	<b>8506</b>
Concreto e gipso	<b>71</b>	<b>3.6</b>	<b>13</b>	<b>172</b>

Locais fechados, como as edificações onde são realizados os estudos arqueológicos, podem ser considerados verdadeiros *trap* para o gás radônio. Pessoas céticas denominam as doenças que ocorrem em pessoas que estudam esses locais de “maldição da múmia”; mas, tal ceticismo tem como origem o medo do desconhecido e o desconhecimento dos métodos científicos de pesquisa. O gás radônio existente na Pirâmide de Teotihuacan no México (Espinosa *et al.*, 1997), na Pirâmide de Cheops no Egito (Kenawy & Morsy, 1991), nas tumbas do Vale dos Reis (Hafez & Hussen, 2001) e nos sítios arqueológicos na cidade de Alexandria no Egito (Hafez *et al.*, 1997) tem como possível origem à geologia local e o material usado em sua construção. A consideração de que o gás radônio é a única causa das doenças que ocorrem em pessoas que estudam, ou que trabalham nos sítios arqueológicos, no entanto, é incoerente, pois os efeitos combinados do gás radônio com o aspecto biológico do meio (bactérias e fungos), do pó, e da umidade local da escavação, que podem existir nesses sítios arqueológicos também devem ser considerados na avaliação epidemiológica.

---

A exposição à radiação pode ser proveniente de acidentes com elementos radioativos e pode fazer vítimas por muitos anos após o incidente. O caso mais recente de acidente nuclear, a Usina de Chernobyl localizada na Ucrânia, está associado à aproximadamente 2.000 casos de câncer na tireóide em crianças na cidade de Lisboa (Portugal). A nuvem radioativa provocada pela explosão do reator nuclear de Chernobyl deslocou-se pelo hemisfério norte com iodo radioativo em suspensão e deixou os traços da explosão registrados em um grande número de casos de câncer da tireóide entre crianças que foram expostas às partículas radioativas do desastre, mesmo após quatro anos da explosão. A glândula tireóide está localizada na base da garganta e absorve o iodo dos alimentos para produzir os hormônios que mantêm o corpo funcionando adequadamente. Com a exposição à radiação, houve uma dosagem de iodo acima do normal e isso afetou a biologia do crescimento das glândulas nas crianças, que são mais sensíveis em comparação aos adultos (Stiller, 2001; Schlumberger *et al.*, 1999).

Outro exemplo da exposição do homem à radiação foi produzido pela explosão da bomba “A” no Japão. Muitas gestantes que estavam entre a 8<sup>a</sup> e a 15<sup>a</sup> semana de gravidez na época da detonação ficaram expostas à radiação e tiveram o nascimento de crianças com retardo mental (BEIR V, 1990). Estima-se que a magnitude de risco do nascimento de crianças com problemas de retardo mental seja aproximadamente da ordem de 4%, com uma dose equivalente de radiação de 0,1 Sv. Porém, conforme a BEIR V (1990), esses dados não são definidos com precisão em relação ao efeito-dose na influência do nascimento de crianças com retardo mental no Japão. E ainda, não se sabe se o efeito da radiação emanada pelo gás radônio, que fica concentrado em *trap* (locais fechados, como residências), teria influência nos casos atuais de nascimento de crianças com retardo mental.

Estudos realizados pela BEIR V (1990) definiram que altas doses de radiação podem promover a leucemia e que as crianças seriam mais susceptíveis do que os adultos. Um dos casos mais exemplares da influência da radiação foi a leucemia que vitimou a Sr<sup>a</sup> Marie Curie, a qual foi ocasionada pela manipulação de substâncias radioativas. O casal Pierre e Marie Curie foi muito afortunado enquanto trabalhavam com elementos radioativo: o mau estado do telheiro do local ocasionou uma ventilação não desejada para os Curie, pois ajudou a minimizar os efeitos da radiação, principalmente a do radônio; porém, não foi suficiente para evitar a leucemia na Sr<sup>a</sup> Marie Curie.

---

## 2.4 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Os radionuclídeos do gás radônio, considerados agentes radioativos epidemiológicos, podem ser identificados e medidos (quantificados) por meio da sua energia. Para medir essa energia, podem ser usados sensores (detectores) eletrônicos que aplicam o princípio do método de cintilação (cintilômetros), ou detectores de filme fotográfico conhecidos como Detectores Sólidos de Traços Nucleares (*Solid State Nuclear Track Detector* – SSNTD).

O método de detecção por cintilação consiste normalmente de um detector de iodeto de sódio ativado a tálio [NaI(Tl)], o qual, ao ser atingido pela energia da radiação, promove cintilações de luz. Essa cintilação de luz é captada por um fotosensor, que são ampliados num fotomultiplicador e convertidos em sinal elétrico, onde será realizada leitura da cintilação. Esse detector, conforme Vanmarcke & Paridaens (2001), é empregado em levantamentos nos Estados Unidos e a sua unidade de medida padrão é Bq/m<sup>3</sup>, ou pCi/L para a EPA. Entre as vantagens do uso desse equipamento destacam-se:

- i) a regulação do tempo de medição da radiação;
- ii) as medições das flutuações de radiação que ocorrem durante o dia;
- iii) os resultados da leitura em tempo real e;
- iv) a maleabilidade do instrumento.

O detector de radiação tipo SSNTD é composto por um filme fotográfico do tipo polímero CR-39 (policarbonato makrofol, Maged & Borham, 1997) e/ou por um detector plástico a base de Nitrato de Celulose (LR-115 II da Kodak: Barrillon *et al.*, 1997; Djefal *et al.*, 1997) semelhante ao CND da *Pereslavl Branch* (Pavlenko *et al.*, 1997). O detector SSNTD registra, por meio de traços (traços nucleares) em filme, a radiação existente no ambiente durante um determinado período. Após a revelação do filme, realiza-se uma contagem dos traços nucleares e determina-se a concentração de radiação. Esse detector, conforme Vanmarcke & Paridaens (2001), é empregado em levantamentos na Comunidade Européia de acordo com instruções da *European Basic Safety Standards Directive* (EU-BSS) de 1996. A unidade de medida padrão para calcular a radônio exalado é a dose equivalente mSv y<sup>-1</sup>. Na África e na Ásia, segundo Jönsson *et al.* (1997), o Bq/m<sup>3</sup> é usado como unidade de medida padrão.

---

As vantagens do uso dos detectores tipo SSNTD são:

- i) o detector pode ser colocado no ambiente, seja parede e/ou teto;
- ii) o detector pode ser colocado em um tubo fechado de dimensões conhecidas;
- iii) o resultado independe de flutuações que ocorrem durante o levantamento;
- iv) apresenta alta sensibilidade com baixíssima atividade.

Jönsson *et al.* (1997) comparou os tipos de detectores com relação à quantificação do gás radônio no ambiente. O autor concluiu que os resultados obtidos com os detectores foram praticamente iguais quando comparadas as concentrações presentes de gás radônio coletadas em um período aproximado de um mês.

Entre os exemplos de aplicações dos detectores, pode-se destacar a metodologia usada na Pirâmide de Teotihuacan (Espinosa *et al.*, 1997), onde foram aplicados os detectores SSNTD (polímero CR-39 e policarbonato makrofol). As medidas de radiação foram realizadas no inverno, para escapar da estação das chuvas, e foram obtidas três leituras por ponto, uma por mês, com dois detectores em cada ponto de coleta. Os resultados foram expressos pela média dos valores. Esses resultados orientaram as modificações do sistema de ventilação em algumas galerias que apresentaram altas concentrações de gás radônio.

No sítio arqueológico da cidade de Alexandria no Egito, foi usado o detector plástico LR-115 II (SSNTD), com o objetivo de estabelecer as áreas mais críticas e as suas variações sazonais. A metodologia de campo usada por Hafez *et al.* (1997) foi a colocação do sensor LR-115 II dentro de um recipiente a uma altura de 3 m do solo. Os resultados mostraram altos níveis de gás radônio durante o verão em comparação com o inverno, especialmente nos pilares subterrâneos da galeria de Pompéia (Templo de Serapis), que são feitos de granitos.

A determinação da concentração de gás radônio com o detector por cintilação foi feita na cidade de Doha – Qatar (Arafa & El-Karadawi, 1997). Nessa análise, foi usado um espectrômetro com dois detectores de cintilação, cujo nível de detecção mínima estava entre 2,2 e 3,7 Bq/m<sup>3</sup> e cuja eficiência era 19,24 ± 0,15 cpm/Bq para uma exposição de 10 minutos. Foi aplicada a metodologia da caixa de carvão ativado para deduzir o fator de calibração e, assim, estimar a concentração de gás radônio no ambiente. Os resultados mostraram uma concentração entre 11 e 23 Bq/m<sup>3</sup> e indicam que a cidade de Doha apresenta baixos índices de concentração de gás radônio em relação a outros países e que esses valores são atribuídos ao solo, à geologia e aos materiais de construção empregados na cidade.

---

---

A definição do tipo, ou dos tipos detectores a serem aplicados pode ser realizada em relação à finalidade da aplicação e da metodologia a ser usada. O detector tipo SSNTD adapta-se bem a situações onde se deseja obter um valor médio da radiação no ambiente durante um intervalo de tempo, sem a preocupação com as flutuações diárias. Os indicadores pessoais de radiação são os detectores SSNTD. O detector por cintilação é indicado para identificar as variações das flutuações diárias.

Agentes radioativos epidemiológicos também podem ser identificados e medidos (quantificados) por meio de Câmeras de Ionização (Kaplan, 1978), ou por dosímetro de uso pessoal do tipo termoluminescente (Prorad, 2002). O dosímetro termoluminescente é constituído por cristais que acumulam a energia da radiação incidente, a medição da intensidade de radiação acumulado no cristal é realizada através da luz ultravioleta emitida durante aquecimento do dosímetro em laboratório, cuja a intensidade de luz ultravioleta é proporcional a dose da radiação incidente.

## CAPÍTULO 3

### *INCIDÊNCIAS E CAUSAS DE NEOPLASIAS NO RIO GRANDE DO SUL*

As células normais de todos os organismos vivos coexistem em perfeita harmonia citológica, histológica e funcional. A harmonia está orientada no sentido da manutenção da vida e em acordo com as características morfológicas e funcionais a partir das quais os órgãos funcionam. Os mecanismos que as regulam, tanto o contato e a permanência de uma célula ao lado da outra, como os controles do seu crescimento, constituem áreas pouco conhecidas da biologia. A prática e o estudo demonstram que as células semelhantes reconhecem-se umas às outras por processos de superfície, interagindo para executar determinada função orgânica. Sabe-se, também, que o crescimento celular é estimulado de acordo com as necessidades e as especificações da parte envolvida do corpo e é realizado num processo cuidadosamente regulado (Brasil, 1995; Barrios & Sartori, 1995; Fleck, 1995).

O crescimento celular tem, como consequência, um aumento da massa celular, ou seja, a duplicação do ácido desoxirribonucléico (DNA) e a divisão física da célula (mitose), que integram um dos processos do ciclo celular. O estímulo para que ocorra o ciclo celular é pouco conhecido; sabe-se que alguns hormônios são essenciais para o crescimento da célula. Os hormônios não têm valor como nutriente para as células e, presumidamente, agem apenas como controladores do processo celular. Imagina-se, então, que o crescimento celular é dependente de fatores estimulantes e inibidores e que permanece em equilíbrio até o surgimento de um estímulo de crescimento efetivo, esse período de “espera”, é chamado de período latente (Giurlani, 1997). Quando, em alguma ocasião, ocorre a ruptura dos mecanismos reguladores da multiplicação celular pela radiação ionizante, sem que aja a ativação de um mecanismo de inibição e sem que seja necessária a multiplicação celular para o tecido, a célula começa a crescer e a dividir-se desordenadamente. O resultado dessa multiplicação anômala de células é denominado de neoplasia (tumor) e pode ser maligna (carcinogênese), ou benigna (Mukherjee & Mircheva, 1991; Brasil, 1995; Barrios & Sartori, 1995; Fleck, 1995).

---

A Secretaria da Saúde do estado do Rio Grande do Sul (SS-RS), por meio do Núcleo de Informação em Saúde, dispõe de um banco de dados sobre a mortalidade por neoplasia no estado, denominado de Sistema de Mortalidade (SIM-RS). O banco de dados SIM-RS tem, como fonte de dados, a Declaração de Óbito (DO), que é o laudo emitido pelo médico. Esse laudo é identificado pela Unidade da Federação (UF) da residência.

### ***3.1 TIPIFICAÇÃO DE NEOPLASIAS***

A base da tipificação de neoplasia para esse estudo epidemiológico foi gerada a partir do banco de dados sobre neoplasias no estado do Rio Grande do Sul. A montagem dessa base seguiu uma seqüência de formatação, que teve como objetivo simplificar o banco de dados sem que houvesse perda das características da informação.

A montagem do banco de dados iniciou com a determinação dos tipos de neoplasias que podem apresentar alguma correlação com a radiação ionizante (informações decididas em reuniões com Dr. Paulo R. Grassi da SS-RS). Além disso, o banco de dados tem como base os códigos da CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE DOENÇAS (CID – 9 e CID – 10) e não os códigos da CID-BR. Isso não quer dizer que o código nacional CID-BR não esteja apto ao estudo, já que o código nacional é baseado no código internacional. O motivo para o uso da classificação internacional é a necessidade de compatibilizar os códigos internacionais dos tipos de doenças relacionadas com radiação ionizante, de modo que sejam usadas nomenclaturas “padrão” de neoplasias.

A diferença entre os códigos internacionais (CID – 9 e CID – 10) é a época que eles representam. O código CID – 9 compreende as causas básicas de doenças no período que abrange 1979 a 1995. O CID – 10 representa uma nova classificação das causas básicas de doenças a partir de 1996. O objetivo do código internacional é detalhar, o máximo possível, as causas da doença que ocasionou o óbito. E o objetivo desse estudo epidemiológico é a análise de uma possível correlação entre as neoplasias e o meio físico no contexto geral.

Para simplificar a diversificação das neoplasias expostas no código internacional, os dados foram agrupados em dez (10) grupos de neoplasia, de acordo com o tipo principal de neoplasia (Tabela 3.1). No agrupamento das neoplasias, não ocorreu o

---

comprometimento do órgão afetado pela neoplasia, de maneira a aumentar a confiabilidade do estudo. Nos anexos 1, 2 e 3, estão identificados os tipos de neoplasias agrupadas e as doenças que foram excluídas.

**Tabela 3.1** - Os grupos de neoplasias identificadas pelo tipo principal de neoplasia do grupo e a comparação dos códigos de nomenclatura e por meio dos códigos de classificação (CID-9, CID-10 e CIDBR-10).

Grupo	Tipo de Neoplasia	Nomenclatura CID - 9	Nomenclatura CID - 10	Nomenclatura CIDBR-10
NG01	Lábio, causas oral, faringe,	140.0 – 149.9	C00.0 – C14.9	032
	Esôfago	150.0 – 150.9	C15.0 – C15.9	033
NG02	Estomago	151.0 – 151.9	C16.0 – C16.9	034
NG03	colo, reto, ânus	152.0 – 154.8	C18.0 – C21.8	035
	Fígado	155.0 - 155.2	C22.0 – C22.9	
NG04	Vias biliares	156.0 – 156.9	C23.0	036
	Pâncreas	157.0 – 157.9	C24.0 – C24.9	
NG05	Laringe	161.0 – 161.9	C32.0 – C32.9	038
	Pulmão		C33.0	038
				C34.0 – C34.9
NG06	Bexiga	188.0 – 188.9	C67.0 – C67.9	046
NG07	Meninges, Encéfalo	191.0 – 191.9	C70.0 – C72.9	047
	E outras partes	192.0 – 192.9		
NG08	Linfoma não Hodgkin	200.0 – 200.8	C82.0 – C85.9	048
		202.0 – 202.9		
NG09	Mieloma	203.0 – 203.8	C90.0 – C90.2	049
NG10	Leucemia	204.0 – 208.0	C91.0 – C95.0	050

Após a determinação dos grupos de neoplasias, foi realizada a montagem física do banco de dados de neoplasias. Os dados foram extraídos do banco de dados do SIM-RS, com ajuda do programa TabWin<sup>®</sup> do sistema DATASUS do Ministério da Saúde.

As ocorrências de neoplasias foram extraídas em relação ao município de sua ocorrência e ao ano da sua ocorrência. A montagem do banco de dados seguiu as seguintes etapas de construção:

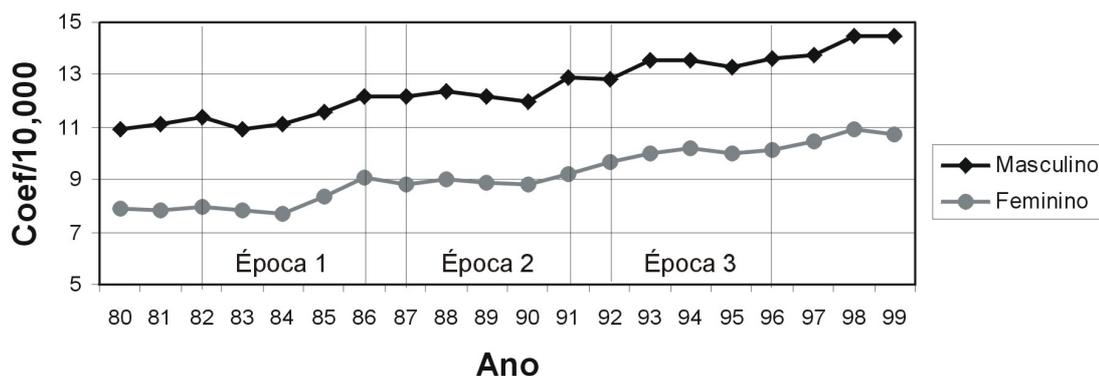
1. determinação da taxa de ocorrência de neoplasias/ano por município;
2. normalização populacional do município em 10 mil habitantes;
3. determinação da taxa de neoplasias/ano pela população normalizada;
4. agrupamento por época.

A análise da ocorrência de neoplasias por município e por ano tem o objetivo de balizar o banco de dados com as características da posição espacial e da análise temporal da neoplasia. Para a normalização, usou-se, por conveniência, o fator de 10 mil habitantes, com o objetivo de efetuar a comparação de taxas entre os municípios. Para tanto, empregou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Neoplasia/10mil hab} = (\text{casos de neoplasia no município} \times 10.000 \text{ hab.}) / \text{hab. Município} \quad (1)$$

A normalização populacional foi realizada com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quer de contagem, quer de estimação, quer do censo populacional.

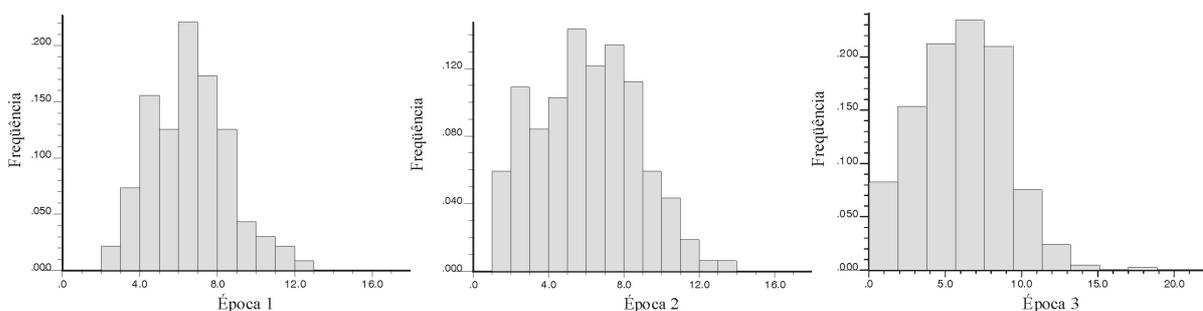
Os agrupamentos em épocas foram montados a partir do gráfico da Figura 3.1. Cada época corresponde a um patamar de cinco anos. O resultado é obtido pelo ajuste da média de neoplasias dos anos das ocorrências que envolvem uma determinada época. Os patamares observados na Figura 3.1 resultam de diferentes instrumentos de amostragem e de registro dos dados adotados pelo Sistema de Saúde. As neoplasias foram classificadas da seguinte forma: **i)** a época 1 abrange os anos de 1982 até 1986, **ii)** a época 2 compreende os anos de 1987 até 1991 e **iii)** a época 3 de 1992 até 1996.



**Figura 3.1** - Coeficiente de mortalidade por todas as causas de neoplasias malignas, todas as idades, por sexo no Rio Grande do Sul entre 1980-1999, identificadas por épocas. (Fonte: Coordenadoria de Informações em Saúde – CIS/SES Brasil, 1998)

### 3.2 ANALISE ESTATÍSTICA DOS DADOS EPIDEMIOLÓGICOS

Os dados de neoplasias de cada época apresentam semelhança na análise estatística. A similaridade entre as épocas pode ser visualizada nos histogramas da Figura 3.2 e nos valores da Tabela 3.2. A similaridade estatística entre as épocas é indicativa de que os casos de neoplasias não são oriundos de eventos aleatórios conhecidos. Nesse caso, é considerado como evento aleatório conhecido, qualquer variação anômala provocada por fonte de emissão de radiação conhecida. Um exemplo de evento aleatório conhecido é o acidente com elementos radioativos de Goiânia, em 1987 (Helou *et al.*, 1995), onde ocorreu a liberação de radiação para o meio. Outros exemplos de acidentes com radionuclídeos foram comentados no capítulo 2.2.



**Figura 3.2** – Histogramas dos dados de neoplasias das épocas 1, 2 e 3.

**Tabela 3.2** – Parâmetros estatístico básico dos dados de neoplasias das épocas 1, 2, 3 e total.

	Época 1	Época 2	Época 3	Total
	1982-1986	1987-1991	1992-1996	1982-1996
Mediana	6	6	7	6
Média	6	6	7	6
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	12	13	15	13
Desvio padrão	2	2	2	2
Variância	3	4	4	3
Coefficiente de variação	0,27	0.30	0.30	0.26

Observa-se que, na análise estatística, a assimetria é a única diferença real entre as épocas. A diminuição da assimetria é possivelmente ocasionada pelo preenchimento correto da declaração de óbito (DO). No projeto de sistematização e controle de qualidade das informações da Secretaria da Saúde ao longo dos anos, houve uma melhora considerável na veracidade das informações da DO, deixando-a mais confiável. A melhora significativa no preenchimento da DO, que ocorreu ao longo dos anos, deve-se à implementação de uma metodologia e de um controle contínuo da causa, ou das causas, que passaram a estar especificadas na declaração de óbito (informação do Dr. Paulo R. Grassi da SS-RS).

Outras variáveis da informação epidemiológica podem, ainda, ter influenciado na assimetria do histograma, conforme observado entre as épocas. Dentre elas, pode-se destacar:

1. a omissão da real residência do óbito, já que muito dos tratamentos são realizados fora do município de origem. Nesse aspecto, a SS-RS aumentou, também, o controle dos dados em relação à residência de fato do indivíduo;
2. o fato de não haver residência fixa, ou seja, as pessoas residem em mais de uma localidade durante a sua vida;
3. a contínua emancipação de municípios, já que muitos dos municípios tiveram origem por emancipações recentes e apresentam uma infra-estrutura pública pobre. Isso faz com que seus moradores se desloquem para ter atendimento em outras cidades; e,

- 
4. associado à infra-estrutura pobre do município, existe o fato de que o registro de nascimento dos moradores pertence ao município que deu origem ao município emancipado. Isso pode ocasionar uma informação não verdadeira sobre a real residência do óbito.

Provavelmente, alguns dos fatores descritos acima geraram influências no banco de dados de neoplasias. Mesmo que sejam ínfimas, essas influências podem apresentar alguma interferência no banco de dados. Assim, considerou-se, para esse trabalho, que os dados de neoplasias são representativos dos municípios de residência do óbito.

### ***3.3 ANÁLISE ESPACIAL DA INCIDÊNCIA DE NEOPLASIAS NO RS***

O banco de dados epidemiológicos de neoplasias obtido na SS-RS compreende todos os municípios do estado do Rio Grande do Sul no período de 1982 a 1996. Assim, é possível realizar uma análise da distribuição espacial de neoplasias do estado. O processo de agrupamento dos dados de neoplasia em épocas foi descrito item 3.1, anterior. Para realizar a análise da distribuição espacial de neoplasias por época foi usado o programa TabWin<sup>®</sup> do sistema DATASUS do Ministério da Saúde. Os resultados dessa análise são mostrados nas figuras 3.3, 3.4 e 3.5.

Alguns parâmetros devem ser observados para a adequada interpretação das figuras 3.3, 3.4 e 3.5: i) municípios que se emanciparam no período de 1982 a 1996; e ii) história epidemiológica do município.

A contínua emancipação de municípios no estado do Rio Grande do Sul deu origem a alguns problemas na estrutura do banco de dados. O fato da estrutura do banco de dados não acompanhar a evolução municipal (emancipação do município) resultou na ausência de informações epidemiológicas em alguns municípios; ou seja, gerou uma defasagem de informações. A Tabela 3.3 mostra algumas divisões territoriais que ocorreram no estado do Rio Grande do Sul no intervalo de 1982 a 1995, com a respectiva data da emancipação e o(s) município(s) de origem da cidade emancipada.

Toda a emancipação resulta, também, em divisões populacionais. A Tabela 3.5 mostra, como exemplo de divisão populacional, a emancipação do município de Nova Esperança do Sul a partir de Jaguari, em 1988. Observa-se, na Tabela 3.5, que, antes do ano

de 1988 (ano da emancipação de Nova Esperança do Sul), ocorreu um decréscimo populacional no município de Jaguari por motivos ignorados nesse estudo; a partir de 1988, sendo que esse decréscimo populacional foi causado pela divisão municipal.

**Tabela 3.3** – Identificação de alguns municípios do estado do Rio Grande do Sul que se emanciparam, com a identificação do município de origem e a data de sua emancipação (Fonte: IBGE 2001).

Município Emancipado	Município de Origem	Dia da emancipação
Hulha Negra	Bagé	20/03/1992
Chuí	Santa Vitória do Palmar	28/12/1995
Alto Feliz	Feliz	20/03/1992
Fortaleza dos Valos	Cruz Alta	03/05/1982
Monte Belo do Sul	Bento Gonçalves	20/03/1992
Dois Lajeados	Guaporé	08/12/1987
Nova Esperança do Sul	Jaguari	13/04/1988
Salto do Jacuí	Espumoso / Arroio do Tigre / Cruz Alta	12/05/1982
Candiota	Bagé / Pinheiro Machado	20/03/1992

**Tabela 3.4** – População dos municípios de Jaguari e de Nova Esperança do Sul, antes e após a emancipação, ocorrida em 1988, do município de Nova Esperança do Sul (Fonte: IBGE, 2001).

Município	Data da Emancipação	Ano					
		1986	1987	1988	1989	1990	1991
Jaguari	16/08/1920	14328	14058	13788	10552	12361	12751
Nova Esperança do Sul	13/04/1988	-	-	-	2966	3037	3589

A divisão municipal realizada via emancipação também influenciou na história epidemiológica do município. A Tabela 3.5 mostra uma comparação entre alguns municípios do estado do Rio Grande do Sul cuja emancipação é anterior ao intervalo de coleta epidemiológica para esse estudo (a coleta de dados epidemiológicos para esse estudo ocorreu entre 1982-1996). A mesma tabela apresenta alguns municípios cuja emancipação ocorreu durante o período de coleta de dados epidemiológicos e municípios cuja emancipação ocorreu depois do intervalo de estudo.

**Tabela 3.5** – Comparação da história epidemiológica de alguns municípios do estado do Rio Grande do Sul no período de 1982 a 1995 (Fonte: SS-RS).

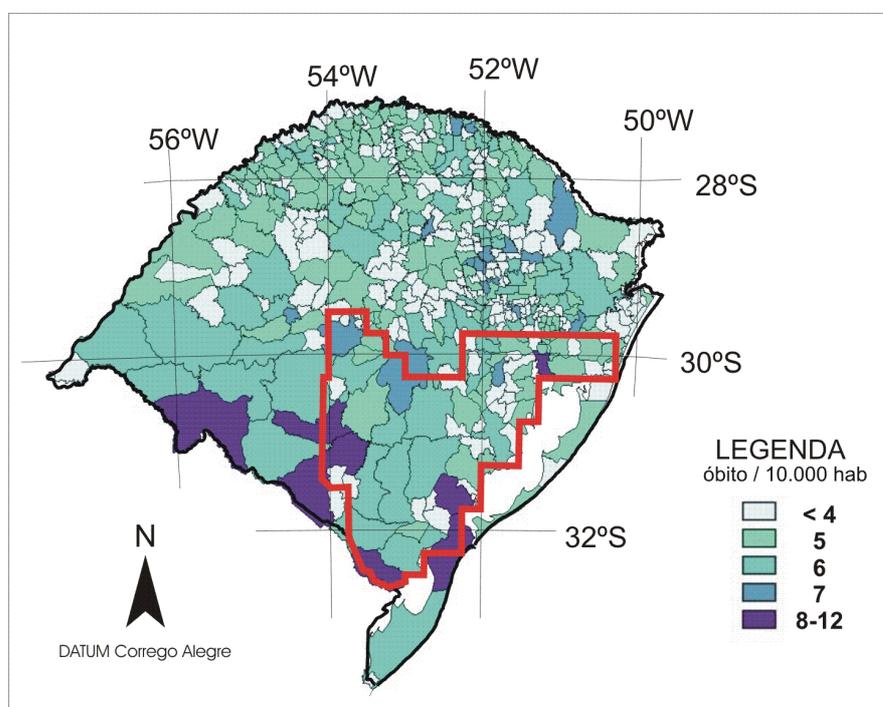
Município	emancipação	Coeficiente de neoplasias para 10000 hab.													
		Época 1					Época 2					Época 3			
		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Bagé	1846	10	9	9	11	11	9	12	9	8	11	11	12	9	10
Santa Vitória do Palmar	1872	6	7	5	10	7	9	9	6	6	3	7	5	8	7
Pinheiro Machado	1878	7	11	7	7	7	10	9	12	9	9	10	12	12	11
Lavras do sul	1882	12	6	11	9	13	15	18	6	6	12	10	10	18	10
Guaporé	1903	7	10	11	6	13	14	8	11	9	6	9	12	10	13
Jaguarí	1920	5	10	10	5	10	11	11	7	11	7	10	13	6	13
Nova Esperança do sul	1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	6	11	3
Hulha Negra	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Candiota	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	2
Chuí	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A influência da emancipação municipal sobre as informações epidemiológicas dos municípios refere-se a um impasse quanto a sua real informação epidemiológica. Para solucionar esse impasse da divisão territorial dos municípios frente aos dados epidemiológicos, foram considerados alguns ajustes na elaboração dos mapas da incidência de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul, para o período que abrange o estudo epidemiológico. Os ajustes realizados tiveram as seguintes características:

1. município com uma história epidemiológica antiga consolidada, é um município cuja emancipação ocorreu bem antes do período que abrange os dados desse estudo. Portanto, as informações desse município não foram ajustadas;
2. municípios emancipados de apenas uma base territorial. Nesse caso, até a data da emancipação do novo município, usou-se, como referência de superfície territorial, os dados epidemiológicos do município origem;
3. os municípios emancipados a partir de mais de um município de origem (Tabela 3.3). Nesse caso, usou-se a média dos dados epidemiológicos dos municípios de origem.

A necessidade do ajuste na divisão territorial e epidemiológica decorre do fato de que os dados epidemiológicos serem posteriormente integrados com os dados de geofísica e da coerente espacialização dos dados epidemiológicos em virtude da divisão territorial.

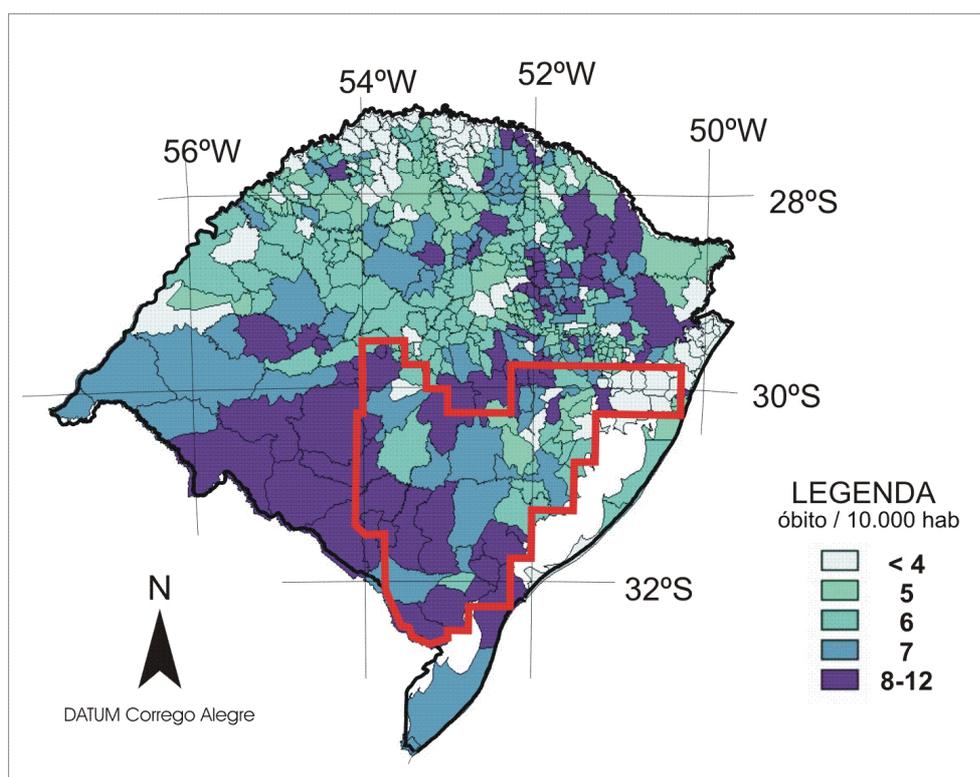
A Figura 3.3 apresenta os dados epidemiológicos do estado do Rio Grande do Sul para a época 1, sem os ajustes da divisão territorial (emancipação). Observa-se a existência de muitos municípios sem informação de dados epidemiológicos, principalmente nas regiões central, metropolitana e norte do estado. Essa falta de informação representado por número zero, representam os municípios que não haviam se emancipado na época 1, ou seja, período entre 1982-1986. Por conseqüência, esses valores zerados representam a falsa verdade (informação não representativa) da incidência espacialmente distribuída de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 3.3** – Mapa da distribuição de neoplasias do estado do Rio Grande do Sul na época 1 sem o ajuste na divisão territorial ocasionada pelas emancipações (Fonte: SS-RS).

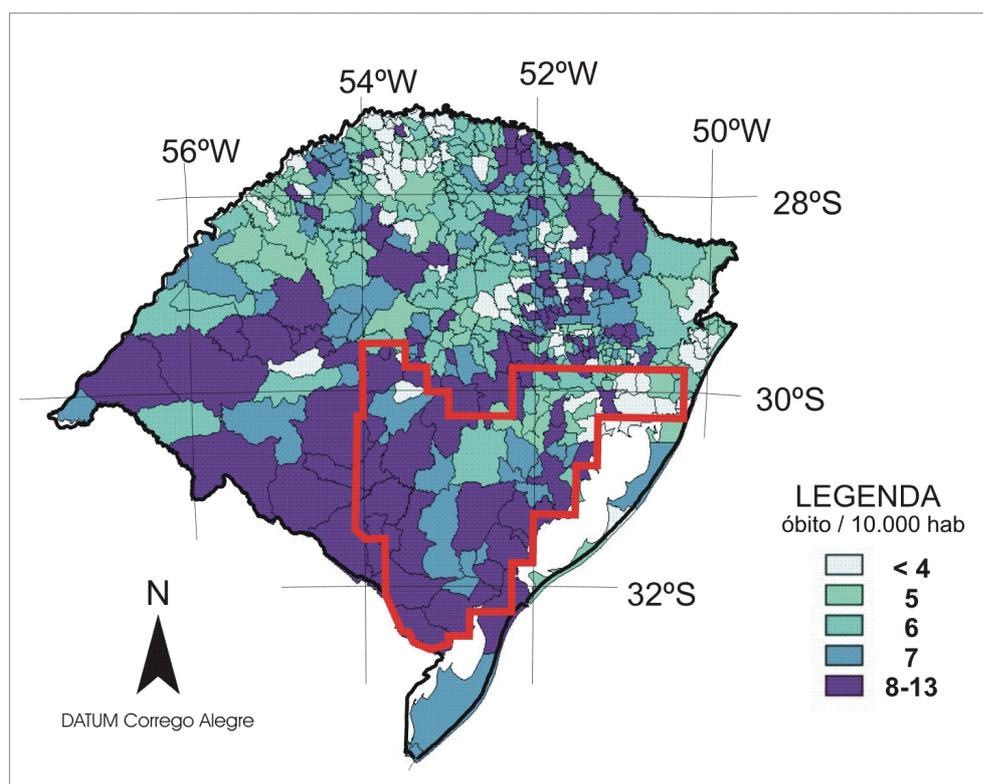
Observa-se, na Tabela 3.5, que o tempo de controle epidemiológico do município (a sua história epidemiológica) poderá ser considerado mais representativo quanto mais antigo o município for. Já a história epidemiológica dos municípios novos, emancipados durante o período desse estudo, podem estar sendo influenciada pelas variáveis impostas sobre as informações epidemiológicas que estão descritas no item 3.2.

A Figura 3.4 mostra a incidência de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul para a mesma época 1, mas agora incorporando os ajustes da divisão territorial descrito anteriormente. O mapa da distribuição espacial de neoplasias para a época 1 (período 1982-1986), mostra que a região mais ao sul do estado possui os índices de incidência mais elevados. Já a região nordeste e alguns municípios do oeste do estado apresentam índices de neoplasias consideravelmente menores. Conforme a Tabela 3.2, a época 1 apresenta um índice de 12 óbitos para 10.000 habitantes como o valor mais alto do estado para o período entre 1982 e 1986.

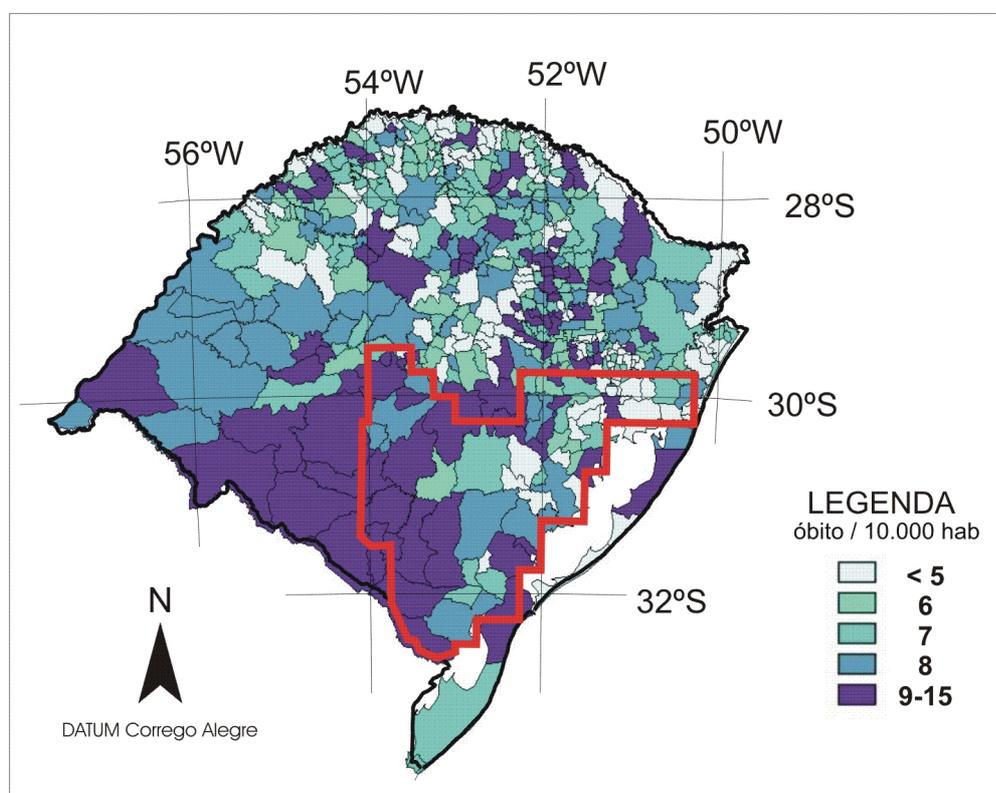


**Figura 3.4** – Mapa da distribuição de neoplasias do estado do Rio Grande do Sul na época 1 (período entre 1982 e 1986), com o ajuste na divisão territorial ocasionado pelas emancipações (Fonte: SS-RS).

A época 2 (1987 a 1991) mostra a distribuição espacial da incidência de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul com os ajustes da divisão territorial já descrito anteriormente (Figura 3.5). A época 2 mostra que a região mais ao sul do estado e alguns municípios mais a nordeste do estado possuem índices de incidência de neoplasias mais elevados. A região noroeste e leste e alguns municípios na porção central do estado têm índice



**Figura 3.5** – Mapa da distribuição de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul da época 2 (período entre 1986 e 1991), com o ajuste na divisão territorial ocasionado pelas emancipações (Fonte: SS-RS).

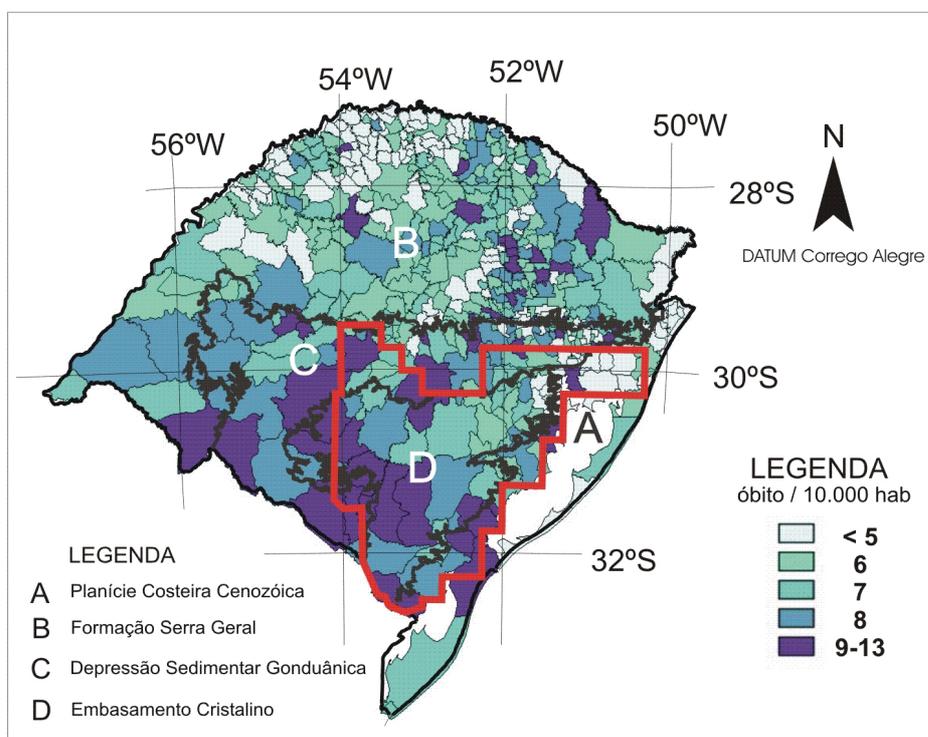


**Figura 3.6** – Mapa da distribuição de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul na época 3 (período entre 1992 e 1995), com o ajuste na divisão territorial ocasionado pelas emancipações (Fonte: SS-RS).

de neoplasias consideravelmente menor. Conforme a Tabela 3.2, a época 2 apresenta um índice máximo de incidência de neoplasias de 13 óbitos para 10.000 habitantes. A classificação da legenda nas figuras 3.4, 3.5 e 3.6 está dada por classes de igual frequência.

Na época 3 (período de 1992 a 1995), o predomínio de altos índices de casos de neoplasias continua na parte sul do Estado do Rio Grande do Sul. A Figura 3.6 mostra que, além da região sul, alguns municípios na região centro-norte do estado também apresentam altos índices de neoplasias. Porém, na região centro-norte do estado, há o predomínio de valores médios a baixos. Conforme a Tabela 3.2, a época 3 apresenta um índice máximo de 15 óbitos para 10.000 habitantes para o período entre 1992 e 1995.

Analisando os dados da incidência de óbitos por neoplasias no Estado do Rio Grande do Sul em todo o período que abrange esse estudo epidemiológico (1982 a 1995) comparativamente à delimitação das províncias geológicas (Capítulo 1.4), observa-se que, no contexto geral, a região norte e leste do estado apresentam baixos índices de óbitos por neoplasias. Essas regiões estão situadas sobre as províncias da Planície Costeira Cenozóica e da Formação Serra Geral. Já, os elevados índices de óbitos por neoplasias concentram-se na região sul que correspondem às províncias geológicas da Depressão Sedimentar Gonduânica e do Embasamento Cristalino e em algumas localidades no nordeste do estado da Formação Serra Geral, (Figura 3.7).



**Figura 3.7** – Mapa da distribuição de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul no período entre 1982 e 1995 (Fonte: SS-RS), delimitado pelas províncias geológicas (em detalhe a área de estudo).

## CAPÍTULO 4

### *NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO NATURAL DE RADIOELEMENTOS NO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE*

A técnica geofísica de aerogamaespectrometria, cujos dados são usados nesse estudo epidemiológico no Escudo Sul-riograndense, consiste em medir a produção de raios gama que são emitidos no decaimento dos elementos radioativos (Durval *et al.*, 1971; Pitkin & Durval, 1980; Wilford *et al.*, 1997). Esses raios gama são a fonte da radiação ionizante capaz de produzir vários tipos de neoplasias.

Os dados gamaespectrométricos fazem parte da base de dados de Projetos Aerogeofísicos do Brasil, denominada Projeto AERO. O Projeto AERO foi criado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), em 1995, com o principal objetivo de fornecer informações técnicas sobre todas as fases dos principais levantamentos aerogeofísicos executados no Brasil desde 1952, sob a administração da Divisão de Geofísica da CPRM (DIGEOF).

Todos os levantamentos foram codificados, agrupados e numerados de acordo com o patrocinador e o ano de levantamento. O código da Série 1000, usado nesse estudo, faz parte dos projetos conduzidos pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Para esse estudo epidemiológico, foram usados os seguintes projetos da série 1000:

- 1010 - Projeto Camaquã (Área I);
- 1034 - Projeto Extremo Sudeste do Brasil.

No banco de dados utilizado nesse estudo, não se considerou o procedimento das correções realizadas nos dados gamaespectrométricos após o levantamento aerogeofísico, visto que esse não era o objetivo em questão. Assim, considerou-se como verdadeiras e aptas para o estudo das causas da incidência de neoplasias as informações básicas do levantamento aerogeofísico: i) contagem total transformada em dose (mR/h) e ii) concentração dos

radioelementos (% de K e ppm de eU e eTh). Entretanto, deve ser salientado que o “estado da arte” das técnicas empregadas nos anos 70 e 80 no levantamento gamaespectrométrico, bem como a qualidade dos dados, são inferiores a qualidade dos dados dos detectores e a do final dos anos 90. Uma análise completa da qualidade dos dados utilizados nesse estudo, só será possível quando forem realizados estudos com detectores de melhor qualidade.

#### 4.1 QUANTIFICAÇÃO DAS FONTES DE INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS

Os levantamentos aerogeofísicos dos Projetos Camaquã e Extremo Sudeste do Brasil (Figura 4.1) apresentam as seguintes características técnicas, descritas nas Tabelas 4.1 e 4.2.

O volume total dos cristais detectores de iodeto de sódio (NaI) ativado a tálio (cristais *down*) utilizado no aerogamaespectrômetro do Projeto Camaquã (Jackson *et al.*, 1973) foi de 2491,59 polegadas cúbicas, fabricado pela *Texas Instruments* (Tabela 4.1). No Projeto Extremo Sudeste do Brasil (Brasil, 1978), o volume total dos cristais detectores de iodeto de sódio (NaI) ativado a tálio foi de 1017,87 polegadas cúbicas, usado no aerogamaespectrômetro modelo EXPLORANIUM DIGRS-300 (Tabela 4.2).

Os dados radiométricos originais do levantamento aerogeofísico foram convertidos de "contagens por segundo" (cps) para concentração de elementos - percentagem - % - para K, parte por milhão (ppm) para equivalente de urânio (eU) e equivalente de tório (eTh) e *microroentgen* por hora para o Canal de Contagem Total, a partir da técnica denominada de *back-calibration* (Brasil, 1997).

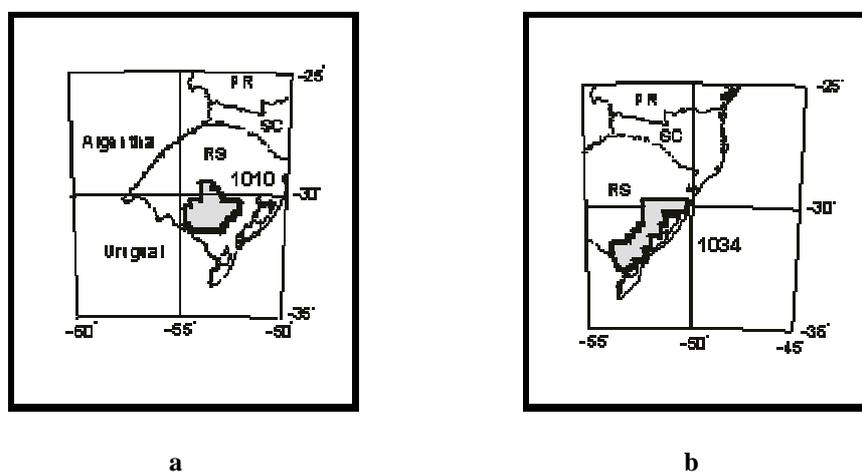
**Tabela 4.1** – Principais parâmetros do Projeto Aerogeofísico Camaquã (Brasil-CPRM, 2000)

Período	05 a 06/1973
Intervalo de Amostragem	1 segundo
Altura de Vôo	150 metros
Direção e Espaçamento das Linhas de Vôo (LV)	NW-SE, 1 km.
Direção e Espaçamento das Linhas de Controle (LC)	NE-SW, 18 km
Tempo de Integração Gama	2 segundos
Cristais de NaI (TI)	2491,59 polegadas cúbicas

**Tabela 4.2** – Principais Parâmetros do Projeto Aerogeofísico Extremo Sudeste do Brasil (Brasil-CPRM, 2000).

Período	02 a 04/1978
Intervalo de amostragem	1 segundo
Altura de Vôo	150 m
Direção e Espaçamento das Linhas de Vôo (LV)	N-S, 1 km
Direção e Espaçamento das Linhas de Controle (LC)	E-W, 10 km
Tempo de Integração Gama	1 segundo
Cristais de NaI (TI)	1017,87 polegadas cúbicas

As áreas dos dois levantamentos aerogeofísicos descritos anteriormente são mostradas na Figura 4.1(a, b). As diferentes características dos detectores (Tabelas 4.1 e 4.2), segundo Minty *et al.* (1997) e Ferreira & Souza (1998), podem interferir no correto processamento dos dados aerogeofísicos, já que a influência da radiação sobre o detector não dependeria somente da rocha e do solo, mas também das características do equipamento usado no levantamento, como por exemplo, o volume do cristal.



**Figura 4.1** – Localização dos projetos aerogeofísicos no Rio Grande do sul. a) Projeto Camaquã, série 1010, b) Projeto Extremo Sudeste do Brasil, série 1034 (Brasil-CPRM, 2000)

Os levantamentos aerogeofísicos originais de ambos os projetos tiveram, como produto final, a determinação dos radioelementos em *cps* (contagens por segundo), que é o tempo de integração gama num cristal sensível previamente definido (Tabelas 4.1 e 4.2). Posteriormente, esses dados foram convertidos para concentrações do rádio-elementos. A

---

conversão para concentração transforma os valores radiométricos obtidos no levantamento original (cps) para valores próximos das características radiométricas das unidades litológicas (rochas e solos) (Minty *et al.*, 1997; Ferreira & Souza, 1998). É possível que existam variações entre os dados originais, isso poderá ocorrer devido as origens diferentes das unidades litológicas

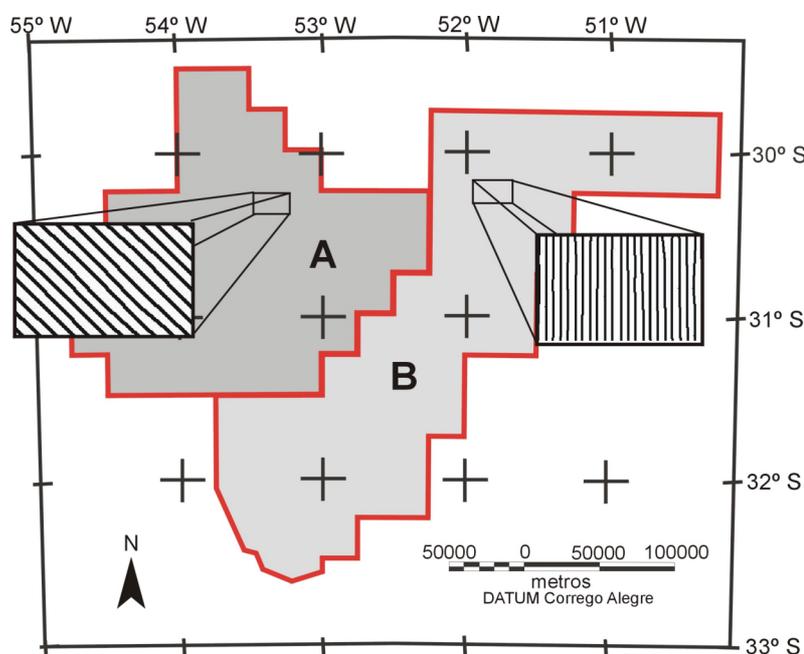
A possibilidade de se obter informações geológicas a partir de levantamento aerogeofísico, informações essas mais próximas do significado geológico real, requer que sejam conhecidas as limitações impostas por levantamentos com características distintas. Assim, optou-se por utilizar os dados transformados em concentrações de radioelementos, pois estão reduzidos a uma mesma base para processamento e integração. Além disso, o objetivo dessa dissertação é avaliar a relação entre a emissão de gás radônio, produzido no decaimento de elementos radioativos, e a incidência de neoplasia; isso somente é possível por meio do processamento e transformações adicionais dos dados fornecidos em concentração.

A medida das concentrações de U e de Th (Horsfall, 1997) é obtida por meio de leituras das intensidades relativas dos isótopos de  $\text{Bi}^{214}$  e  $\text{Tl}^{208}$ , respectivamente. Esses isótopos fazem parte da série de decaimento radioativo dos elementos U e Th (Capítulo 2.1). Usa-se, por conveniência, o  $\text{Bi}^{214}$  e o  $\text{Tl}^{208}$  em função da sua meia-vida, ou seja, do tempo decorrido para o decaimento de metade da quantidade do radionuclídeo pai para filho (ver Capítulo 2.1). Nesse caso, assume-se que, no equilíbrio radioativo, a concentração do radionuclídeo pai pode ser determinada pela medida da radiação gama produzida pelo radionuclídeo filho (Nielson, *et al.*, 1990).

A avaliação dos níveis de radiação natural para esse estudo epidemiológico a partir dos bancos de dados aerogeofísicos requereu um tratamento individual de cada projeto, já que cada um deles apresenta uma direção de linha de vôo diferente para a amostragem de radiação, como visualizado nas Tabelas 4.1 e 4.2 (Figura 4.2). Se o tratamento fosse realizado com os bancos de dados agrupados, a anisotropia artificial (artefatos) imposta pela distribuição amostral no sentido das linhas de vôo gerariam, como resultado da interpolação, um *grid* com o registro das linhas de vôo. Esse tratamento iria possivelmente mascarar informações importantes. A posterior união dos projetos num mesmo mapa, não implicou em informações com unidades diferenciadas, pois se utilizou o dado em concentrações.

A interpolação dos dados aerogeofísicos, por meio do interpolador de curvatura mínima (Geosoft, 1997), que gerou um *grid* com um tamanho regular de célula de 250 metros (1/4 do espaçamento médio entre as linhas de vôo). Sobre esse *grid* interpolado,

foi aplicado um filtro coseno direcional com fator 12 (Geosoft, 1997). A aplicação do filtro minimizou as anisotropias artificiais impostas pelas linhas de vôo, aparentemente sem perdas da anisotropia real das estruturas para essa escala regional de trabalho.



**Figura 4.2** – Mapa dos projetos aerogeofísicos com a indicação do sentido das linhas de vôo. A) Projeto Camaquã. B) Projeto Extremo Sudeste do Brasil.

#### ***4.2 A DISTRIBUIÇÃO DE FONTES DE RADIAÇÃO NO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE: UMA ANÁLISE ESPACIAL***

A análise espacial dos dados de radiação ionizante foi realizada por meio de estudos estatísticos individuais das concentrações (ppm) dos canais gamaespectrométricos de eTh e eU dos projetos Camaquã e Extremo Sudeste do Brasil. Nesse ponto, é importante salientar que a análise incluiu somente a concentração dos radioelementos eTh e eU, porque neste estudo, somente esses elementos são capazes de produzir o gás radônio, objeto particular dessa dissertação de mestrado. A relação entre a radiação ionizante total do meio ambiente e a incidência de neoplasias no estado do Rio Grande do Sul será avaliada na continuidade desse trabalho.

Os resultados estatísticos mostram que os dados radiométricos apresentam aspecto unimodal, com mais de 95% dos valores compreendidos dentro do valor da média mais um valor do desvio padrão. Isso indica a ausência de grandes variações no aspecto da dispersão por frequência.

A alta variância apresentada no canal de tório é ocasionada pela natureza desse elemento químico, cuja concentração média na crosta terrestre é estimada em 12 ppm em comparação a do urânio, que é 3 ppm (Dickson & Scott, 1997). Isso ocasiona a ocorrência de algumas concentrações com valores altos e gera uma variância consideravelmente alta no canal radiométrico de tório. Deve ser salientado também, que as características geoquímicas do urânio de ser mais solúvel o deixa mais facilmente homogeneizado, e do tório por ser mais resistido pode possuir variações maiores nas concentrações.

É verificado, também, que as amplitudes dos valores de  $eTh$  e de  $eU$  são maiores no Projeto Extremo Sudeste do Brasil do que no Projeto Camaquã. O conhecimento geológico da área de estudo (Item 1.4) demonstra que na área do Projeto Extremo Sudeste do Brasil, existe um predomínio de rochas graníticas de composição muito variada. Isso acarretou um significativo, mas não acentuado, incremento na concentração dos elementos ( $eTh$  e  $eU$ ) para valores um pouco acima da média, conforme verificado nos histogramas da figura 4.3).

A Tabela 4.3 mostra o resultado do estudo estatístico no banco de dados originais, comparando os canais radiométricos de cada projeto. Na Figura 4.3, são apresentados histogramas de frequência e cumulativos dos dados radiométricos.

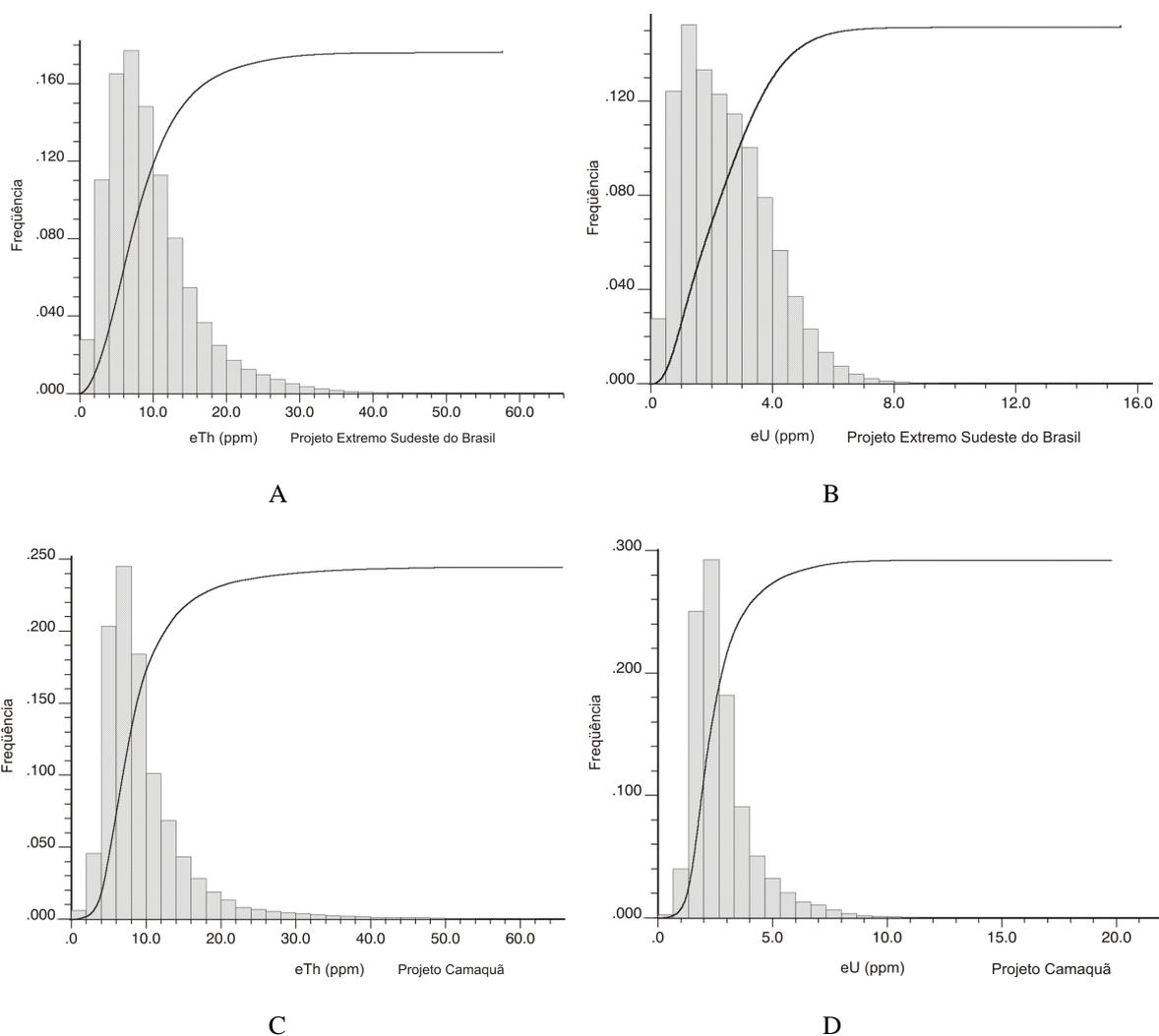
Na Tabela 4.4, são apresentados os dados radiométricos interpolados pelo método da Curvatura Mínima e, na figura 4.4, são mostrados os histogramas de frequência e os histogramas cumulativos dos dados radiométricos interpolados.

A tabela 4.5, por sua vez, mostra a análise estatística dos dados radiométricos após a aplicação do filtro coseno direcional com fator de potência 12 sobre as linhas de vô que ficaram registradas na interpolação. A Figura 4.5 mostra os respectivos histogramas de frequência e os histogramas cumulativos.

A mudança relativa da média para valores acima da média das amostras originais após o processo de interpolação acarretou uma diminuição da variância. Isso ocorreu devido à metodologia empregada na interpolação e na filtragem dos dados radiométricos, que tem como consequência a suavização dos dados originais.

**Tabela 4.3** – Estatística dos dados aerogeofísicos dos canais radiométricos de eTh e eU originais (não processados), dos projetos da área de estudo.

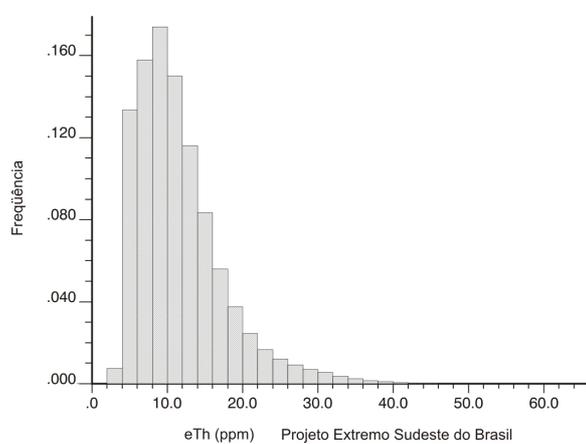
	Projeto Extremo Sudeste do Brasil		Projeto Camaquã	
	eTh	eU	eTh	eU
Mínimo	0.03	0.0	0.034	0.027
Máximo	58.33	15.3	93.39	19.99
Média	9.55	2.36	9.58	2.80
Mediana	8.22	2.12	8.00	2.44
Quartil Inferior	5.39	1.20	5.95	1.92
Quartil Superior	12.24	3.26	11.17	3.25
Variância	35.64	2.01	36.96	1.87
Desvio Padrão	5.97	1.42	6.08	1.37
Coefficiente de Variação	0.63	0.60	0.63	0.49



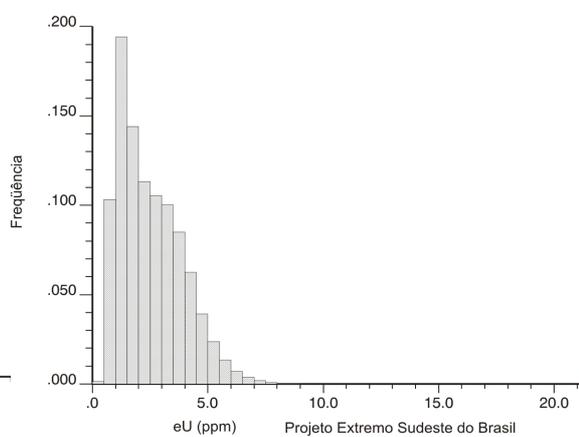
**Figura 4.3** – Histogramas de frequência e cumulativos dos dados aerogeofísicos originais. Projeto Extremo Sudeste do Brasil (a- canal de eTh, b- canal de eU); Projeto Camaquã (c- canal de eTh e d- canal de eU).

**Tabela 4.4** – Estatística dos dados aerogeofísicos dos canais radiométricos de eTh e eU após interpolação por meio do método da curvatura mínima.

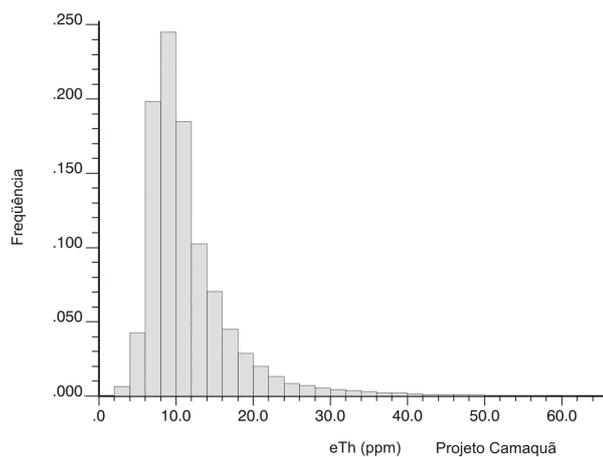
	Projeto Extremo Sudeste do Brasil		Projeto Camaquã	
	eTh	eU	eTh	eU
Mínimo	0.63	0.01	0.47	0.98
Máximo	72.99	13.66	93.45	20.09
Média	11.58	2.50	11.65	3.81
Mediana	10.31	2.23	10.06	3.45
Quartil Superior	14.15	3.41	8.02	2.93
Quartil Inferior	7.43	1.37	13.30	4.26
Variância	34.22	1.85	36.36	1.84
Desvio Padrão	5.85	1.36	6.03	1.36
Coefficiente de Variação	0.51	0.54	0.52	0.36



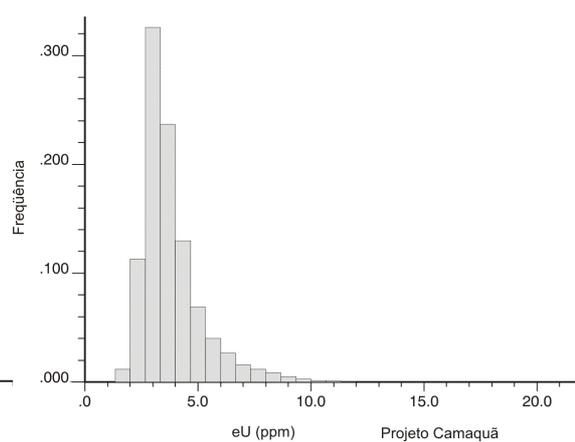
A



B



C

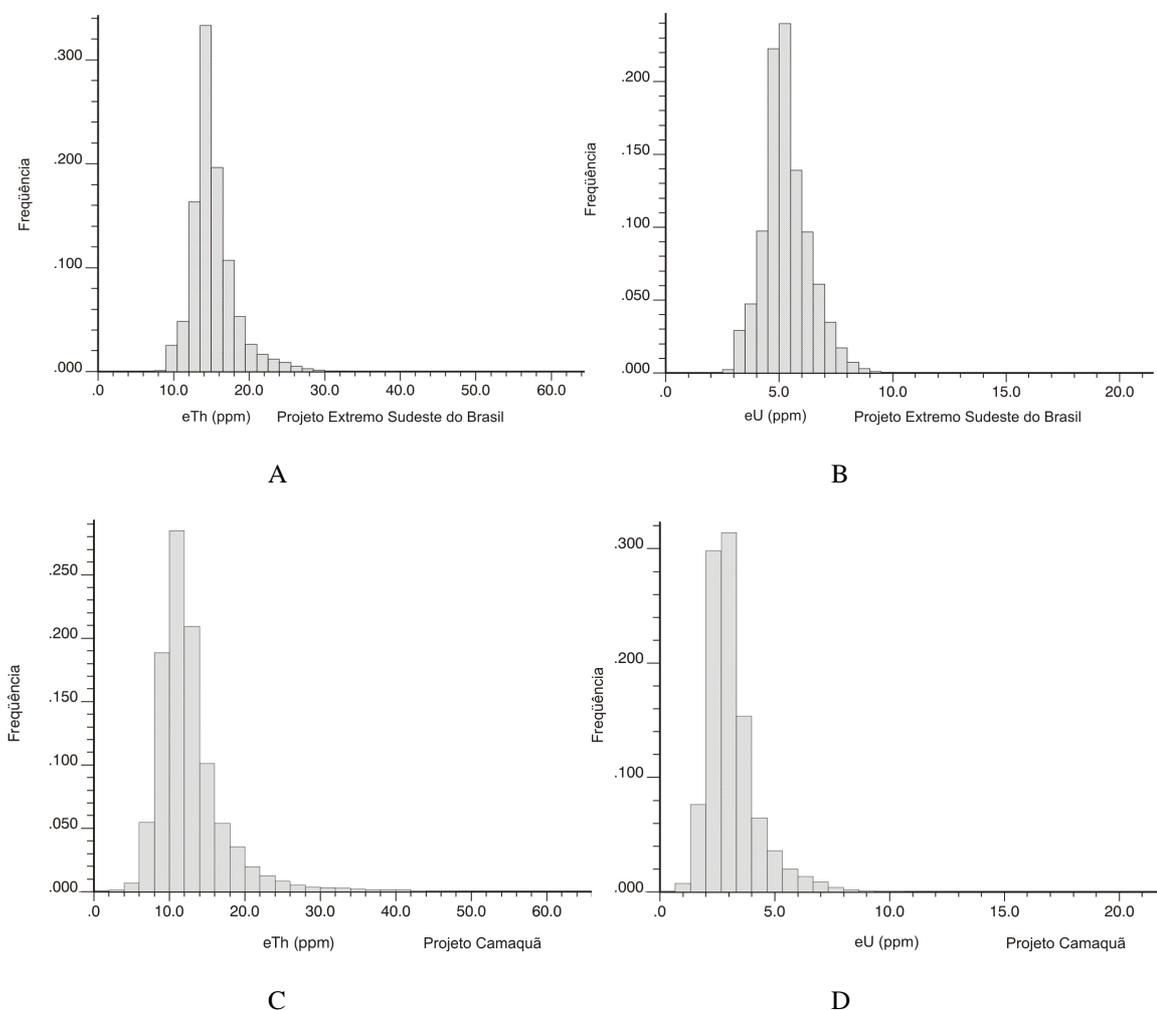


D

**Figura 4.4** – Histogramas de frequência e cumulativos dos dados aerogeofísicos após a interpolação. Projeto Extremo Sudeste do Brasil (a- canal de eTh, b- canal de eU); Projeto Camaquã (c- canal de eTh e d- canal de eU).

**Tabela 4.5** – Estatística dos dados aerogeofísicos dos canais radiométricos de eTh e eU interpolados e filtrados com filtro coseno direcional na potência 12.

	Projeto Extremo Sudeste do Brasil		Projeto Camaquã	
	eTh	eU	eTh	eU
Mínimo	0.66	0.8	0.16	0.05
Máximo	37.18	13.66	62.70	14.48
Média	15.19	5.31	12.75	3.12
Mediana	14.62	5.17	11.74	2.87
Quartil Superior	16.29	5.86	9.98	2.43
Quartil Inferior	13.55	4.70	14.06	3.51
Variância	22.85	1.02	22.56	1.21
Desvio Padrão	4.78	1.01	4.75	1.10
Coefficiente de Variação	0.40	0.19	0.37	0.35



**Figura 4.5** – Histogramas de frequência e cumulativos dos dados aerogeofísicos processados e filtrados com o filtro coseno direcional na potência 12. Projeto Extremo Sudeste do Brasil (a- canal de eTh, b- canal de eU); Projeto Camaquã (c- canal de eTh e d- canal de eU).

---

### **4.3 RELAÇÃO ENTRE A GEOLOGIA E OS MAPAS AEROGAMA ESPECTROMÉTRICOS**

Os levantamentos aerogamaespectrométricos utilizam um sensor radiométrico aerotransportado que detecta a radiação gama emitida pelos radioelementos presentes na superfície terrestre. Estima-se que os radioelementos presentes na rocha e/ou no solo até a uma profundidade de aproximadamente 50 cm da superfície terrestre sejam detectados pelo sensor radiométrico que está sendo aerotransportado. A quantidade de radiação detectada pelo sensor aerotransportado dependerá de um conjunto de aspectos onde o rádio-elemento está inserido, tais como: composição química das rochas; evolução geológica da rocha; composição do solo; feições geomorfológicas.

O conhecimento da composição química das rochas permite executar de uma análise comparativa das concentrações dos elementos radiogênicos Th e U na crosta terrestre. Dickson & Scott (1997) estimam que a concentração média de tório na crosta terrestre é de aproximadamente 12 ppm e a de urânio é 3 ppm. Dickson e Scott (1997) também demonstraram a existência de diferenças significativas de concentrações entre o Th e U em diferentes rochas.

A Tabela 4.6 mostra algumas diferenças entre as concentrações dos rádio-elementos; as rochas graníticas e os gnaisses apresentam uma maior concentração de rádio-elementos, enquanto as rochas vulcânicas ultramáficas apresentam a menor concentração de rádio-elementos. Observa-se que a média (valor situado entre os parênteses) das concentrações de rádio-nuclédeos do Th e U é maior em rochas ácidas do que a média em rochas ultrabásicas (Tabela 4.6). Isso ocorre porque as características químicas do Th e do U (raio iônico), condicionam a entrada desses radioelementos na estrutura das fases minerais mais residuais, ou seja, em rochas mais diferenciadas. A aplicabilidade desse processo de diferenciação é vista por meio do estudo de razões entre Th e U. Essa razão possibilita a identificação das variações que ocorreram dentro do processo de diferenciação, seja ele magmático, ou metamórfico.

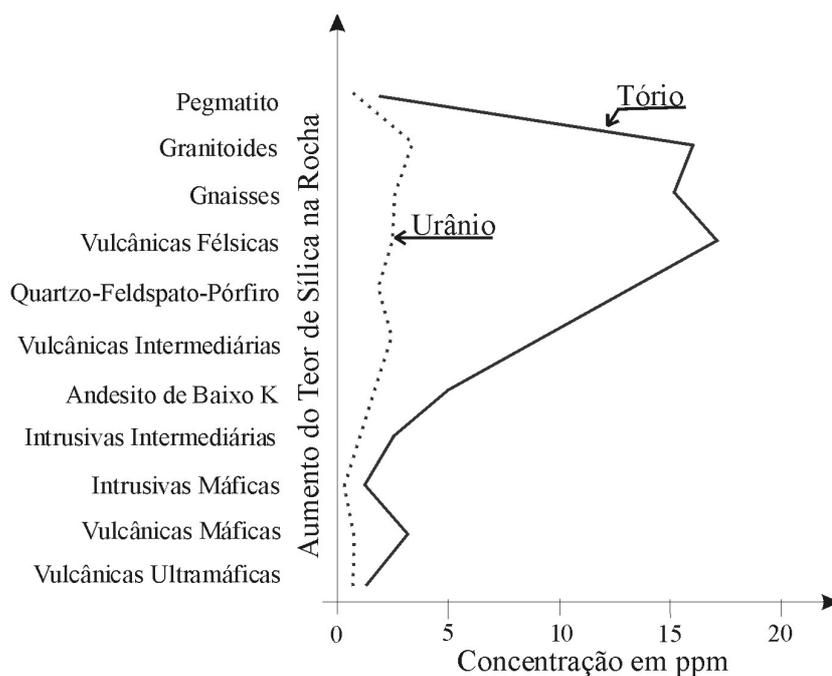
Algumas variações das concentrações dos radioelementos de Th e U (Tabela 4.6) também podem ser visualizadas na figura 4.7. Nesse caso, Dickson & Scott (1997) mostraram que havia um incremento na concentração de Th e U em rochas ígneas, com o incremento no teor de sílica (Si); isso é, as rochas félsicas apresentam elevadas concentrações de radioelementos quando comparadas às rochas ultrabásicas e máficas, que apresentam

---

baixas concentrações de rádio-elementos. A exceção ocorre com os pegmatitos e aplitos, que são rochas formadas nos estágios finais da intrusão, quando a temperatura está caindo. Essas rochas mostram valores baixíssimos de Th e U, mas, como ocupam pequenas áreas, dificilmente são registradas por detectores aerotransportados (Dickson & Scott, 1997).

**Tabela 4.6** – Concentração de radioelementos Th e U em diferentes tipos de rochas australianas (adaptada de Nielson *et al.*, 1990 e de Rigoto *et al.*, 1998).

Tipo de Rocha	Th (ppm)	U (ppm)
Granitóides	2.3-45 (16)	0.4-7.8 (3.3)
Gnaisse	18-55 (25)	2.1-3.6 (2.5)
Pegmatito	0.3-9.6 (2)	0.3-1 (0.7)
Aplitos	3-20 (7)	1-8 (3.3)
Quartzo-feldspato pórfiro	6-14 (13)	1.3-2.9 (1.7)
Intrusiva intermediária	0.8-6.1 (2.4)	0.1-1.2 (0.8)
Intrusiva máfica	0.0-3.1 (1.2)	0.0-1.1 (0.3)
Vulcanicismo félsica	13-28 (17)	1.4-13 (2.4)
Vulcanicismo intermediária	1.5-15 (9)	0.9-5.6 (2.3)
Andesito baixo-K	3-8 (5)	1.0-2.5 (1.6)
Valcanicismo máfica	2.0-5.0 (3.0)	0.3-1.3 (0.7)
Vulcanismo ultramáfico	0.0-4.0 (1.2)	0.3-0.9 (0.6)
Argila xistosa arqueana	1-5 (2.7)	0.3-1.3 (0.9)
Outras argilas	10-55 (19)	1.6-3.8 (2.6)
Arenitos	4-22 (12)	0.7-5.1 (2.3)



**Figura 4.6** – Gráfico da variação nos teores médios de Th e U nas rochas ígneas em relação ao teor de sílica (Si) (Dickson & Scott, 1997).

Dickson e Scott (1997) também ressaltam que, apesar das concentrações médias dos radioelementos nas rochas apresentarem diferenças significativas, não é possível a realização de uma classificação litológica confiável somente com base nas concentrações de rádio-elementos. Como pode ser visto na Tabela 4.6, a dispersão das concentrações dos radioelementos em relação à média é muito variável. Rochas como os granitóides, gnaisses, quartzo-feldspato pórfiros, vulcânicas intermediárias e félsicas, e algumas argilas e arenitos, por exemplo, apresentam valores radiométricos semelhantes. Valores radiométricos de aproximadamente 14 ppm (Th) e de 1.4 ppm (U) podem significar a ocorrência de qualquer uma dessas rochas. O mesmo caso se verifica para rochas que apresentam valores baixíssimos de concentração, como as intrusivas máficas, ultramáficas e as argilas xistosas arqueanas.

As concentrações da Tabela 4.6 poderão ser aplicadas quando já existir um conhecimento geológico local, mesmo que esse conhecimento geológico seja preliminar e de escala regional. Algumas mudanças nessas concentrações poderão ocorrer em virtude do fator geoquímico das unidades litológicas. Na Tabela 4.7, são apresentados valores estimados de concentrações de Th e U (em ppm) de algumas unidades lito-estratigráficas presentes no estado do Rio Grande do Sul. Essas concentrações foram estimadas por meio da conversão realizada pela técnica de "*back-calibration*" (Brasil, 1997), sobre o levantamento aerogamaespectrométrico (Jackson *et al.*, 1973).

**Tabela 4.7** – Concentrações de radioelementos Th e U em diferentes unidades lito-estratigráficas. As concentrações estão indicadas em: *range* (média) [desvio padrão]. a) Complexo Granítico Dom Feliciano: granitos polidiapíricos avermelhados a cinza; b) formações Rio do Rastro, Rosário do Sul e Santa Maria: sedimentos da Bacia do Paraná; c) Complexo Granítico Encruzilhada: granitóides, granitos, sienitos e granodioritos; d) Complexo Canguçu: granito-gnaiss com migmatitos, granitóides de composição diorítica granodiorítica a monzogranítica, rochas gnaisses de fácies anfíbolito superior a granulito; e) Grupo Camaquã: depósitos molássicos resultantes dos eventos finais da orogênese brasileira (sedimentar, vulcano-sedimentar, vulcânico); e) Grupo Maricá: rochas vulcano-sedimentares com vulcanismo intermediário a ácido (Brasil-DNPM, 1989).

Unidade litoestratigráficas	Th (ppm)	U (ppm)
a) Complexo Granítico Dom Feliciano	9-35 (17)[4.13]	1-7 (4)[0.8]
b) Formação Rio do Rastro, Rosário do Sul e Santa Maria	5-21 (11)[2.61]	0.5-6.9 (2.6)[0.78]
c) Complexo Granítico Encruzilhada	14-52 (31)[7.15]	3-9 (6)[0.92]
d) Complexo Canguçu	8-26 (13)[2.1]	2.4-7.8 (4.2)[0.62]
e) Grupo Camaquã	7-14 (10)[1.2]	1.49-4.1(2.5)[0.27]
f) Grupo Maricá	6-18 (12)[2]	1.3-4.69(2.7)[0.52]

---

As concentrações apresentadas na Tabela 4.7 foram obtidas do conjunto de unidades litológicas que compreendem cada unidade lito-estratigráfica, utilizando como base geográfica o mapa geológico. Esses valores refletem as concentrações entre elementos radiogênicos no contexto da unidade lito-estratigráfica e permitem uma análise relativa, mas não suficiente para se obter, com uma absoluta certeza, a unidade litológica presente em cada unidade. Essa incerteza está relacionada com a amostra radiométrica do levantamento aerogamespectrométrico. Essa amostra representa a influência da concentração radiométrica das rochas aflorantes e do solo presente na área medida pelo detector aerotransportado.

O solo, segundo Fonseca (1999), é a interface entre a litosfera e a biosfera no sentido geoquímico. O crescimento de plantas enraizadas e outras formas de vida afetam os processos químicos que caracterizam os solos. Uma das características do solo é a organização de seus constituintes e das suas propriedades em camadas, que variam verticalmente com a profundidade (Figura 4.7). A formação do solo (pedogênese) tem origem no processo de intemperismo da rocha fonte (substrato rochoso). Em outras palavras, o intemperismo é a decomposição da rocha em busca de um equilíbrio químico às condições superficial (CNTP) realizado através da formação do solo (Embrapa, 1999; Fonseca, 1999).

A superfície terrestre, principalmente no Brasil, tem uma grande cobertura de solos. Gregg (1990), Wilford *et al.* (1997) e Fonseca (1999) concordam que as concentrações de elementos metálicos e radioativos, nos solos, estão relacionadas à geologia da rocha fonte durante o processo de formação do solo. Seguindo essa linha de pensamento, o teor de radioelementos no solo dependerá do material de origem (substrato rochoso); assim, os valores mais altos de concentração devem ter origem nas rochas graníticas, gnáissicas e alcalinas e, de modo inverso, os valores mais baixos de concentração estarão relacionadas às rochas básicas, ultramáficas e carbonáticas.

A maioria dos minerais que contém elementos radioativos é instável no processo de intemperismo. Esses minerais liberam os elementos radioativos por reações químicas quando sofrem alteração intempérica. O Th e o U, quando libertados dos minerais no processo de intemperismo, podem ficar retidos ou absorvidos nos óxidos e hidróxidos de Fe e/ou Ti, ou em colóides argilosos. Por outro lado, alguns minerais que contém os radioelementos de Th ou U, como a monazita e o zircão, são estáveis durante o processo de intemperismo e podem se acumular e formar depósitos de minerais pesados. O clima também influencia na mobilidade dos rádio-elementos; em regiões temperadas e tropicais, por exemplo, o U é mais móvel do que em regiões semi-áridas.

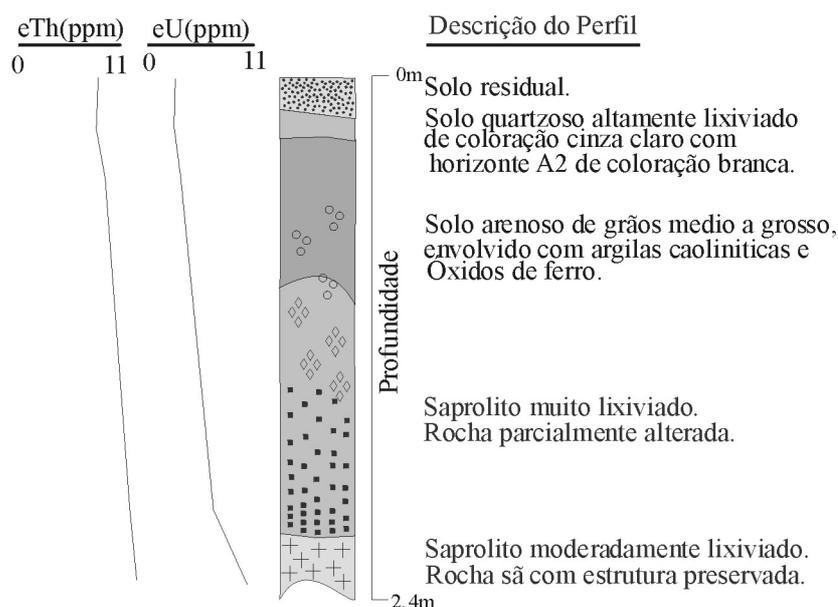
---

A Tabela 4.8 mostra a compilação de algumas concentrações de radioelementos Th e U em solos derivados de diferentes rochas (Dickson & Scott, 1997; Wilford *et al.* 1997). Observa-se, por exemplo, que a resposta radiométrica de um solo derivado de rocha básica é inferior à resposta de um solo derivado de rocha ácida. Comparando as concentrações radiométricas da tabela 4.6 com a tabela 4.8, observa-se, de modo geral, que as concentrações radiométricas dos solos são consideravelmente menores do que as concentrações de radioelementos nas suas respectivas rochas fonte; isso ocorre devido ao processo de lixiviação na rocha, que mobiliza o Th e o U.

Shultz *et al.* (1992) e Schumann *et al.* (1992) comentam que a evolução da pedogênese influencia a distribuição de radioelementos nos perfis de solo. Dickson & Scott (1997) observaram que não ocorreram mudanças abruptas no perfil de alteração na interface saprolito-regolito durante o processo de pedogênese, mas, sim, um enriquecimento de Th e U no solo intempericamente mais evoluído de rochas basálticas e dioríticas. Esse enriquecimento, similar ao do granito, está correlacionado com o tempo de incorporação e de concentração de Th e U em óxidos de ferro durante a pedogênese. Entretanto, Wilford *et al.* (1997) observaram que, num perfil de solo desenvolvido sobre rochas graníticas, houve diminuição nas concentrações de radioelementos Th e U durante a pedogênese. O rádio-elemento U apresentou uma diminuição mais acentuada, como consequência da sua maior mobilidade durante o processo da pedogênese (Figura 4.7).

**Tabela 4.8** – Concentrações dos radioelementos Th e U em solos derivados de diferentes rochas (adaptada de Dickson & Scott, 1997 e de Wilford *et al.*, 1997).

Solos de rochas:	Th (ppm)	U (ppm)
Granitóides	2-37 (13)	0.5-7.8 (2.7)
Gnaise	6-19 (12)	1.6-3.8 (2.2)
Intrusivas intermediárias	2.9-8.4 (5.6)	1.5-2.3 (1.9)
Vulcânica félsica	10-18 (13)	1.3-2.4 (2.1)
Vulcânica intermediária	4-17 (10)	1.2-3.6 (2.1)
Andesitos Baixo K	4-6 (5)	1.2-1.5 (1.3)
Vulcanismo máfico	3.3-13 (7.9)	0.6-2.5 (1.6)
Vulcanismo ultramáfico	6	2
Argila xistosa arqueana	3	1.2
Outras argilas	6-19 (13)	0.7-3.0 (1.5)
Arenitos	7-18 (11)	1.2-2.4 (1.3)
Arenitos em canal	14	2
Deposito de areia e argila	19	3.5



**Figura 4.7** – Variações na concentração de radioelementos em perfil alterado de solo arenoso residual altamente lixiviado, desenvolvido sobre granito ao norte de Queensland, Austrália (Wilford *et al.*, 1997).

A concentração de radiação sobre a superfície terrestre também é amplamente relacionada ao aspecto geomorfológico. Nielson *et al.* (1990), e Shultz *et al.* (1992), salientam que o aspecto morfológico apresenta grande influência na resposta obtida pelo detector de radiação durante o levantamento aerogeofísico. A geometria formada entre o detector e a morfologia pode ser caracterizada em: i) normal quando o levantamento é realizado em locais planos, ii) baixa quando o levantamento é feito em vales abertos, e iii) alta concentração é quando o levantamento é feito em vales bem fechados ou quando o sensor passar próximo a topos de morros.

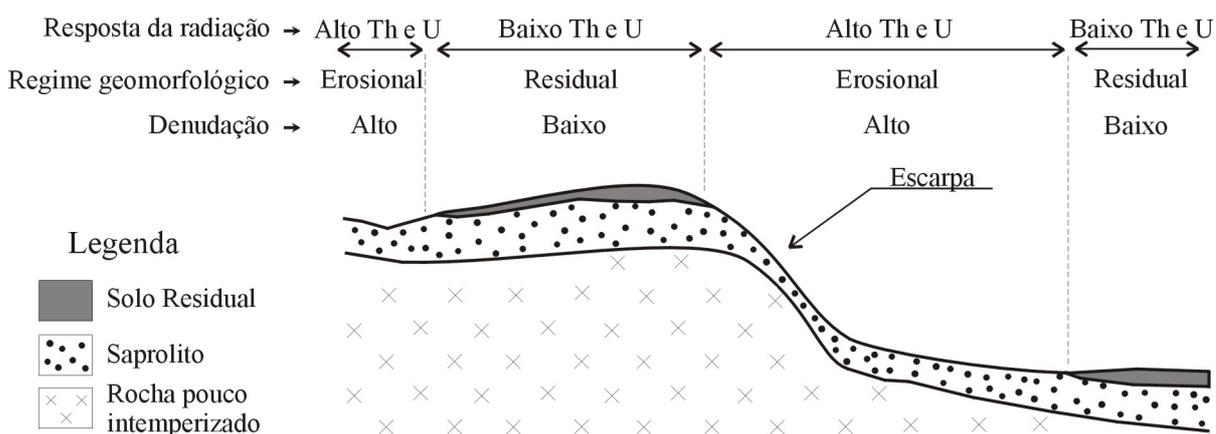
O geomorfologia consiste na construção da paisagem por meio de processos modificadores do relevo terrestre. O principal processo de modelagem do relevo é a erosão, que é influenciada pelos processos físicos e/ou químicos que atuam sobre o solo (D'Agostini, 1999; Oliveira, 1999; Silva, 1999b; Wilford *et al.*, 1997). A erodibilidade do solo está relacionada à sua capacidade de desagregação. A mobilidade do solo, que é definida como o transporte do solo em relação ao trabalho (energia) empregado no solo (D'Agostini, 1999), também é outro fator que influencia na erodibilidade do solo.

As formas do relevo, no contexto geral, estão associadas aos regimes geomorfológicos, que, por sua vez, estão associadas ao desenvolvimento de um perfil intempérico que objetiva alcançar o equilíbrio químico da rocha através da formação do solo.

A formação de uma paisagem dependerá, então, do balanço entre a taxa de intemperismo (formação do solo) e a razão pela qual esse material está sendo removido (erosão) (Wilford *et al.*, 1997).

O regime geomorfológico pode ser classificado em: i) regime geomorfológico residual (porção estável da paisagem), que ocorre quando o manto intempérico desenvolvido (regolito) é preservado devido à baixa taxa de erosão (essa baixa taxa de erosão está relacionada com as condições climáticas locais e com a pouca declividade da área); ii) regime geomorfológico erosional (porção em constante erosão), que ocorre quando a taxa de erosão supera o desenvolvimento do regolito, deixando, a rocha sã constantemente exposta aos processos intempéricos.

A influência dos processos geomorfológicos na resposta da radiação pode ser visualizada na ilustração adaptada de Wilford *et al.* (1997) (Figura 4.8). Quando o regime geomorfológico for residual, a denudação será baixa; por conseqüência, as concentrações dos radioelementos Th e U serão baixas, porque existirá a formação de um solo residual sobre o saprolito. Quando o regime geomorfológico for erosional, a denudação será alta devido à forte atuação do processo erosivo e, como conseqüência, haverá pouca formação de solo, que deixará em exposição o saprolito, ou rocha sã; nesse caso, as concentrações dos radioelementos Th e U serão elevadas.

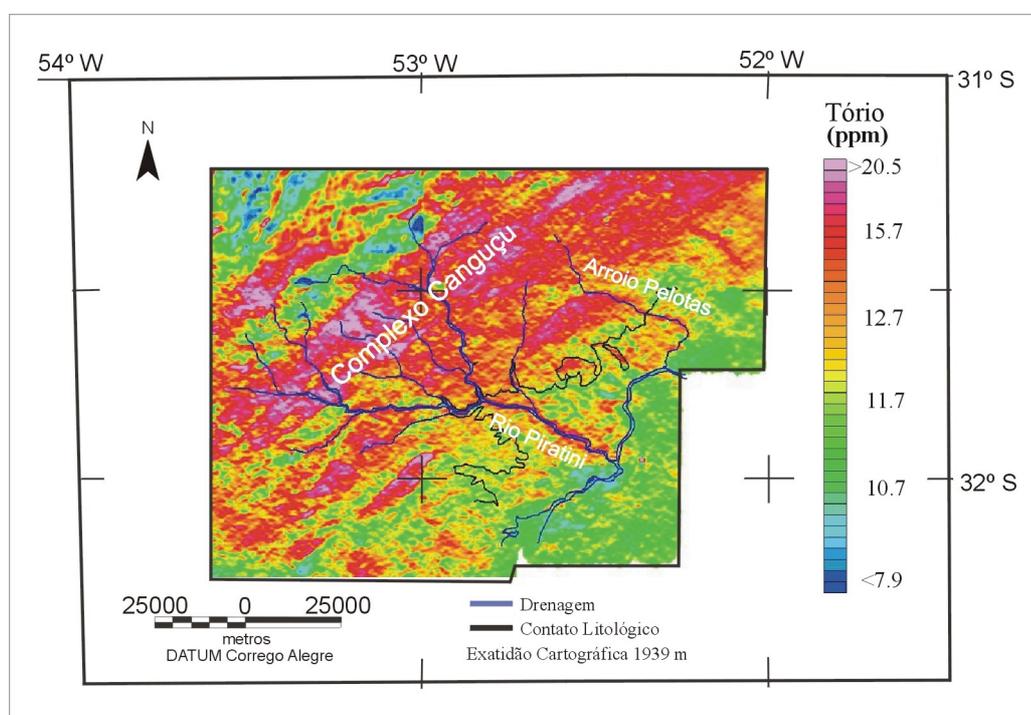


**Figura 4.8** – A ilustração mostra a influência que os processos geomorfológicos ocasionam na emissão de radiação gama (Wilford *et al.*, 1997).

Nos depósitos sedimentares, normalmente, o regime geomorfológico é residual. Isso ocorre porque há deposição de materiais erodidos oriundos de uma zona com regime geomorfológico erosional. Nesses depósitos sedimentares, a resposta da radiação

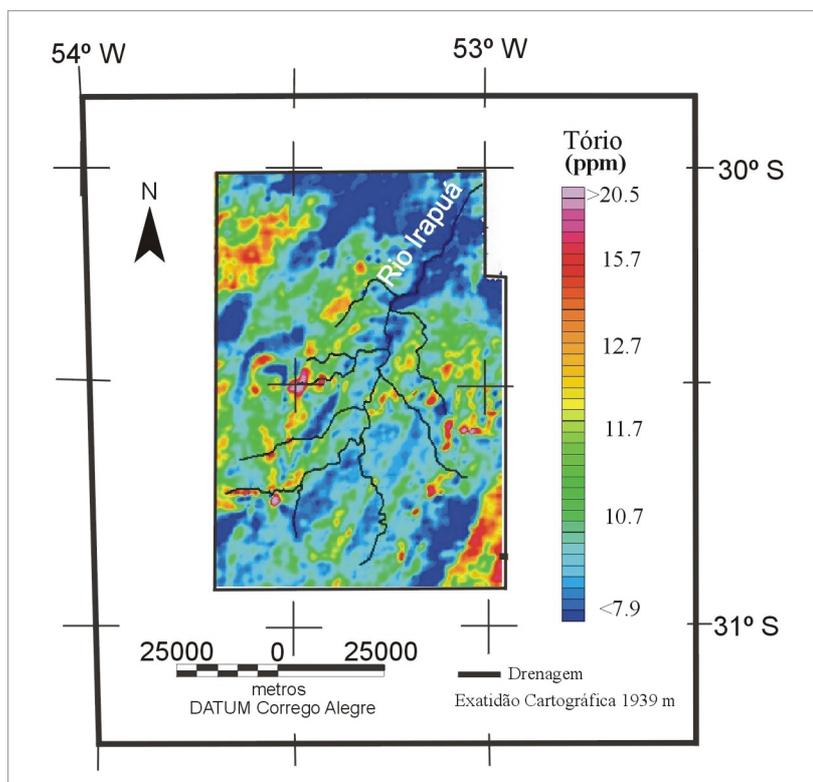
dependerá exclusivamente das características da fonte dos sedimentos. Os sedimentos de rochas graníticas conterão maior concentração de radioelementos quando comparados a sedimentos provenientes de rochas básicas.

A Figura 4.9 mostra as drenagens existentes na unidade lito-estratigráfica do Complexo Canguçu (granito-gnaisses com migmatitos, granitóides de composição diorítica granodiorítica a monzogranítica, rochas gnáissicas de fácies anfibolito superior a granulito), localizada a sudeste do estado do Rio Grande do Sul; essas drenagens estão sobrepostas à concentração de radiação do tório (ppm). Observa-se que os sedimentos resultantes do processo de formação de solo sobre as rochas do Complexo Canguçu, depositados no Rio Piratini e no Arroio Pelotas, apresentam concentrações semelhantes àquelas das rochas da origem (elevadas concentrações).



**Figura 4.9** – Drenagens do Complexo Canguçu sobrepostas ao mapa de concentração de tório (ppm) da parte sudeste do estado. Em destaque, o Rio Piratini e o Arroio Pelotas, que apresentam elevadas concentrações de rádio-elementos.

As baixas concentrações em depósitos sedimentares podem ser visualizadas nas drenagens do Rio Irapuá, que cobrem as seqüências vulcanossedimentares de cobertura do Grupo Camaquã (seqüências de conglomerados, arenitos, pelitos, raras grauvacas e rochas vulcânicas de composição intermediária). Isso pode ser visualizado na Figura 4.10, onde a bacia de drenagem do rio Irapuá foi sobreposta ao mapa de concentração de radiação de tório.



**Figura 4.10** – Drenagens nas seqüências vulcanossedimentares de cobertura do Grupo Camaquã sobreposto ao mapa de concentração de tório. Destaque para o Rio Irapuá, que apresenta baixa concentração de radioelementos.

#### 4.4 RADIAÇÃO AMBIENTAL VS. PRODUÇÃO DE RADÔNIO VS. GEOLOGIA

Nesse estudo epidemiológico, foram usados os dados geofísicos dos levantamentos aerogamaespectrométricos convertidos de cps para ppm pela metodologia *back-calibrations*. A aplicação da conversão *back-calibrations*, possibilitou a transformação das concentrações para taxa de exposição, também denominada de medida de absorção da energia (*roentgen*, R; item 2.2).

A conversão por *back-calibrations* seguiu a proposta da *International Atomic Energy Agency* (IAEA), na publicação *Technical Reports Series* n° 323 de 1991 em Viena (Brasil, 1997; Mourão, 2001), que recomenda, para o estudo de contagem total, o uso da expressão (1) taxa de exposição em *micro-Roentgen/hr* (*mR/h*):

$$E = 1.505K + 0.653eU + 0.287eTh \quad (2)$$

onde **E** é a taxa de exposição em *mR/h*, **K** é a concentração em potássio em porcentagem (%), **eU** é a concentração em Urânio em ppm e **eTh** é a concentração de Tório em ppm.

Como esse estudo epidemiológico compreende a radiação gama emitida pelo decaimento de elementos radioativo como tório e urânio, a fórmula da taxa de exposição (2), foi simplificada para a expressão (3), a qual é aplicada para determinar a taxa de exposição total de Th + U:

$$E = 0.653eU + 0.287eTh \quad (3)$$

O resultado dessas transformações sobre os dados do levantamento aerogamaespectrométrico, expresso em *micro-Roentgen/hr*, é apresentado em mapas: i) na Figura 4.11, para o canal do tório, ii) na Figura 4.12, para o canal do urânio e, iii) na figura 4.13, para a soma Th+U. Sobre esses mapas de taxas de exposição, foram sobrepostos os contatos das quatro grandes províncias geológicas individualizadas no Capítulo 1. Isso foi feito com o objetivo de ressaltar algumas unidades litológicas ou lito-estratigráficas, que apresentaram variadas taxas de exposição de radiação. Os resultados dessa sobreposição são apresentados na tabela 4.9. Optou-se por não especificar os valores de taxa de exposição nos mapas devido à diversidade litológica das províncias geológicas nessa escala de trabalho e devido ao objetivo de identificar áreas que venham a ter alguma correlação com a incidência de neoplasias, sem quantificá-las.

Das unidades litológicas ou lito-estratigráficas mostradas na Tabela 4.9, são destacadas:

- i) a Bacia do Paraná (sem a Formação Serra Geral), composta basicamente por folhelhos, argilitos, arenitos, siltitos, folhelhos carbonosos, em vários ambientes sedimentares, e
- ii) o Grupo Camaquã, composto por conglomerados, arenitos, pelitos e raras grauvacas, e por rochas vulcânicas de composição intermediária.

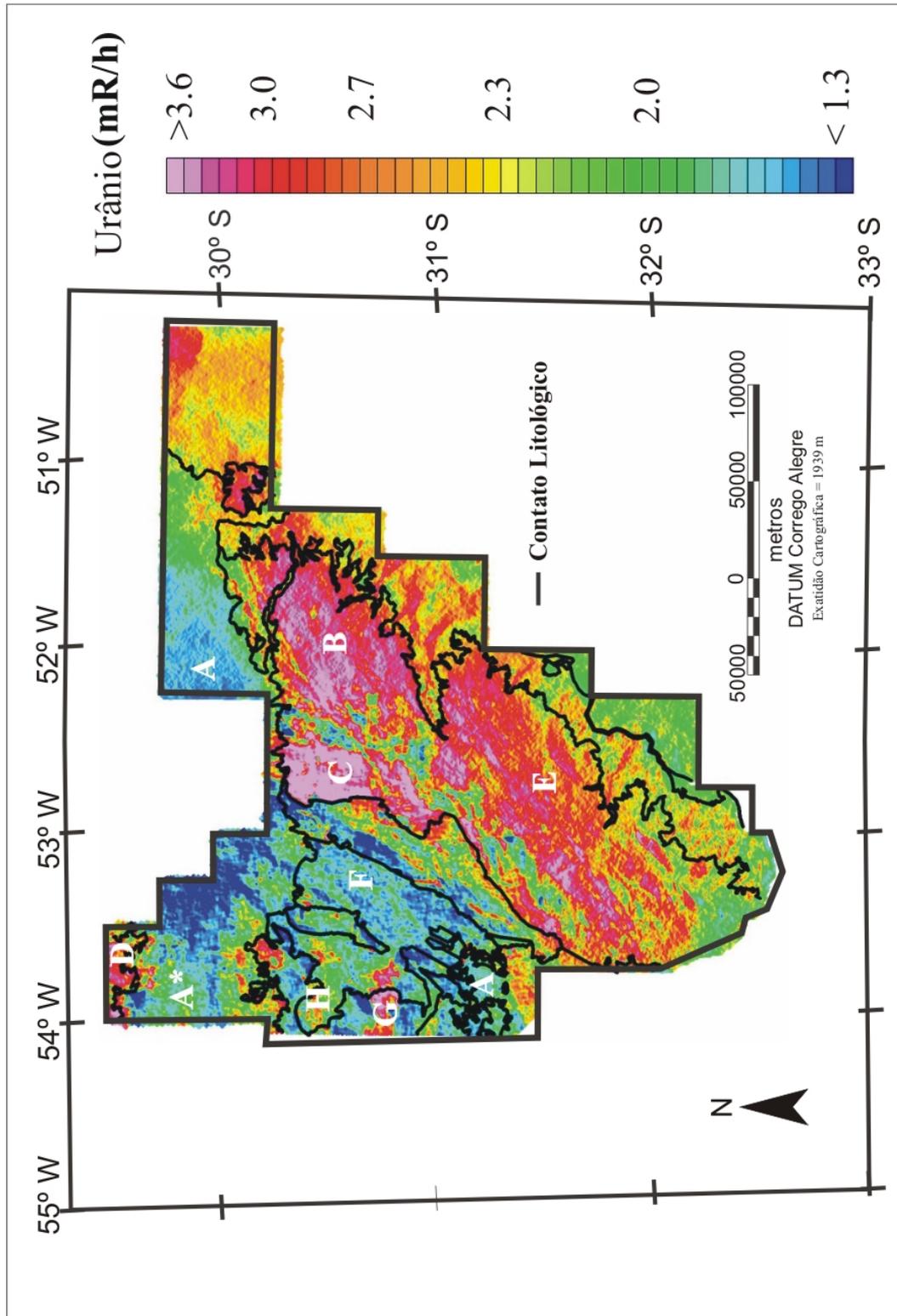
Esses lito tipos apresentam baixos valores de taxa de exposição. Esses baixos valores podem estar relacionados ao material de origem das rochas constituintes, já que essas unidades são compostas, em sua maior parte, por rochas sedimentares pobres em radioelementos. Outro aspecto relacionado com os baixos valores de taxa de exposição é a morfologia local. Nessa região, as rochas sedimentares estão localizadas em planícies cujos solos orgânicos são usados em plantações do tipo inundação; conseqüentemente, os radioelementos são solubilizados mais facilmente.

**Tabela 4.9** – Características radiométricas quanto à taxa de exposição média de algumas unidades litológicas ou lito-estratigráficas da área de estudo. Essas características estão descritas de modo qualitativo como: alta, média, ou baixa taxa de exposição. A posição espacial das unidades está identificada por legenda e expressa pelas letras de A até H nas figuras.

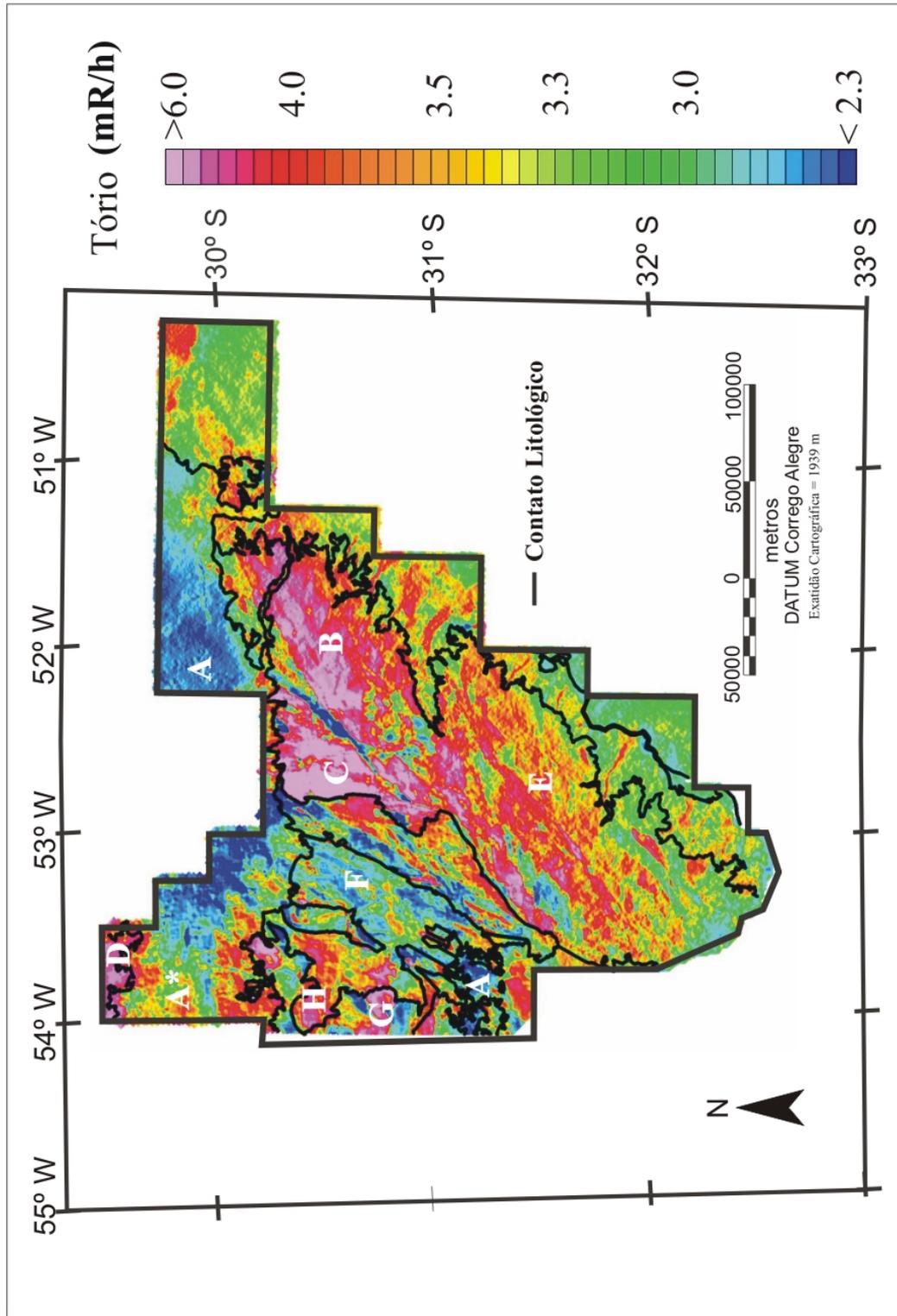
Legenda	Unidade litológica ou lito-estratigráfica	Canal Radiométrico		
		Tório (Th) Figura 4.11	Urânio (U) Figura 4.12	Th + U Figura 4.13
A	Bacia do Paraná	Baixo	Baixo	Baixo
A*	Bacia do Paraná do lado oeste	Médio-baixo	Baixo	Baixo
B	Complexo Granítico Dom Feliciano	Alto	Alto	Alto
C	Complexo Granítico Encruzilhada do Sul	Alto	Alto	Alto
D	Formação Serra Geral: basaltos e riódacitos	Alto	Alto	Alto
E	Complexo Canguçu	Médio-alto	Médio	Médio-alto
F	Grupo Camaquã.	Baixo	Baixo	Baixo
G	Complexo Granítico Lavras do Sul	Alto	Alto	Alto
H	Grupo Maricá	Alto	Médio	Médio-alto

A Bacia do Paraná, do seu lado oeste, apresenta valores de taxa de exposição mais elevados do que as demais áreas cobertas pelo levantamento na Bacia do Paraná. As poucas informações disponíveis da região permitem uma estimativa preliminar sobre as conseqüências desses valores da taxa de exposição; pode-se dizer que esses valores estão relacionados à proximidade da área fonte dos sedimentos e à presença de folhelhos próximos à região.

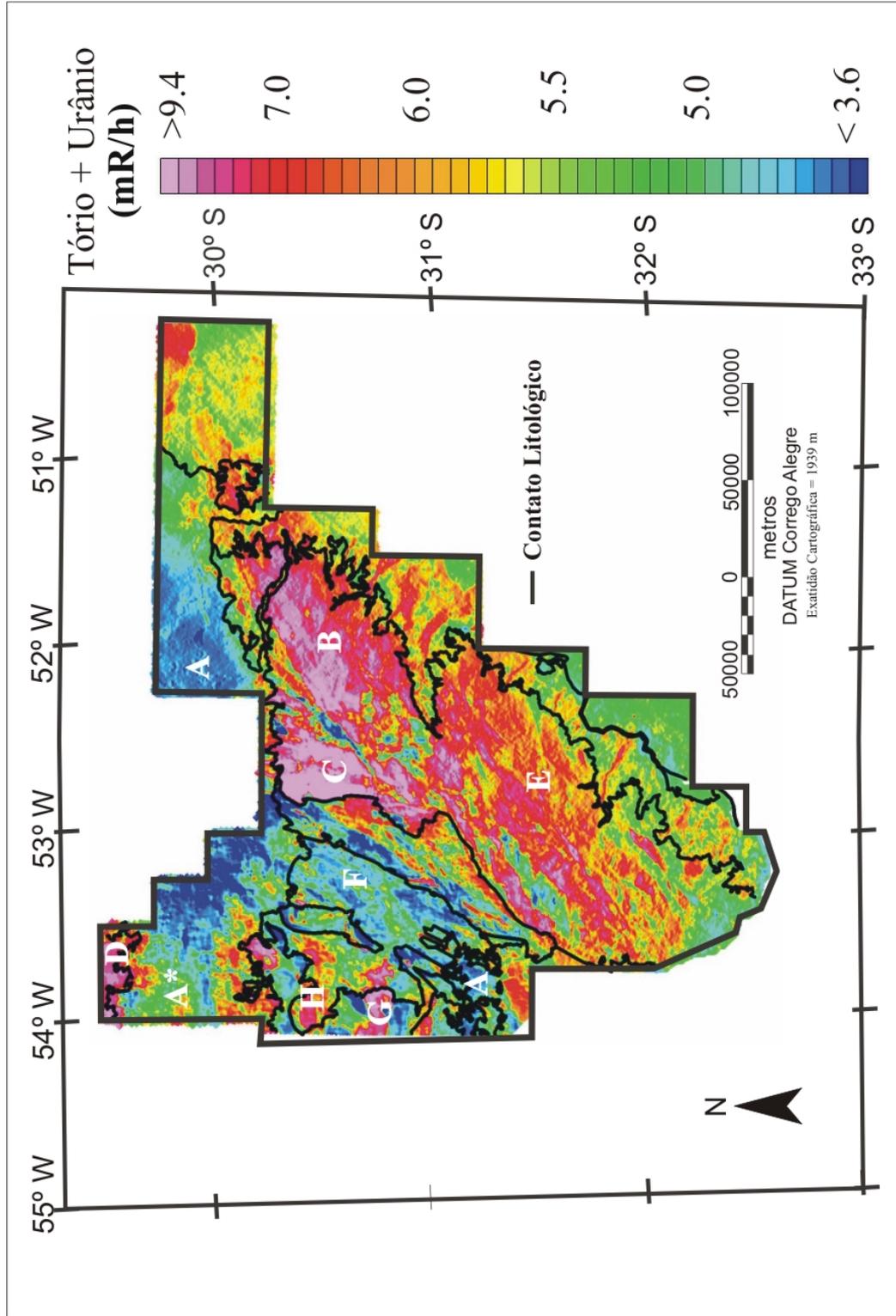
Os altos valores de taxa de exposição definidos na Tabela 4.9 estão representados por diversos tipos de rochas, entre elas, destacam-se as de origem magmática, como o Complexo Granítico Dom Feliciano (granitos polidiapíricos de granulometria variada) e o Complexo Granítico Encruzilhada do Sul (granitos, sienitos e granodioritos). Esses altos valores nas taxas de exposição das unidades lito-estratigráficas podem ser compreendidos a partir da Tabela 4.6 e da Figura 4.6, nas quais se mostra que a evolução magmática pode gerar a concentração de radioelementos.



**Figura 4.11** – Mapa do Canal radiométrico de urânio (U) em *micro-Roentgen/hr* (mR/h) da área de estudo com algumas unidades litológicas ou litoestratigráficas da área de estudo: A - Bacia do Paraná; A\* - Bacia do Paraná do lado oeste; B- Complexo Granítico Dom Feliciano; C - Complexo Granítico Encruzilhada do Sul; D - Formação Serra Geral; E - Complexo Canguçu; F - Grupo Camaquã; G - Complexo Granítico Lavras do Sul; e H - Grupo Maricá.



**Figura 4.12** – Mapa do Canal radiométrico de tório (Th) em *micro-Roentgen/hr* (mR/h) da área de estudo com algumas unidades litológicas ou litostratigráfica da área de estudo: A - Bacia do Paraná; A\* - Bacia do Paraná do lado oeste; B - Complexo Granítico Dom Feliciano; C - Complexo Granítico Encruzilhada do Sul; D - Formação Serra Geral; E - Complexo Canguçu; F - Grupo Camaquã; G - Complexo Granítico Lavras do Sul; e H - Grupo Maricá.



**Figura 4.13** – Mapa do Canal radiométrico de tório + urânio (Th+U) em *micro-Roentgen/hr* (mR/h) da área de estudo com algumas unidades litológicas ou litostratigráfica da área de estudo: A - Bacia do Paraná; A\* - Bacia do Paraná, do lado oeste; B- Complexo Granítico Dom Feliciano; C - Complexo Granítico Encruzilhada do Sul; D - Formação Serra Geral; E - Complexo Canguçu; F - Grupo Camaquã.; G - Complexo Granítico Lavras do Sul; e H - Grupo Maricá.

Para os valores intermediários de taxa de exposição, é destacado o Complexo Canguçu, composto por rochas magmáticas de composição granítica, diorítica a tonalítica, granodiorítica, por rochas metamórficas gnássicas de fácies anfibolito superior a granulito, e por alguns sedimentos. Nesses valores intermediários de radiação, também se pode destacar as rochas do Grupo Maricá, composto basicamente por vulcano-sedimentares de vulcanismo intermediário a ácido. A diversidade litológica existente nessas unidades gera uma gama de rochas com altas taxas de exposição próximas e/ou intercaladas a rochas com baixa taxa de exposição; isso resulta em valores intermediários de taxa de exposição para algumas regiões dessa área de estudo.

Nesse estudo, as concentrações do radioelementos (Th e U) na aerogamaespectrometria foram determinadas por meio da abundância relativa; isso é, a partir de concentrações inferidas (Tabela 4.7). Essas concentrações inferidas são determinadas com base no processo de equilíbrio radioativo, que é a relação entre o nuclídeo pai, que decai para um nuclídeo filho definido (Item 2.1). Nesse estudo, as concentrações de tório e de urânio foram determinadas, respectivamente, a partir dos nuclídeos  $\text{Tl}^{208}$  e  $\text{Bi}^{214}$  (Item 4.1), por serem mais facilmente detectáveis, já que apresenta picos de intensidade de energia, mais acentuados dentro do meio de desintegração dos elementos  $\text{Th}^{232}$  e  $\text{U}^{238}$ . Cabe lembrar que, os nuclídeos  $\text{Tl}^{208}$  e  $\text{Bi}^{214}$  são integrantes, respectivamente, das séries de decaimento radioativo do Th e do U.

Baseando-se nos argumentos usados para determinar a concentração de Th e U, pode-se inferir, com base no princípio do equilíbrio radioativo, a presença do gás radônio (Rn) no processo de decaimento radioativo do  $\text{Th}^{323}$  e do  $\text{U}^{238}$ , em variados graus de intensidade. Cabe lembrar que, no aspecto epidemiológico, a radiação ionizante emanada do gás radônio pode destruir a estrutura celular e é colocado para dentro do organismo pelo processo respiratório. Como o radônio é um gás quimicamente inerte, torna-se difícil barrá-lo, ou separá-lo quimicamente do ar (Item 2.2).

O gás radônio é muito móvel e de fácil concentração no ambiente geológico (Neilson, 1990). A migração do gás radônio para a superfície pode ocorrer por meio de fraturas, por interstícios dos grãos que compõem o solo, ou mesmo pela rocha aflorante, já que as radiações provenientes na superfície normalmente provêm de pequena profundidade. A Figura 4.14 mostra a influência da porosidade em tipos diferentes de sedimentos e de fraturas no processo de escape do gás radônio para o meio ambiente.

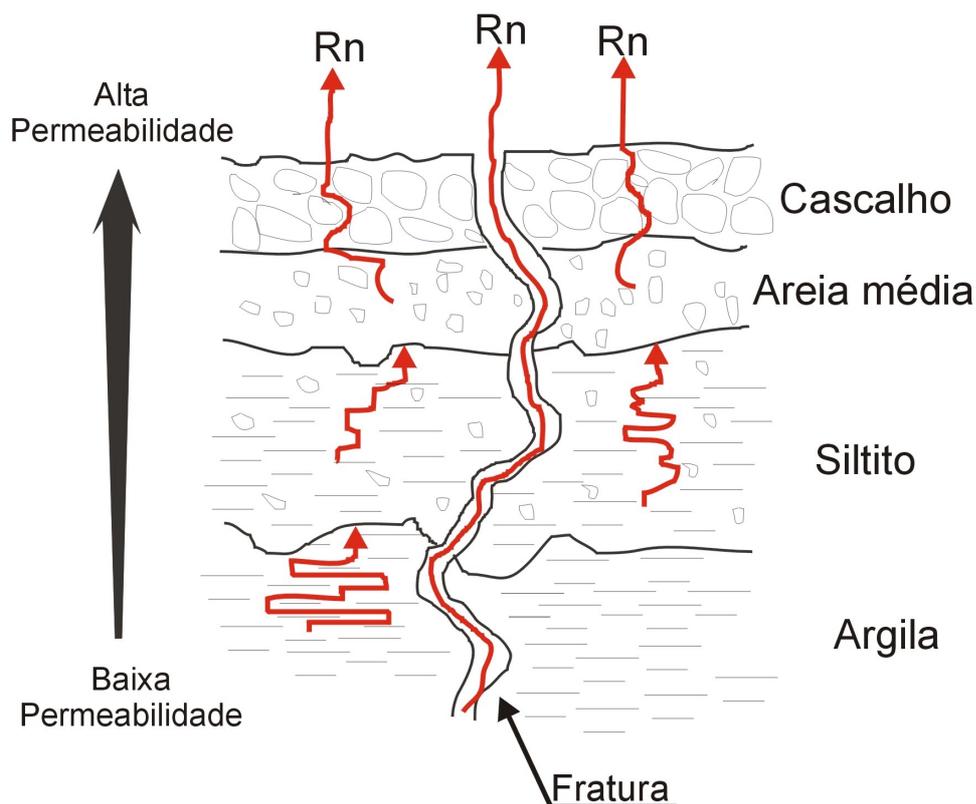


Figura 4.14 – A ilustração mostra a fuga do gás radônio (Rn) para o meio ambiente, aproveitando a porosidade (primária) e as fraturas (secundária) presente nos sedimentos (modificado de Otton *et al.*, 1995)

Observa-se, na Figura 4.14, a influência da permeabilidade, traduzida pela capacidade do gás radônio de se deslocar pelo solo através dos vazios entre grãos (porosidade primária); ou seja, a permeabilidade para o gás radônio estará amplamente correlacionada com a porosidade do solo. Já, as fraturas estão correlacionadas no sentido de fornecerem um conduto para o escape do gás radônio de profundidades além da permitida pela porosidade primária. A forma dos condutos de escape do gás radônio formado por fraturas dependerá da extensão das fraturas, bem como da intensidade de fratura. Essas características permitirão que o radônio existente em profundidade seja deslocado para a superfície.

Quando o gás radônio chega na superfície, ele poderá sofrer dissipação, ou concentração. A dissipação do gás poderá ser provocada pelo vento e/ou pelo aquecimento da superfície terrestre, que provoca o movimento das massas de ar. A concentração do gás radônio será feita basicamente por armadilhas (*traps*). É a concentração do gás radônio que representa perigo epidemiológico, na medida em que a população fica exposta à sua radiação. Entre as possíveis armadilhas (*traps*), destaca-se: i) as armadilhas (*traps*) naturais, como as cavernas e as fendas (fraturas), e ii) as armadilhas (*traps*) artificiais, como túneis, solos de

---

prédios, de residências, fossas, tubulação e caixas subterrâneas, ou seja, em qualquer ambiente fechado próximo à superfície, inclusive residências fechadas e sítios arqueológicos (ver itens 2.2 e 2.3).

As armadilhas para a concentração do gás radônio no ambiente não estão restritas às armadilhas relacionadas a espaços vazios (preenchidos por ar), pois também foi detectada a presença do gás radônio na água (Otton *et al.*, 1995; Hopke *et al.*, 2000). Normalmente, quando ocorrem chuvas, a concentração de gás radônio na superfície tende a diminuir, em virtude do preenchimento dos espaços vazios e das fraturas por água; isso faz com que o gás radônio fique bloqueado. Entretanto, já foi observada a presença do gás radônio em concentrações de até 10000 vezes maior na água em relação ao ar (Otton *et al.*, 1995). Normalmente, a presença do gás radônio em águas de rios e de reservatórios de grandes cidades apresenta baixos valores de concentração. Isso ocorre devido à agitação da água, que libera o gás radônio para a atmosfera durante o movimento. Entretanto, pequenas comunidades e residências rurais podem apresentar concentrações altas de gás radônio na água, principalmente quando a captação de água ocorre em poços executados sobre unidades litológicas suscetíveis às altas concentrações de radiação.

A evolução potencial do radônio no meio ambiente apresenta grande variabilidade durante um dia de sol com pouco vento; usualmente, o período da manhã apresenta alta concentração de gás radônio. Essa concentração diminui com o passar do dia até o anoitecer, quando volta a aumentar a concentração. Observa-se que essa variação diurna pode mudar conforme as condições climáticas de um dia para outro, bem como durante o decorrer do próprio dia. No aspecto temporal, a variação da concentração também muda em relação às estações do ano; Schumann *et al.* (1992) monitorou essa variação na cidade de Denver, nos Estados Unidos, e observou que, durante o verão, a concentração na superfície era maior do que no inverno, devido às variações climáticas. Para o estado do Rio Grande do Sul, não existe, até o momento, um estudo sobre essa variação diurna, nem temporal da emanção do gás radônio. Pode-se sugerir, aqui, um estudo sobre a correlação entre dados climatológicos (temperatura, umidade, precipitação, ventos e outros) com dados geológicos, que pode resultar em conclusões mais aprofundadas sobre essas variações.

Uma fonte epidemiológica de radiação não precisa estar amplamente ligada à emissão de radiação do gás radônio. Podem ser encontrados elementos radioativos em fertilizantes, que contêm fósforo (U) e/ou potássio (Souza, 1998). Devido à similaridade do raio iônio, da carga e da eletronegatividade do U, especialmente com o Ca, pode ocorrer a

substituição do elemento Ca pelo U na fluorita. O fósforo, como fertilizante químico, é um dos seis macronutrientes mais absorvidos pelas plantas, principalmente nas sementes e nos frutos, e, em menor quantidade, nas folhas. O potássio, é amplamente absorvido para o desenvolvimento das folhas. A existência do fósforo nas plantas está relacionada ao processo de transferência de energia na planta e a sua deficiência causa a má formação da planta (Lamparelli *et al.*, 2001).

Os elementos radioativos presentes nos fosfatos podem ser perigosos no aspecto epidemiológico. No Brasil, há uma carência muito grande de fósforo no solo; no Rio Grande do Sul, essa carência é de aproximada de 60% (Burnett *et al.*, 1996; Santos *et al.*, 1995). Metodologias atuais de determinação de fosfato no solo estão direcionadas para a análise de fertilidade do solo e essa análise tem como objetivo a simplificação, rapidez e economia de tempo e de reagentes (Silva, 1999c). Porém, nenhuma dessas análises realiza um estudo radiométrico de fosfato no solo, o que impossibilita um estudo mais aprofundado desse assunto.

Em uma análise comparativa entre as Figuras 4.9 e 4.10, para fins epidemiológicos ambientais, mostra a existência de maior potencialidade epidemiológica ligada à radiação por gás radônio na região do Complexo Canguçu, do que na região das seqüências vulcanossedimentares de cobertura do Grupo Camaquã. Isso decorre das características dessa unidade lito-estratigráfica (Complexo Canguçu), que possui maior quantidade de minerais capazes de comportar, na sua estrutura, radioelementos. A Figura 4.13 apresenta a concentração total de tório mais urânio (Th+U) expressa em taxa de absorção. Verifica-se, nessa figura, a existência de uma potencialidade epidemiológica ambiental restrita aos locais com valores de taxa de absorção mais elevados; ou seja, esses locais devem apresentar grande emanção de gás radônio para o ambiente, quando comparados aos demais locais na área de estudo.

Considerando as informações obtidas na Tabela 4.7, é possível determinar que as regiões de maior potencialidade epidemiológica ambiental estão nas unidades lito-estratigráficas que fazem parte do Complexo Granítico Dom Feliciano, Complexo Granítico Encruzilhada do Sul e Complexo Granítico Lavras do Sul. Devido ao pouco conhecimento radiométrico das rochas que compõe a Formação Serra Geral, é difícil fazer uma análise do potencial epidemiológico dessa região somente com algumas informações radiométricas existentes na parte noroeste do levantamento aerogamaespectrométrico do Projeto Camaquã.

## CAPÍTULO 5

### *ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA NO ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE*

O processo de avaliação ambiental com base na análise epidemiológica é realizado, nesse estudo, usando uma metodologia cujo fundamento está baseado na integração de dados. O objetivo do uso da integração de dados na análise epidemiológica é poder determinar regiões, num ambiente geográfico, que possam apresentar algum fator de risco à saúde humana.

No estudo epidemiológico, o interesse pela integração de dados com doenças é conhecido desde 1768, quando o médico e cirurgião naval escocês James Lind publicou artigo em que procurou explicar a distribuição espacial das doenças em relação à posição geográfica. O mesmo procedimento de integração de dados foi realizado pelo médico John Snow, que mapeou e correlacionou as relações entre a contaminação da água e os locais onde foram registrados casos de cólera em Londres (Santos, 2000).

A integração de dados é definida como: *“a combinação, numa única base cartográfica e dentro de um ambiente computacional unificado, de informações espacialmente distribuídas, procedentes de fontes e de formatos diversos, com a finalidade de proceder o gerenciamento, a análise e a visualização do conjunto dos dados armazenados, e de produzir novas informações por meio do emprego de modelos consistentes e com objetivos definidos a priori”* (Valente, 1999, p.30).

Em estudos epidemiológicos, a integração de dados pode ser caracterizada como *“uma das maneiras de se conhecer mais detalhadamente as condições de saúde da população ... através de mapas que permitam observar a distribuição espacial da situação de risco e dos problemas de saúde”* (Santos, 2000).

## 5.1 METODOLOGIA EMPREGADA NA ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA

Os procedimentos que resultaram na integração de dados são constituídos basicamente por quatro etapas distintas. Essas etapas foram inicialmente descritas por Wright & Bonham Carter (1996) e foram complementados por Valente (1999), Pina (2000) e Quadros (2000): **i)** a elaboração do modelo conceitual, **ii)** a construção da base de dados, **iii)** o processamento da base de dados e **iv)** a integração da base de dados. Entretanto, nesse estudo, a quarta etapa foi modificada de **integração da base de dados** para **operações de SIG**.

Essa modificação está relacionada com a discordância do emprego do termo integração da base de dados, como uma etapa na análise epidemiológica. Nesse trabalho, considera-se que o termo **integração da base de dados** corresponde a uma função matemática de integração realizada dentro de uma função do SIG e, portanto, inclusa como uma operação de SIG.

O fluxograma esquemático dos procedimentos realizados nesse trabalho pode ser visualizado na Figura 5.1.1 abaixo.



**Figura 5.1** – Etapas (procedimentos) da integração de dados (modificado de Wright & Bonham Carter, 1996).

## 5.2 MODELO CONCEITUAL

O **modelo conceitual** consiste no retrato da realidade filtrado pela concepção humana. Esse retrato está focado nas variáveis que apresentem um comportamento espacial e que estão disponibilizadas, ou nas que sejam mais relevantes. As variáveis que compõem o modelo conceitual são dispostas em **Planos de Informações (PIs)**, ou *layers*. As seguintes variáveis epidemiológicas foram caracterizadas para o modelo conceitual: **PI** Neoplasia, **PI** Gamaespectrométrico, **PI** Município, **PI** Cidade, **PI** Geologia, e **PI** Limite do Projeto.

---

O modelo conceitual dos dados epidemiológicos foi elaborado a partir de informações de sua causa/origem e da evidência epidemiológica, com objetivo de indicar padrões que funcionem como guia de fatores de risco epidemiológico. A causa/origem epidemiológica é a radiação natural emanada das rochas, a qual pode ser nociva aos seres humanos (Capítulo 4). A evidência epidemiológica, é os casos de neoplasias identificados por município de origem, com base no estudo realizado pela Secretaria da Saúde do Estado do Rio Grande do Sul (Capítulo 3).

As principais características do modelo são as seguintes:

- i) casos de neoplasias no município que apresentam alguma relação original com a radiação;
- ii) mapeamento da intensidade radioativa das rochas e do solo do município, identificado pelo efeito somático epidemiológico da taxa de absorção;
- iii) descrição e identificação do substrato geológico do município.

### **5.3 BASE DE DADOS**

A **base de dados** foi montada a partir do conjunto de informações que estão espacialmente relacionadas e que constituirão as feições geográficas dos **Planos de Informações**. Esses dados podem ser compostos por dados gráficos, como os mapas, e/ou por dados alfanuméricos, como as tabelas. Nesse estudo, foram usados três (3) tipos de representações espaciais: i) a representação do tipo tabela (ascii), ii) a representação vetorial e iii) a representação matricial (*raster*).

A representação do tipo tabela é uma coleção de dados sobre uma entidade específica (local), a qual possui um número discreto de atributos nomeados, como: quantidade, tipo e medidas (Soukup, 1998). A representação do tipo tabela, que constitui os Planos de Informações (**PIs**) e que formam a base de dados usados na integração, são:

1. **PI** Neoplasia;
  2. **PI** Gamaespectrometria e
  3. **PI** População.
-

---

A representação vetorial é uma estrutura gráfica composta basicamente por pontos, linhas/arcos e polígonos. A entidade fundamental da representação vetorial é composta por um par de coordenadas  $x$  e  $y$ , denominado de nó. Portanto, um nó sózinho representa um ponto, dois nós uma linha, ou arco, e mais de dois nós podem representar um polígono aberto (poli-linha, ou cadeia), ou fechado (localização espacial do nó inicial e final é a mesma). Essas estruturas gráficas também podem estar associadas a uma tabela de atributos, ou a um banco de dados. Os dados vetoriais que constituem os Planos de Informações (PIs) e que formam a base de dados usados na integração, são:

1. **PI** Município (polígonos fechados);
2. **PI** Cidade (pontos);
3. **PI** Geologia (polígonos fechados) e,
4. **PI** Limite do Projeto (polígono fechado).

A representação matricial (*raster*) é determinada por uma matriz retangular formada normalmente por celas unitárias de tamanho constante, também conhecida por pixel (*picture element*). O arranjo espacial dessa matriz é dado por coordenadas dispostas em linhas e colunas. Cada cela unitária é identificada por um atributo, que determina uma classe. Esses atributos também podem estar associados a um banco de dados. Os dados matriciais que constituem os Planos de Informações (PIs) e que foram usados na integração, são:

1. **PI** Neoplasia e;
2. **PI** Gamaespectrometria.

### **5.3.1 PI NEOPLASIA**

O banco de dados utilizado nesse **PI** é uma representação do tipo tabela, onde a entidade específica é o município e o atributo específico é a quantidade total de casos de neoplasias identificados pelo ano da ocorrência e que apresentam alguma relação com a radiação no município. Esse banco de dados não contém a discriminação da posição espacial (localização geográfica) de cada caso de neoplasia; portanto, entende-se que a informação da quantidade de casos está relacionada com a distribuição espacial da população.

---

---

### **5.3.2 *PI GAMAESPECTROMETRIA***

O banco de dados utilizado nesse estudo faz parte do levantamento aerogamaespectrométrico realizado pela CPRM no escudo Sul-riograndense nos projetos Camaquã e Extremo Sudeste do Brasil nos anos de 1973 e 1978 respectivamente, e a sua representação é do tipo tabela. As entidades específicas são as coordenadas geográficas dos pontos de coleta e os atributos são as medidas da concentração de radio-elementos produtores de Rn (U e Th), dada em ppm (partes por milhão). A área do projeto é composta por dois (2) bancos de dados, amostrados em épocas diferentes, e com distintos parâmetros de levantamentos (Capítulo 3).

### **5.3.3 *PI POPULAÇÃO***

Os dados sobre a população de cada município foram obtidos apartir do cadastro municipal do IBGE no Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2001). As entidades específicas são os municípios e os atributos são os dados de contagem, estimação, ou censo populacional em cada ano.

### **5.3.4 *PI MUNICÍPIO***

Os contornos das divisões territoriais municipais nesse plano de informação foram obtidos do cadastro municipal do IBGE no Estado do Rio Grande do Sul. Esses dados são representações vetoriais do tipo polígono fechado.

### **5.3.5 *PI CIDADE***

---

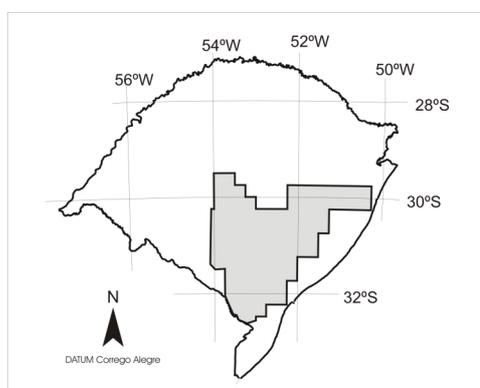
As localizações das sedes dos municípios foram feitas pela localização espacial a partir das coordenadas geográficas do marco zero de cada cidade. Esses dados geográficos foram obtidos a partir do cadastro do IBGE e são representações vetoriais do tipo ponto.

### **5.3.6 PI GEOLOGIA**

Os dados geológicos foram obtidos a partir do mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul, na escala 1:1.000.000 do ano de 1989 (Brasil, 1989). A representação final do mapa geológico é vetorial, do tipo polígono fechado. O mapa geológico foi transformado para meio digital por escanerização, e foi transformado para vetor pelo processo de vetorização semi-automático.

### **5.3.7 PI LIMITE DE PROJETO**

O limite do projeto corresponde à região onde todos os PIs apresentam informações. Esse limite foi obtido do limite externo da existência de dados do PI Gamaespectrométrico (Figura 5.2). Essa base de dados é expressa por representação vetorial do tipo polígono fechado.



**Figura 5.2** – Limite da área onde foi realizada a integração de dados entre os PIs de neoplasias e de gamaespectrometria no Estado do Rio Grande do Sul.

## **5.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS**

O **processamento dos dados** é o tratamento realizado em cada PI, segundo as características particulares de cada base de dados. O resultado final do processamento dos dados é a preparação do PI para a integração de dados. Para a execução desse trabalho, foi necessária a utilização dos seguintes programas aplicativos (*softwares*):

1. TabWin versão 1.32 (© Datasus, Ministério da Saúde): sistema de informações do Sistema Único de Saúde. Foi utilizado na preparação dos dados de neoplasias;
2. Oasis Montaj versão 5.1 em Windows. Foi utilizado no processamento e preparação dos dados de gamaespectrometria;
3. ENVI 3.4 em Windows. Foi utilizado no processo de registro e de exportação de arquivos no formato matricial para o SPANS;
4. AutoCad 2000. Foi utilizado na vetorização dos PIs para posterior exportação para o SPANS;
5. CONVERT versão 2.3. Programa desenvolvido pela CPRM para a transformação de arquivos vetoriais produzidos no programa AutoCad para arquivo no formato vetorial do SPANS;
6. DXF2XYZ versão 1.3 da Guthrie. Programa utilizado para converter arquivo (extensão \*.dxf) do AutoCad para arquivo tipo tabela (extensão \*.xyz)(ascii).

### **5.4.1 PI NEOPLASIA**

O processamento dos dados do PI neoplasia foi descrito no capítulo 3 (três) e consiste basicamente em: i) agrupar os casos de neoplasias segundo o seu tipo principal; ii) normalizar os casos de neoplasias para 10 mil habitantes; iii) agrupar os casos individualizados por época (análise temporal); iv) ajustar os casos de neoplasias em relação à

---

divisão territorial; e v) gerar mapas classificados por frequência. Esse processamento foi realizado no programa TabWin.

A entrada do mapa PI neoplasia no programa SPANS foi feito da seguinte maneira:

1) no programa (ENVI), o mapa do PI neoplasias foi inicialmente registrado e, posteriormente, salvo com o formato matricial específico do ENVI, que corresponde a uma matriz (extensão \*.img) e a um arquivo com parâmetros de informações da matriz (extensão \*.hdr).

2) para inserir o arquivo no SPANS, o arquivo imagem foi renomeado para extensão \*.rnl. O arquivo com os parâmetros das informações da matriz foram editados segundo as exigências do programa e renomeado com a extensão \*.rnh (TYDAC, 1997).

#### ***5.4.2 PI GAMAESPECTROMETRIA***

O processamento dos dados do PI Gamaespectrométrico, descrito no capítulo 4 (quatro), consiste basicamente em: i) filtragem dos dados; ii) análise estatística; iii) interpolação dos dados; e iv) geração dos mapas radiométricos. A entrada dos dados no programa Oasis Montaj foi realizada em formato do tipo tabela (extensão \*.xyz) e a saída dos dados produziu um arquivo em formato matricial da PCI (extensão \*.pix) e um arquivo com parâmetros de informações da matriz da PCI (extensão \*.gi).

A entrada do mapa PI Gamaespectrométrico no programa SPANS foi possível devido ao formato de entrada de arquivos matriciais no programa SPANS serem semelhantes ao formato de arquivo usado no programa ENVI. Os procedimentos de transformação, edição e renomeação de arquivos é o mesmo utilizado para os dados do PI Neoplasias descritos no capítulo acima.

---

### **5.4.3 PI POPULAÇÃO**

Os dados populacionais do estado foram obtidos em papel impresso e, então, digitados para o formato tabela. Esses dados foram agrupados segundo o município e ordenados em relação ao ano do censo populacional, tanto da contagem, quanto da estimativa.

A origem diferente nos dados populacional está relacionada com as condições físicas do órgão responsável pelo levantamento. O censo é o levantamento detalhado da população; a contagem é um levantamento pouco detalhado realizado entre os censos, e a estimativa é uma análise estatística da população para períodos que não é realizado contagem nem censo. Segundo o IBGE (IBGE 2001), esses dados são válidos para um estudo populacional. Esses dados populacionais foram usados no cálculo da normalização dos dados de neoplasias. Esse procedimento foi realizado em planilha eletrônica.

### **5.4.4 PI MUNICÍPIO**

O PI Município obtido do IBGE em formato vetorial polígono (extensão \*.dxf) apresenta como DATUM original, os parâmetros geodésicos SAD69. Nesse trabalho, foi necessária a conversão de DATUM, porque foi empregado o DATUM Córrego Alegre como padrão no estudo. Para a conversão, foi necessário transformar o arquivo em formato vetorial (extensão \*.dxf) em formato tabela (extensão \*.xyz) no programa DXF2XYZ. A conversão utilizou a constante de Molodenskii (Oliveira, 1993) e foi realizada em planilha eletrônica. Essa tabela foi posteriormente importada para o programa AutoCad usando a metodologia *script* do AutoCad, que é a importação de um dado vetorial em formato de tabela.

A entrada do PI município no programa SPANS foi feita pelo programa CONVERT, que transformou um arquivo vetorial produzido no programa AutoCad (extensão \*.dxf) para um arquivo no formato vetorial do SPANS (extensão \*.vec) e um arquivo com os parâmetros das informações vetoriais (extensão \*.veh).

---

### **5.4.5 PI CIDADE**

O PI cidade obtido do IBGE em formato vetorial do tipo ponto (extensão \*.dxf) também apresenta os parâmetros geodésicos SAD69 como DATUM original. Assim, foram utilizados os mesmos procedimentos de transformação de DATUM utilizado no PI Município.

### **5.4.6 PI GEOLOGIA**

O PI Geologia foi obtido a partir do mapa geológico (Brasil, 1989) em formato analógico. Esse mapa foi transformado para meio digital (matriz) por escanerização (extensão \*.tif) e, posteriormente, registrado (georreferenciado) no programa ENVI. Essa matriz foi exportada, no formato GeoTif (formato de arquivo que contém as coordenadas geográficas), para o programa AutoCad MAP, onde foi realizada a vetorização.

A entrada do PI geologia no programa SPANS foi feita com a utilização do programa CONVERT, que transforma um arquivo vetorial produzido no programa AutoCad (extensão \*.dxf) para um arquivo no formato vetorial do SPANS (extensão \*.vec) e um arquivo com os parâmetros das informações vetoriais (extensão \*.veh).

### **5.4.7 PI LIMITE DE PROJETO**

Os limites do projeto (área do projeto) foram obtidos do limite externo da região do levantamento aerogamaespectrométrico no programa Oasis Montaj. O arquivo resultante da delimitação é uma tabela que contém as coordenadas dos vértices do polígono que recobre a região (extensão \*.ply). Essa tabela também foi importada para o programa AutoCad usando a metodologia *script* do AutoCad.

A entrada do mapa PI Limite de Projeto no programa SPANS também utilizou o programa CONVERT, que transformou o arquivo vetorial produzido no programa AutoCad

---

---

(extensão \*.dxf) para um arquivo no formato vetorial do SPANS (extensão \*.vec) e um arquivo com os parâmetros das informações vetoriais (extensão \*.veh).

## **5.5 OPERAÇÕES DE SIG**

As operações de SIG incluem todos os procedimentos realizados com os **PIs** no programa aplicativo (*software*) Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG). As operações de SIG realizadas nesse trabalho são:

- i) a reclassificação do PI Gamaespectrométrico;
- ii) a transformação dos arquivos para *quadtree*;
- iii) os métodos de integração;
- iv) a análise de Correlação e,
- v) a análise de dados por matriz de sobreposição.

O PI neoplasia não necessitou da utilização do procedimento de reclassificação.

Para a execução das operações no Sistema de Informações Georreferenciadas, foi necessária a utilização do seguinte programa aplicativo:

- SPANS (*Spatial Analysis System*) versão 6.0 (1997, TYDAC Research Inc. Ontário Canadá).

### **5.5.1 RECLASSIFICAÇÃO DO PI GAMAESPECTROMÉTRICO**

Os dados do PI Gamaespectrométrico “bruto”, ou seja, o resultado do processo de tratamento dos dados já descritos no capítulo 4, necessitou a realização de uma nova classificação dos dados radiométricos. O objetivo da reclassificação foi o estabelecimento dos parâmetros relevantes aos critérios da influência epidemiológica ambiental da radiação, que abordou a influencia da radiação sobre os seres humanos, assunto abordado no capítulo 2.2.

---

A reclassificação do **PI** Gamaespectrométrico foi elaborada de acordo com as informações de Wher & Richard (1965) e Murray (1963), que estipularam uma taxa de absorção da radiação de 6.25 mR/h (*micro-Roentgen/hora*) como limite tolerável e seguro ao homem. Os valores acima dessa taxa podem ser considerados nocivos ao corpo humano, na medida em que podem induzir o desenvolvimento de neoplasias específicas.

Esse limite de taxa de absorção tolerável para o corpo humano foi estipulado com relação a pessoas que trabalham continuamente por um período de 40 h semanais em locais que já apresentam índices de radiação. Entretanto, esse valor tolerável de radiação pode ser considerado num aspecto mais abrangente para o caso em pauta, na medida em que se verifica que a atividade radioativa dada pela presença do gás radônio no interior de construções apresenta variações de acúmulo e de dispersão, cujo comportamento pode ser considerado próximo, mas não igual aquele de ambientes onde se trabalha com radiação (BIER V, 1990). O comportamento do acúmulo e de dispersão do gás radônio em construções, bem como sua variação diária, foi amplamente discutido no capítulo 2.3.

A reclassificação do **PI** Gamaespectrométricos foi feita em cinco (5) classes, das quais duas (2) abaixo da taxa de absorção tolerável e três (3) acima da taxa de absorção tolerável (Tabela 5.1). As duas (2) classes abaixo do limite tolerável foram estabelecidas com o objetivo de diferenciar as regiões mais próximas do limite tolerável. Para tanto, foi estipulados um patamar intermediário entre zero e a taxa de absorção tolerável (3.12 mR/h).

A reclassificação do **PI** Gamaespectrométrico, para a taxa de absorção acima da tolerável, levou em consideração a correlação dos efeitos somáticos ocasionados por radiações conhecidos, de dose de radiação absorvida (Murray, 1963; Wher & Richard, 1965; Bitelli, 1982; Barrios e Sartori, 1995; Brasil, 1995). Os três patamares para as taxas de absorção acima do tolerável ficaram estipulados em:

- classe 3: doses de absorção de radiação que podem causar algumas modificações sangüíneas leves e temporárias, com possíveis efeitos tardios;
- classe 4: doses de absorção de radiação que podem causar algumas doenças sérias e também apresenta alterações sangüíneas significativas;
- classe 5: doses de absorção de radiação que podem causar doenças sérias e de difícil tratamento. Pode-se admitir que são áreas de grande risco epidemiológico.

**Tabela 5.1** – Classes da reclassificação do **PI** Gamaespectrométrico e os efeitos epidemiológicos causados pela taxa de absorção (adaptada de: Murray, 1963; Wher & Richard, 1965; Bitelli, 1982; Barrios e Sartori, 1995; Brasil, 1995).

Classe	Taxa de absorção em mR/h	Efeito somático epidemiológico da taxa de absorção.	Risco
1	< 3.12	Abaixo do limite seguro.	Muito Baixo
2	3.13 – 6.25	limite seguro	Baixo
3	6.26 – 9.13	modificações no sangue.	Moderado
4	9.14 – 16	doenças significativas.	Semi-letal
5	16.01 <	doenças sérias.	letal

### 5.5.2 TRANSFORMAÇÃO PARA *QUADTREE*

As manipulações de arquivos, no SIG SPANS, são feitas no formato matricial, em estrutura do tipo *quadtree*. O formato *quadtree* é uma estrutura de dados hierárquicos, baseada em sucessivas subdivisões de 4 (quatro) quadrantes. A estrutura tipo *quadtree* faz com que altos graus de resolução sejam realizados onde são realmente necessários, deixando, assim, um arquivo compactado e de rápido processamento (Pimentel *et al.*, 1997; Silva, 1999a).

A conversão dos **PIs** de formato matricial para a estrutura do tipo *quadtree* utilizou o método de re-amostragem pelo vizinho mais próximo e a resolução espacial de nível de *quadtree* 11 (onze). O nível de *quadtree* é uma unidade específica das características operacionais do programa e, nesse caso, o nível de *quadtree* 11 representa uma resolução espacial de 593 metros.

A resolução espacial nesse estudo epidemiológico foi estabelecida de acordo com a menor resolução espacial encontrada. O **PI** Gamaespectrometria apresenta, em seu arquivo de origem, um *pixel* regular de 250 metros; os argumentos para essa dimensão estão descritos no capítulo 4 (quatro) com maiores detalhes. A dimensão do *pixel* regular para o **PI** Neoplasia foi estabelecida em 593 metros.

Um outro aspecto importante considerado na determinação da resolução espacial do *quadtree* é a escala de apresentação final dos mapas, que é de aproximadamente

1/3.077.000. Nessa escala, um *pixel* de 593 metros torna-se é imperceptível. Assim, o nível 11 (onze) de *quadtree* usado nesse estudo epidemiológico condiz aproximadamente com a resolução de *pixel* aplicável nos mapas finais.

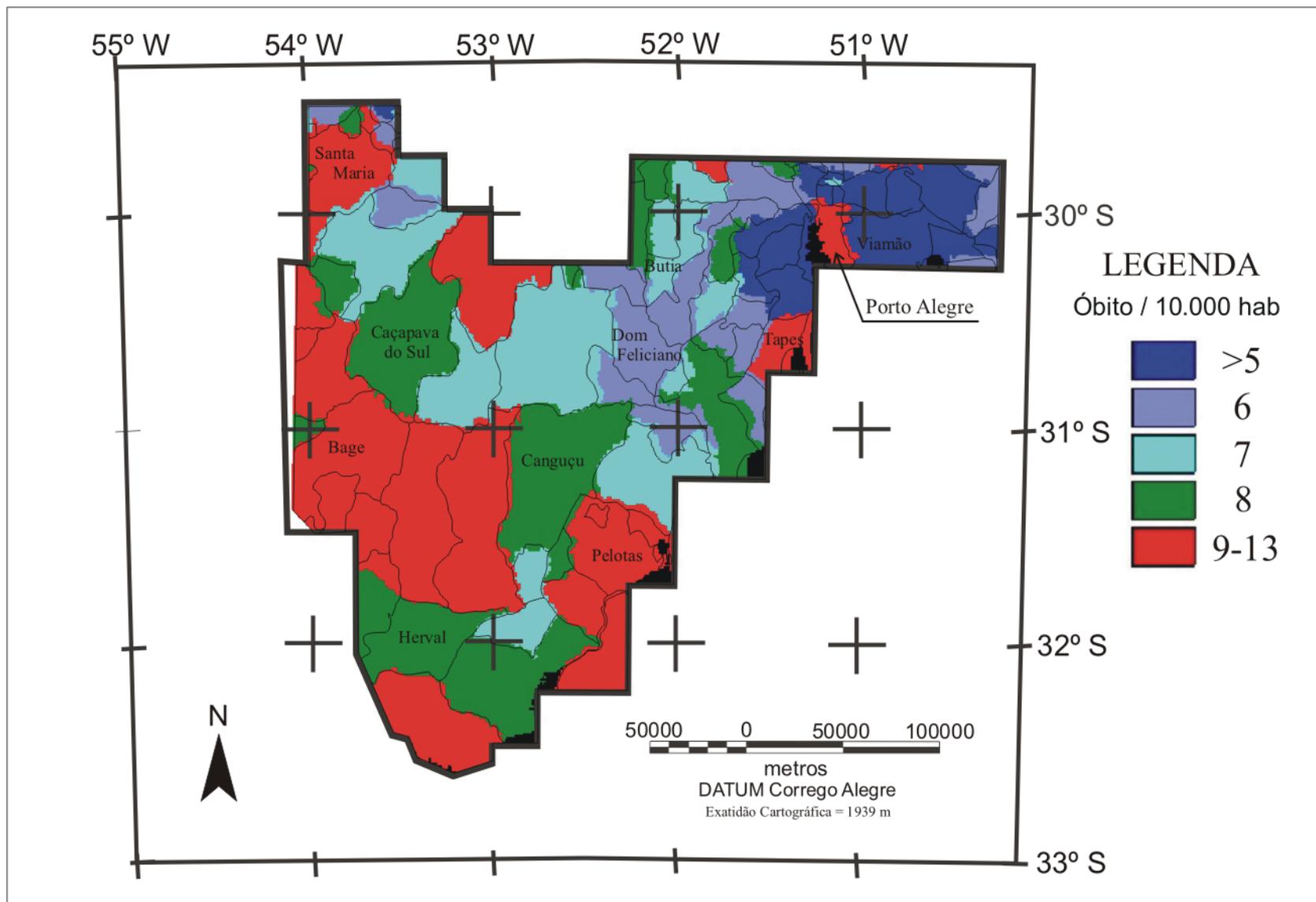
A transformação dos PIs para o formato do tipo *quadtree*, pode ser visualizada na Figura 5.3 (PI Neoplasia) e na Figura 5.4 (PI Gamaespectrometrico). Ambos os PIs já estão condicionados pelo PI limite do projeto.

### 5.5.3 MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO DE DADOS

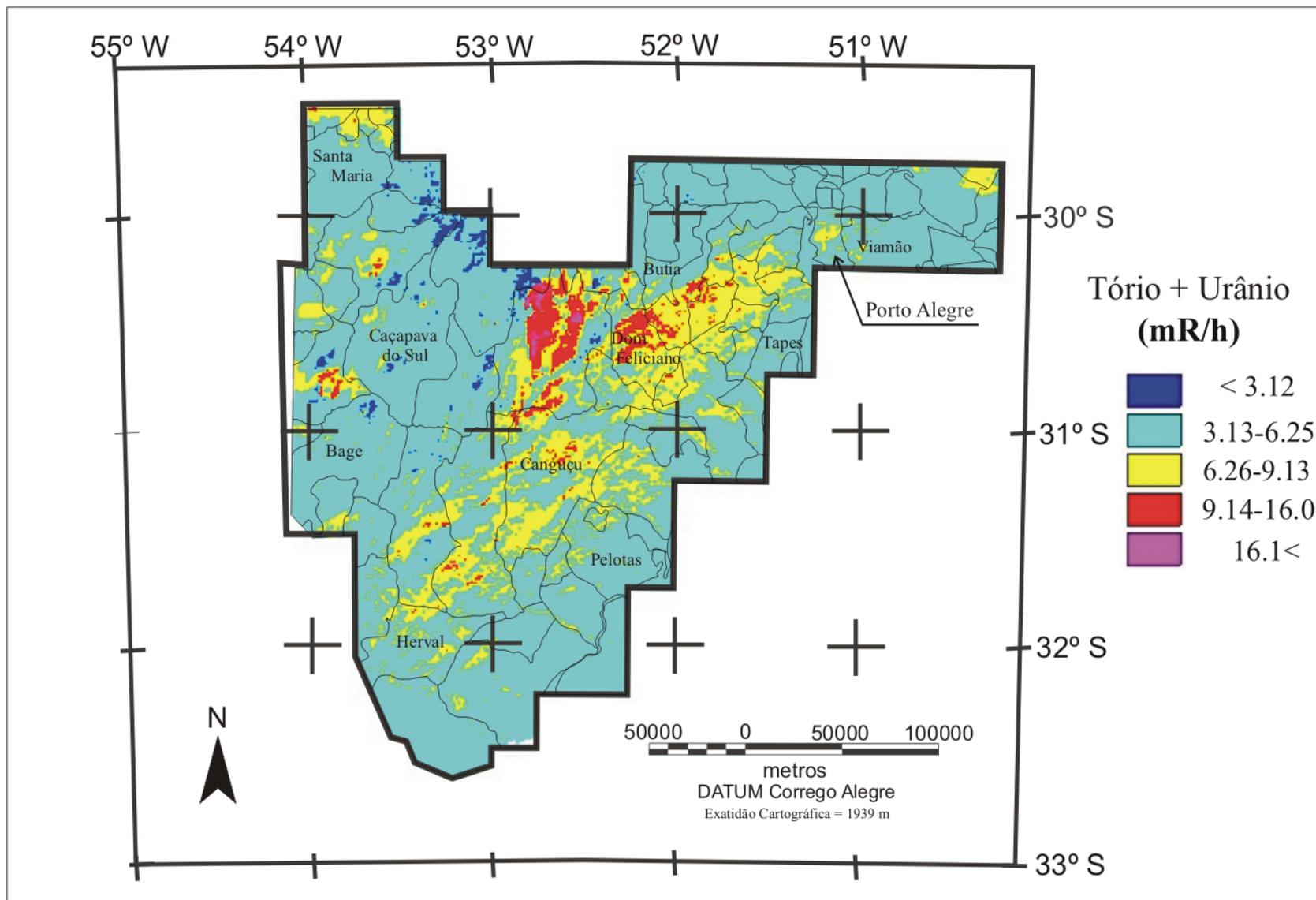
A integração de dados nesse estudo epidemiológico está relacionada com a análise espacial de pares de mapas (PI's). A integração em pares de mapas tem como objetivo identificar e descrever associações entre mapas de diferentes origens e, a partir disso, prever, no âmbito espacial, os efeitos epidemiológicos ambientais. A metodologia adotada para a análise espacial em pares usou a modelagem por matriz de sobreposições no SIG SPANS.

A modelagem por matriz de sobreposição é a criação de um novo mapa com base na análise comparativa por combinação de outros dois mapas. Na combinação dos mapas, usa-se uma tabela bidimensional cruzada, cujo objetivo é suprir, por sobreposição, todas as combinações possíveis dos dois mapas considerados. A tabela bidimensional criada é uma matriz onde a linha corresponde às classes do primeiro mapa e a coluna, às classes do segundo mapa. As células criadas pela intersecção das linhas e das colunas dos dois mapas são a assinatura específica do esquema de classificação usado para a criação do novo mapa (Bonham-Carter, 1986; TYDAC, 1997). Na ilustração da Figura 5.5, é apresentado um exemplo de uma tabela bidimensional; essa tabela apresentada é uma matriz branca, ou seja, é composta por zeros.

A aplicação desse método de modelagem por matriz de superposição nesse estudo epidemiológico deve-se à vantagem que apresenta, pois pode ser eficazmente implantado num estudo de integração. Essa vantagem é ocasionada pelo ilimitado número de sobreposições possíveis, o que propicia uma maleabilidade das operações de superposição. Entretanto, o uso desse método está fortemente entrelaçado com a influência pessoal do operador; ou seja, esse método é qualitativo (Quadros, 1997).



**Figura 5.3** – Mapa do PI Neoplasia, com a região do escudo sul-riograndense, na qual será utilizada para a integração de dados.



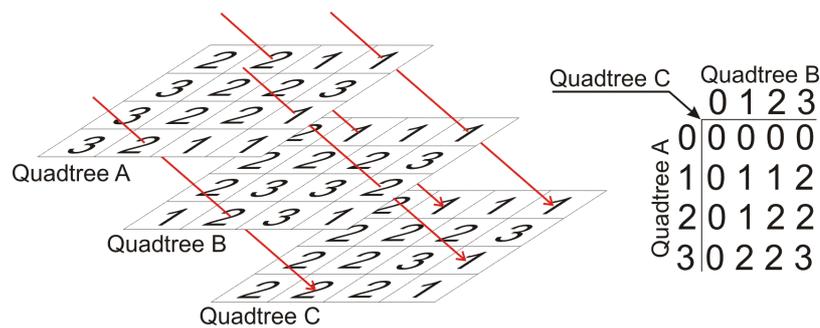
**Figura 5.4** – Mapa do PI Gamaespectrometria re-classificado que será utilizado para o estudo de integração de dados.

Camada → PI Gamaespectrometria								
	classe →	0	1	2	3	4	5	
PI Neoplasia	↓	0	0	0	0	0	0	Matriz de tabela bidimensional
	1	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	

**Figura 5.5** - Tabela bidimensional usada na integração de dados por matriz de sobreposição (adaptada de TYDAC, 1997).

Os métodos qualitativos são dirigidos pelo conhecimento; portanto, o desconhecimento das informações poderá afetar a interpretação dos resultados. Nesse estudo epidemiológico, foram estabelecidas duas (2) linhas de conhecimento dos dados espaciais (Planos de Informação para a modelagem). A primeira linha de conhecimento está relacionada ao **PI** Neoplasia, onde foi considerado que toda a informação é um fator epidemiológico em grau maior ou menor. A segunda linha de conhecimento está relacionada à taxa de absorção da radiação (**PI** Gamaespectrométrico), que está classificada segundo o grau de influência no corpo humano.

Na Figura 5.6, é apresentado um exemplo de mobilidade da matriz de sobreposição, onde é visualizado, em forma gráfica, os dois PIs da modelagem, (*quadtree* A e B), e o resultado da integração (*quadtree* C) Nesse exemplo, também é mostrado, o exemplo de matriz e a respectiva expressão aplicada nessa integração.



- C será 1 = se A for 1; e se B for 1
- C será 1 = se A for 1; e se B for 2
- C será 1 = se A for 2; e se B for 1
- C será 2 = se A for 2; e se B for 2
- C será 2 = se A for 2; e se B for 3
- C será 2 = se A for 3; e se B for 2
- C será 3 = se A for 3; e se B for 3

**Figura 5.6** – Demonstração do método de integração de dados por matriz de sobreposição (adaptada da TYDAC, 1997).

### 5.5.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

A análise de correlação é uma medida da relação que pode existir entre duas variáveis (isto é, o comportamento de uma variável em relação à outra) com o objetivo de averiguar as possíveis relações ou regularidades de manifestações entre elas. Essa análise não tem somente o objetivo de focar a existência de alguma relação de dependência funcional, de causa e efeito entre as variáveis, mas também objetiva investigar o comportamento das variáveis (Pereira, 1979; Nanni, 1981; Landim, 1998).

Nesse estudo epidemiológico, as variáveis em análise de correlação são os **PI** Neoplasia e **PI** Gamaespectrometria. Para o melhor entendimento e compreensão dos resultados do estudo de integração de dados epidemiológicos, é feita uma análise de correlação por meio de métodos quantitativo e qualitativo.

#### 5.5.4.1 ANÁLISE QUALITATIVA, **PI** NEOPLASIA E **PI** GAMAESPECTROMETRIA

A análise de correlação pelo método qualitativo é aplicada aos Planos de Informações (**PIs**) por meio da matriz de sobreposição da Figura 5.7. O resultado dessa análise por matriz de sobreposição está apresentado na Figura 5.8, onde foi realizada uma classificação de ordem de um (1) a nove (9), sem grandeza de unidade. Esses valores são determinados pelas relações espaciais existentes entre os **PIs**, cuja expressão puramente interpretativa é descrita da seguinte forma:

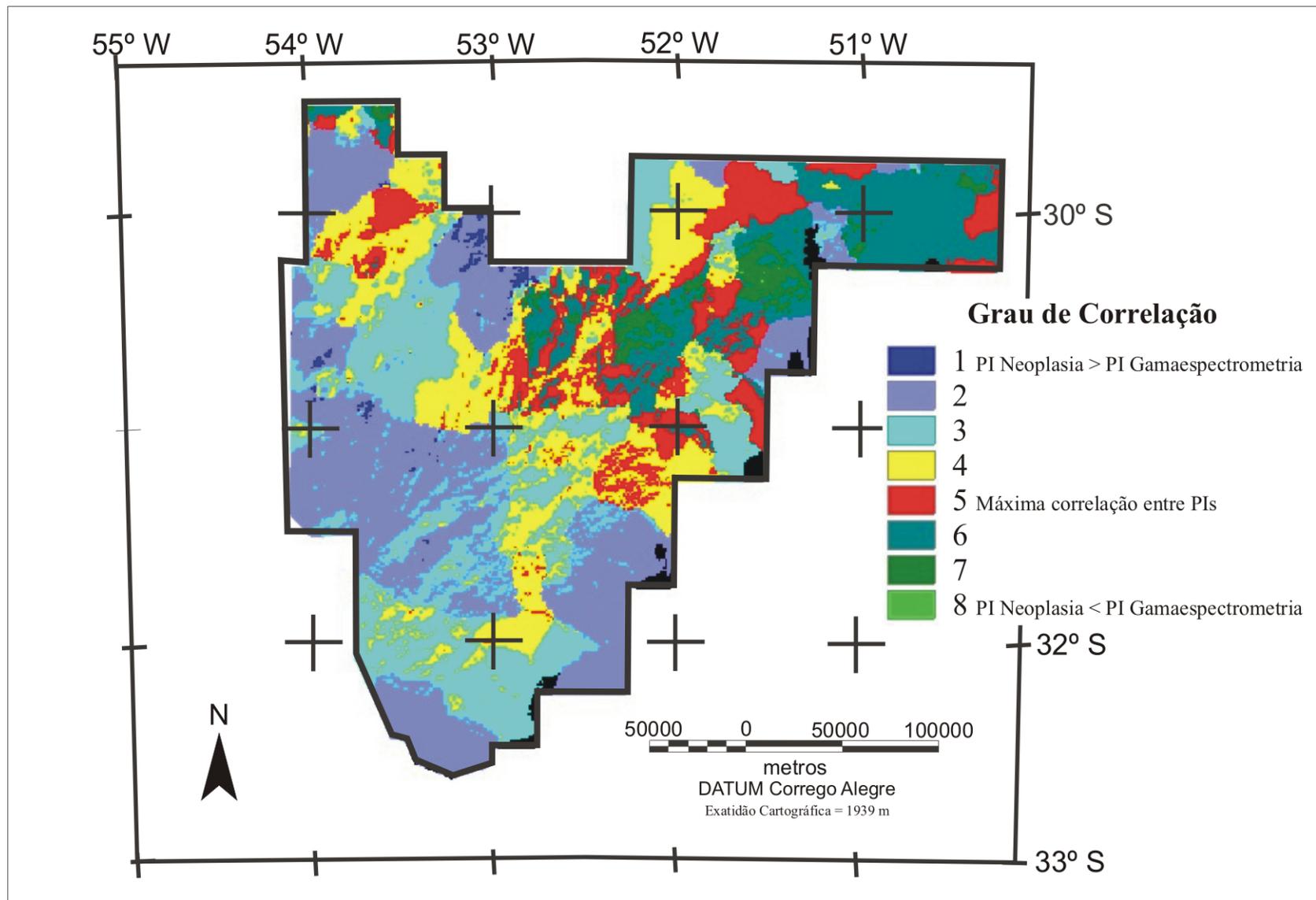
- i) o valor cinco (5), presente na diagonal principal da matriz de correlação corresponde ao valor de máxima correlação das variáveis em análise (**PI** Neoplasia e **PI** Gamaespectrometria);
- ii) os valores de um (1) a quatro (4) caracterizam falta de correlação, onde o **PI** Neoplasia sobressai em relação ao **PI** Gamaespectrométrico; e
- iii) os valores de seis (6) a nove (9) caracterizam falta de correlação, onde o **PI** Gamaespectrométrico sobressai em relação ao **PI** Neoplasia.

		PI Gamaespectrometria					
classe		0	1	2	3	4	5
PI Neoplasia	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	5	6	7	8	9
	2	0	4	5	6	7	8
	3	0	3	4	5	6	7
	4	0	2	3	4	5	6
	5	0	1	2	3	4	5

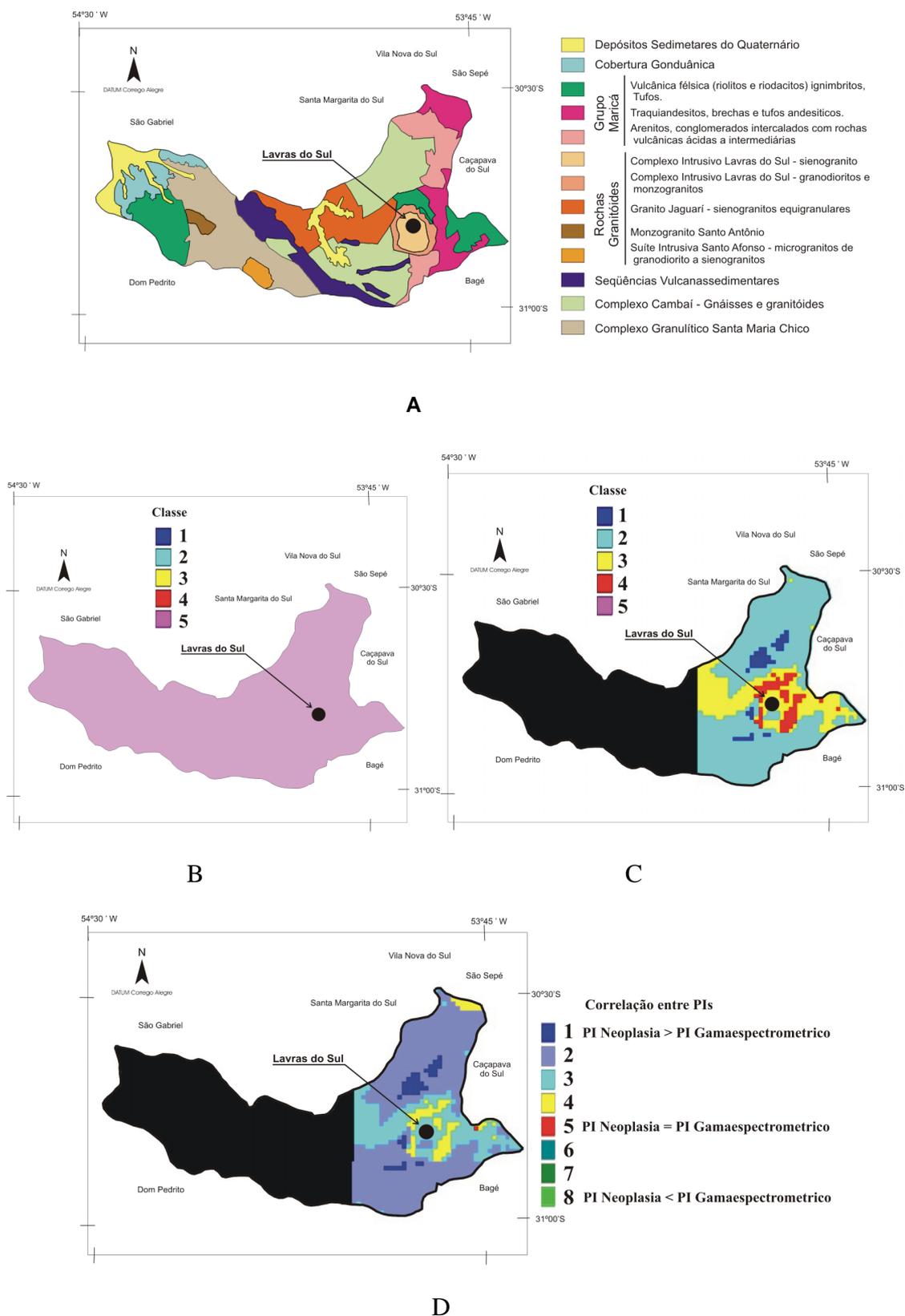
**Figura 5.7** - Análise de correlação entre os **PI** Neoplasia e o **PI** Gamaespectrométrico por meio do método de matriz de sobreposição.

Uma análise mais compreensível desse tipo de correlação requer, entretanto, algumas observações adicionais. Segundo Pereira (1979), a máxima correlação entre as variáveis não é um indicativo de que existe uma correlação entre elas. As variáveis podem apresentar uma forte correlação, mas essa correlação não é um indicativo de que haja relação de causa e efeito no estudo em questão; do modo inverso, uma baixa correlação também não é indicativa de que não exista correlação. Nesses casos, a compreensão da correlação está relacionada com o entendimento das variáveis em questão, ou seja, o conhecimento das informações é necessário para a interpretação do significado da correlação.

A compreensão do estudo de correlação apresentada na Figura 5.8 é realizada seguindo parâmetros qualitativos, principalmente em relação ao **PI** Neoplasia. Um parâmetro qualitativo usado é a informação que marca fisicamente o município, ou seja, a divisão territorial, pois ela não representa basicamente uma relação com limites físicos, excetuando-se os limites físicos por redes de drenagem. Especificamente, o **PI** Neoplasia é uma informação que representa o município e deve-se considerar, então, que a superfície do município está representada por um único valor no **PI** Neoplasia. Entretanto, observa-se que os limites municipais, quando comparados aos aspectos físicos, compreendem mais de uma unidade geológica e/ou mais de uma unidade pedológica; são essas unidades que estão correlacionadas com a emissão de radiações ionizantes. A compreensão dessa correlação é bem visualizada e exemplificada na Figura 5.9, na qual o município de Lavras do Sul é detalhado quanto a geologia, aos **PIs** e à correlação existente entre eles.



**Figura 5.8** - Mapa da análise de correlação pelo método da matriz de sobreposição.

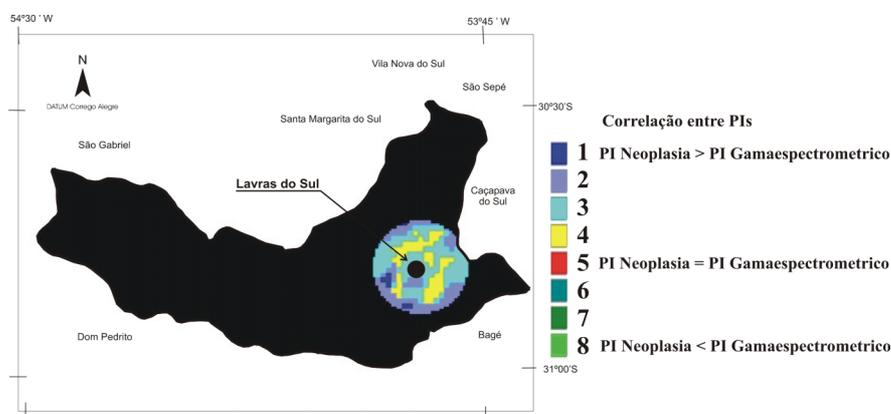


**Figura 5.9** – Município de Lavras do Sul (RS) caracterizado pelo: A) mapa geológico simplificado (adaptado de Brasil 1989); B) PI Neoplasia, adaptado da Figura 3.7 (fonte SS-RS); C) PI Gamaespectrométrico adaptado da Figura 5.4; e D) análise de correlação por matriz de sobreposição entre o PI Neoplasia e o PI Gamaespectrométrico.

O município de Lavras do Sul (RS) está localizado na região limite entre sobreposição dos **PIs** Neoplasia e Gamaespectrometria, por isso, a metade oeste do município não apresenta informação de correlação, isso ocorreu devido à falta de dados no banco de dados de gamaespectrometria. Entretanto, essa ausência de informação não desqualifica o município como exemplo para o entendimento da correlação. Nesse exemplo, a cidade de Lavras do Sul está geologicamente localizada sobre rochas graníticas alcalinas, enquanto o município como um todo mostra uma diversidade litológica (Figura 5.9A). A emissão de radiação nas rochas graníticas apresenta uma intensidade maior do que as demais unidades litológicas da região (Figura 5.9C). Nas informações epidemiológicas, essa cidade foi classificada na classe 5 (cinco) do **PI** Neoplasia; isso indica que, na região de Lavras do Sul, ocorrem de 9 a 13 casos de neoplasia para cada 10.000 habitantes (Figura 5.9B).

O resultado do estudo de correlação apresentado na Figura 5.9D mostra que, no município de Lavras do Sul, somente a área onde está a rocha granítica apresenta máxima correlação; enquanto as demais áreas apresentam uma baixa correlação, com favorecimento do **PI** Neoplasia. Esse resultado da correlação é compreensível e esperado, já que o valor da classe do **PI** Neoplasia corresponde a um atributo geral do município, enquanto o **PI** Gamaespectrométrico apresenta valores espaciais mais densamente amostrados e de maior discretização. Mesmo considerando o **PI** Neoplasia como um atributo geral do município computado com referência a sua sede, essa informação é válida como dado espacial, pois, segundo os dados do IBGE (IBGE, 2001), normalmente mais de 50 % da população do município reside na zona urbana.

Para exemplificar a correlação entre os **PIs** e a concentração da população na cidade de Lavras do Sul, idealizou-se um mapa de proximidade (Figura 5.10). Esse mapa representa o entorno da coordenada central da sede municipal, com um raio de 10 Km.



**Figura 5.10** – Mapa de proximidade utilizado na análise da correlação por matriz de sobreposição entre o **PI** Neoplasia e o **PI** Gamaespectrométrico na cidade de Lavras do Sul (RS).

### 5.5.4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

A análise de correlação quantitativa apropriada para o estabelecimento de relações entre variáveis expressa em nível nominal, quando estão dispostas por tabelas cruzadas (tabelas de contingência), é o uso da correlação do tipo coeficiente  $\phi$  (*phi*, coeficiente de contingência) **V** de Cramer e **T** de Tchuprow (Bunchaft, 1997; TYDAC, 1997). O coeficiente  $\phi$  não foi empregado nesse trabalho, pois o seu emprego está associado a dados nominais numa tabela 2 x 2, ou seja, tabelas dicotômicas ou artificialmente dicotomizadas. Nesse trabalho, as tabelas de contingência são do tipo politômicas quadradas e retangulares.

O coeficiente de contingência **C** é empregado em tabelas politômicas retangulares e/ou quadradas de tamanho superior a 2 x 2. A sua fórmula é a seguinte:

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{n + \chi^2}} \quad (4)$$

onde:

$\chi^2$  = qui-quadrado computado pelos dados.

$n$  = número de elementos da amostra.

Para calcular o  $\chi^2$ , a seguinte fórmula é usada:

$$\chi^2 = \sum \frac{\left( F_0 - \left( \frac{F_c * F_l}{n} \right) \right)^2}{\left( \frac{F_c * F_l}{n} \right)} \quad (5)$$

onde:

$F_0$  = frequência observada

$F_c$  = total de elementos da coluna

$F_l$  = total de elementos da linha

O resultado da análise do Coeficiente de Contingência é um coeficiente situado entre 0 e 1, onde 0 é a correlação mínima e 1 a correlação máxima. Entretanto, a máxima correlação nunca é atingida, mesmo que as variáveis estejam perfeitamente correlacionadas

(na completa associação o coeficiente é nulo). Nesse caso, é possível determinar qual será o coeficiente máximo quando a tabela de contingência politômica for quadrada. Esse  $C_{\text{máximo}}$  é calculado pela relação entre o número de linhas com o número de colunas e é expresso pela seguinte fórmula:

$$C_{\text{máximo}} = \sqrt{\frac{L-1}{L}} \quad (6)$$

onde:

$L$  = tamanho da tabela quadrada

Outro estimador de correlação para variáveis em nível nominal é o **T** de Tschuprow. Essa expressão é aplicada somente para tabelas de contingência politômicas quadradas e a sua expressão é a seguinte:

$$T = \sqrt{\frac{\chi^2}{n\sqrt{(l-1)(c-1)}}} \quad (7)$$

onde:

$l$  = número de linhas

$c$  = número de colunas.

Um estimador de correlação para variáveis do tipo nominal, aplicado somente para tabelas de contingência politômicas retangulares, é o índice **V** de Cramer:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(k-1)}} \quad (8)$$

$k$  = é o menor número entre linha e coluna da tabela.

Entretanto, os estimadores de **T** de Tschuprow e **V** de Cramer apresentam vulnerabilidade em relação ao tamanho da tabela de contingência e ao valor da amostra. Esses coeficientes estimam que, com o aumento do tamanho da matriz, ocorre uma diminuição da correlação, ou seja, existirá a sub-estimação da correlação.

#### **5.5.4.2.1 PI NEOPLASIA E PI GAMAESPECTROMETRIA**

A análise quantitativa na determinação de correlação entre os casos de neoplasias e os dados radiométricos foi executada por meio do Coeficiente de Contingência (C) e T de Tschuprow, pelas razões discutidas anteriormente. O coeficiente de contingência (C) para os **PIs** de neoplasia e gamaespectrometria apresentou um valor de 0,2658. O valor máximo de coeficiente de contingência ( $C_{\text{máximo}}$ ) esperado para esse tamanho de matriz é de 0,8944. Assim, pode-se dizer que a correlação entre os **PIs** neoplasia e gamaespectrometria é verificada para cerca de 1/3 dos dados totais. De outro modo, o coeficiente T de Tschuprow mostrou um valor de 0,1379 para esse mesmo banco de dados; tal coeficiente tem um caráter conservador, razão pela qual apresenta um valor inferior do que aquele do coeficiente de contingência (C).

Numa análise geral, a existência de uma relação entre os **PIs** neoplasia e gamaespectrometria é compreendida quando se entende o princípio construtivo da base de dados de cada um dos **PIs** (Capítulo 5.3). A correlação representada pelo coeficiente de contingência corrobora a discussão realizada na análise qualitativa, na qual a concentração da população próxima e/ou na zona urbana é um elemento importante de ponderação para a distribuição espacial dos dados de neoplasias. Analisando o coeficiente de correlação somente para a zona de proximidade da sede do município, o coeficiente de contingência (C) apresentou valor de 0,5642 e o coeficiente de T de Tschuprow mostrou valor de 0,3694.

#### **5.5.4.2.2 PI GAMAESPECTROMETRIA E PI GEOLOGIA**

O dado radiométrico obtido pelo sensor aerotransportado no levantamento geofísico é usualmente tomado como representativo da composição química das rochas e dos solos. A verificação dessa relação pode ser realizada por meio da análise de correlação entre o levantamento gamaespectrométrico e o mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul.

O Coeficiente de contingência (C) apresentou um valor de correlação de 0,7018 para os **PIs** gamaespectrometria e geologia. Embora não tenha sido possível determinar o  $C_{\text{máximo}}$ , devido à tabela de contingência ser uma matriz retangular, estima-se que o valor máximo, para esses casos, esteja próximo a 1 (um). Assim, pode-se dizer que a

correlação entre o atual mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul e o levantamento gamaespectrométrico está próxima da máxima.

A correlação pelo coeficiente **V** de Cramer forneceu um valor de 0,5687. O coeficiente **V** de Cramer é mais conservador e, apesar da vulnerabilidade em relação ao tamanho da tabela e da amostra, ainda apresenta uma boa correlação entre os **PIs**. Assim, salienta-se que em ambos os coeficientes de correlação mostram que o **PI** Gamaespectrométrico está basicamente refletindo uma realidade próxima da real em relação às rochas e aos solos.

Entretanto, deve ser ressaltado que o **PI** geologia, produzido a partir do mapa geológico na escala 1:1000000, não oferece uma consistência no limite entre as unidades litológicas. Essa não consistência está associada ao erro mínimo produzido pela escala do mapa, estimado em 250 m, que é a espessura da linha do contato litológico (0,25 mm), e a falta da identificação da precisão cartográfica do mapa geológico.

#### ***5.5.5 INTEGRAÇÃO DE DADOS POR MATRIZ DE SOBREPOSIÇÃO***

A integração de dados para a análise epidemiológica no estado do Rio Grande do Sul ficou restrita à região onde há disponibilidade de dados gamaespectrométricos, a qual corresponde ao Escudo Sul-riograndense (Figura 5.2).

A quantificação da radiação natural como agente epidemiológico torna-se necessária para que se possa realizar uma interpretação mais concreta sobre o dado epidemiológico. Além disso, não se pode afirmar que a existência de um caso, ou de dois casos, ou mesmo de 14 casos de neoplasias em 10.000 habitantes é ou não é epidemiológico. Nesse estudo, considerou-se apenas o número casos de neoplasias, sem a preocupação com o fato desses números serem mais ou menos epidemiológicos.

O processo de questionamento sobre o que é ou não é epidemiológico é abordado com o objetivo de elaborar, com a máxima flexibilidade, o arranjo das matrizes que compõem a integração de dados. Como o método da matriz por sobreposição é dirigido pelo conhecimento, o resultado da modelagem irá depender exclusivamente do arranjo da matriz. Os resultados desses arranjos são mapas diferentes; em qualquer caso, esses mapas

apresentam regiões onde há evidência de uma relação epidemiológica entre neoplasias e radiação natural do radônio. Assim, foram estabelecidos arranjos de matrizes segundo: i) uma perspectiva conservadora e ii) uma perspectiva não conservadora.

Uma matriz conservadora tem como objetivo favorecer o **PI** que apresenta sempre a menor classe. Nesse caso, diz-se que a matriz é conservadora quando a situação é condicionada para que o efeito epidemiológico seja baixo. A matriz conservadora é estabelecida por dois arranjos:

- arranjo 1: a menor classe da combinação de dois **PIs** é o valor da nova classe. Esse arranjo considera que sempre deve prevalecer a menor classe (Figura 5.11A);
- arranjo 2: a nova classe será a média da combinação das classes dos **PIs**, arredondando-se para o valor inteiro menor. Nesse arranjo, a influência das classes de cada **PI** é importante (Figura 5.11B).

		PI Gamaespectrometria					
		0	1	2	3	4	5
classe							
PI Neoplasia	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	1	1	1	1
	2	0	1	2	2	2	2
	3	0	1	2	3	3	3
	4	0	1	2	3	4	4
	5	0	1	2	3	4	5

A

		PI Gamaespectrometria					
		0	1	2	3	4	5
classe							
PI Neoplasia	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	1	2	2	3
	2	0	1	2	2	3	3
	3	0	2	2	3	3	4
	4	0	2	3	3	4	4
	5	0	3	3	4	4	5

B

**Figura 5.11** – Arranjos da matriz conservadora: A) arranjo 1 e B) arranjo 2.

A matriz não conservadora tem como objetivo favorecer o **PI** que apresenta sempre a maior classe, ou seja, a matriz não conservadora é condicionada para que o efeito epidemiológico seja alto. A matriz não conservadora também é estabelecida por dois arranjos:

- arranjo 1: a maior classe da combinação de dois **PIs** é o valor da nova classe. Esse arranjo considera que sempre deve prevalecer a maior classe (Figura 5.12A);
- arranjo 2: a nova classe será a média da combinação das classes dos **PIs**, arredondando-se para o valor inteiro maior. Nesse arranjo, a influência das classes de cada **PI** é importante (Figura 5.12B).

		PI Gamaespectrometria					
		classe	0	1	2	3	4
PI Neoplasia	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	2	3	4	5
	2	0	2	2	3	4	5
	3	0	3	3	3	4	5
	4	0	4	4	4	4	5
	5	0	5	5	5	5	5

A

		PI Gamaespectrometria					
		classe	0	1	2	3	4
PI Neoplasia	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	2	2	3	3
	2	0	2	2	3	3	4
	3	0	2	3	3	4	4
	4	0	3	3	4	4	5
	5	0	3	4	4	5	5

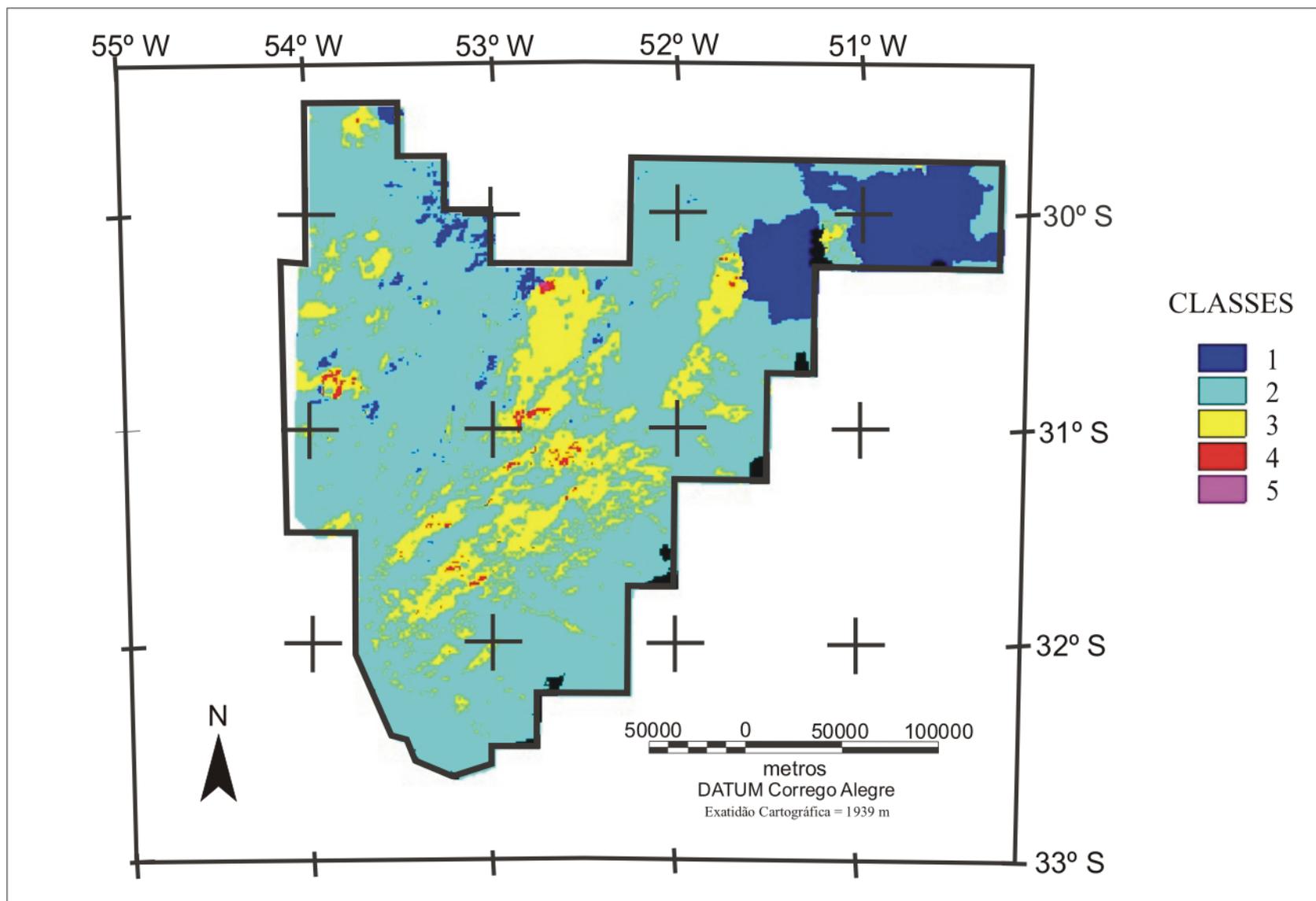
B

**Figura 5.12** – Arranjos da matriz não conservadora: A) arranjo 1 e B) arranjo 2.

Os mapas resultantes de cada uma dessas matrizes (Figuras 5.11 e 5.12) são apresentados, respectivamente, na Figura 5.13 (matriz conservadora, arranjo 1), Figura 5.14 (matriz conservadora, arranjo 2), Figura 5.15 (matriz não conservadora, arranjo 1) e Figura 5.16 (matriz não conservadora, arranjo 2).

A integração de dados realizada nesse estudo resultou em quatro diferentes mapas, que evidenciaram áreas com relações epidemiológicas entre a radiação natural devida ao radônio e a incidência de neoplasias. Assim, algumas conclusões referentes a cada mapa podem ser ressaltadas:

i) o mapa conservador do arranjo 1 (Figura 5.13) foi concebido para somente considerar as classes com menor valor e, portanto, é o mais conservador dentre os mapas. Esse mapa pode ser considerado como a evidência epidemiológica mais destacada em relação aos outros mapas (mais representativo). A sua representatividade está relacionada como o arranjo da matriz. A vantagem do uso desse arranjo é a filtragem automática realizada em decorrência da existência de classes extremas entre os **PIs**. O mapa da Figura 5.13 exemplifica bem essa característica, pois somente são destacados as classes que apresentam os mesmos valores, ou valores próximos das classes. Nesse mapa, as regiões destacadas pelas classes 3, 4 e 5 são as que apresentaram uma relação epidemiológica entre os **PIs** que pode ser considerada áreas de risco epidemiológico

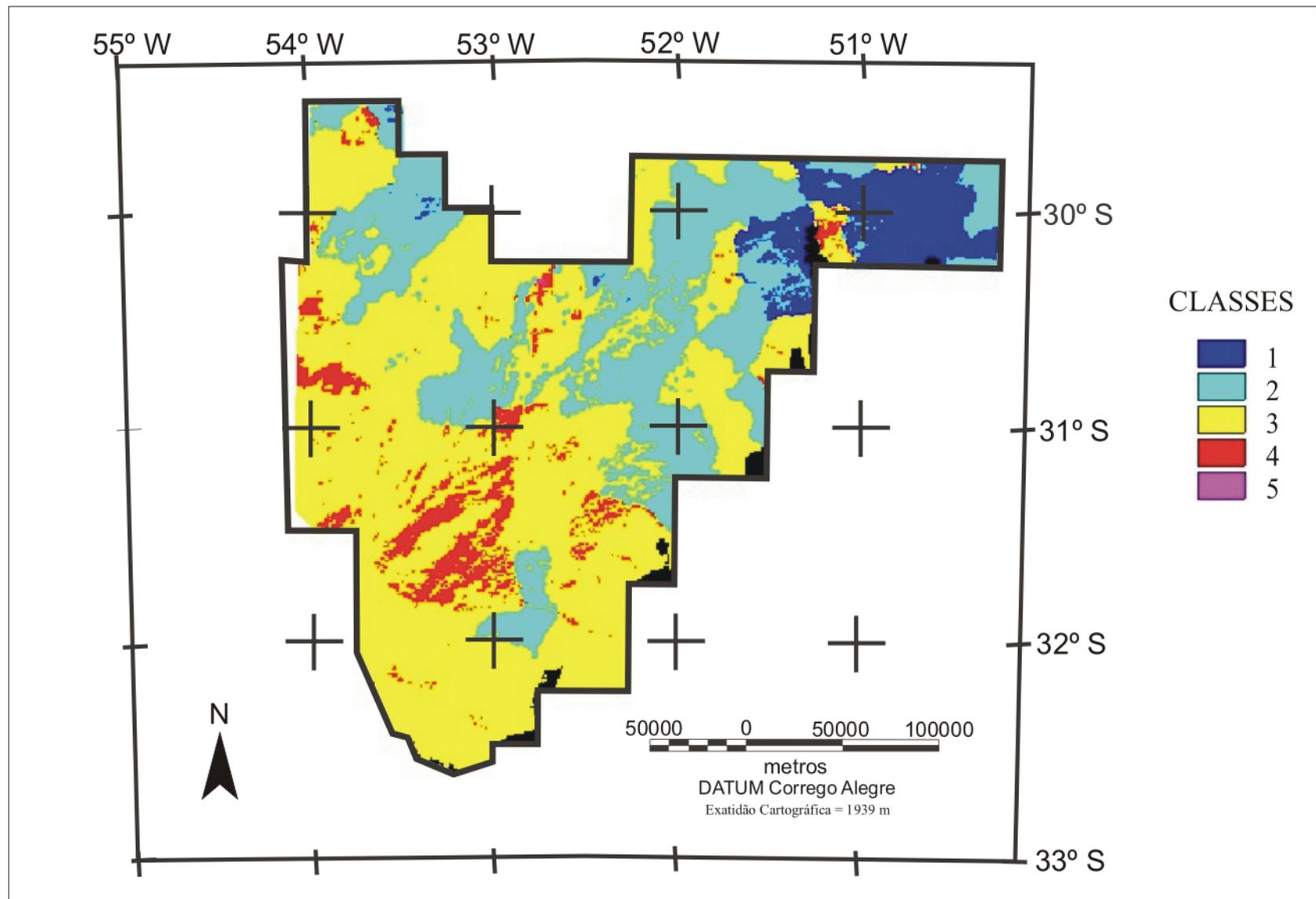


**Figura 5.13** – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz conservadora, arranjo 1.

ii) o mapa conservador do arranjo 2 (Figura 5.14) é mais sensível à variação das classes e também é o mais moderador. A desvantagem desse arranjo está relacionada exatamente com o seu aspecto moderador, que faz com que a classe mais baixa seja mascarada, principalmente quando umas das classes dos **PIs** não apresentam uma boa correlação (nesse caso, o **PI** Neoplasia). O mapa resultante desse arranjo é ilustrado na Figura 5.14 e apresenta-se semelhante aquele da Figura 5.13, mas com ênfase no **PI** Neoplasia. Nesse mapa, todas as regiões que estão na classe 3 ou acima deveriam ser tecnicamente consideradas áreas epidemiológicas; mas, em virtude da característica do **PI** Neoplasia, os valores da classe 3 são considerados duvidosos no aspecto da relação epidemiológica. Entretanto, as classes 4 e 5 podem ser consideradas regiões de forte relação epidemiológica entre a radiação natural devida ao radônio e as neoplasias;

iii) o mapa não conservador do arranjo 1 (Figura 5.15) é considerado o mapa não conservador ao extremo. A vantagem do uso desse arranjo de matriz é a independência das características de cada **PI**, pois a classe mais alta dentre os **PIs** é considerada como prioridade da nova classe. Nesse arranjo, as diferenças extremas entre as classes dos **PIs** são absorvidas pela classe mais alta. Por exemplo: se o **PI** Neoplasia estiver na classe 1 e o **PI** Gamaespectrometria na classe 4, a classe resultante será 4; entretanto, se o **PI** Neoplasia estiver na classe 3 e o **PI** Gamaespectrometria continuar na classe 4, a classe resultante sempre obedecerá à classe mais alta. A desvantagem desse arranjo está relacionada com o aspecto temático do **PI** Neoplasia, que capta a totalidade da população do município. No mapa da Figura 5.15, observa-se que a divisa municipal é bem marcada devido ao aspecto do **PI** Neoplasia. Assim, esse mapa é melhor visualizado em zonas de proximidade da sede municipal;

iv) o mapa não conservador arranjo 2 (Figura 5.16) é pouco sensível às variações das classes, mas com um argumento não conservador. A vantagem desse arranjo é o aspecto não conservador, que amplia as regiões que podem apresentar alguma relação epidemiológica entre os casos de neoplasias e a radiação natural devida ao radônio. A desvantagem desse arranjo está relacionada com o mascaramento das classes baixas (1, 2 e 3), devido ao arredondamento para valores mais altos na nova classe.



**Figura 5.14** – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz conservadora, arranjo 2.

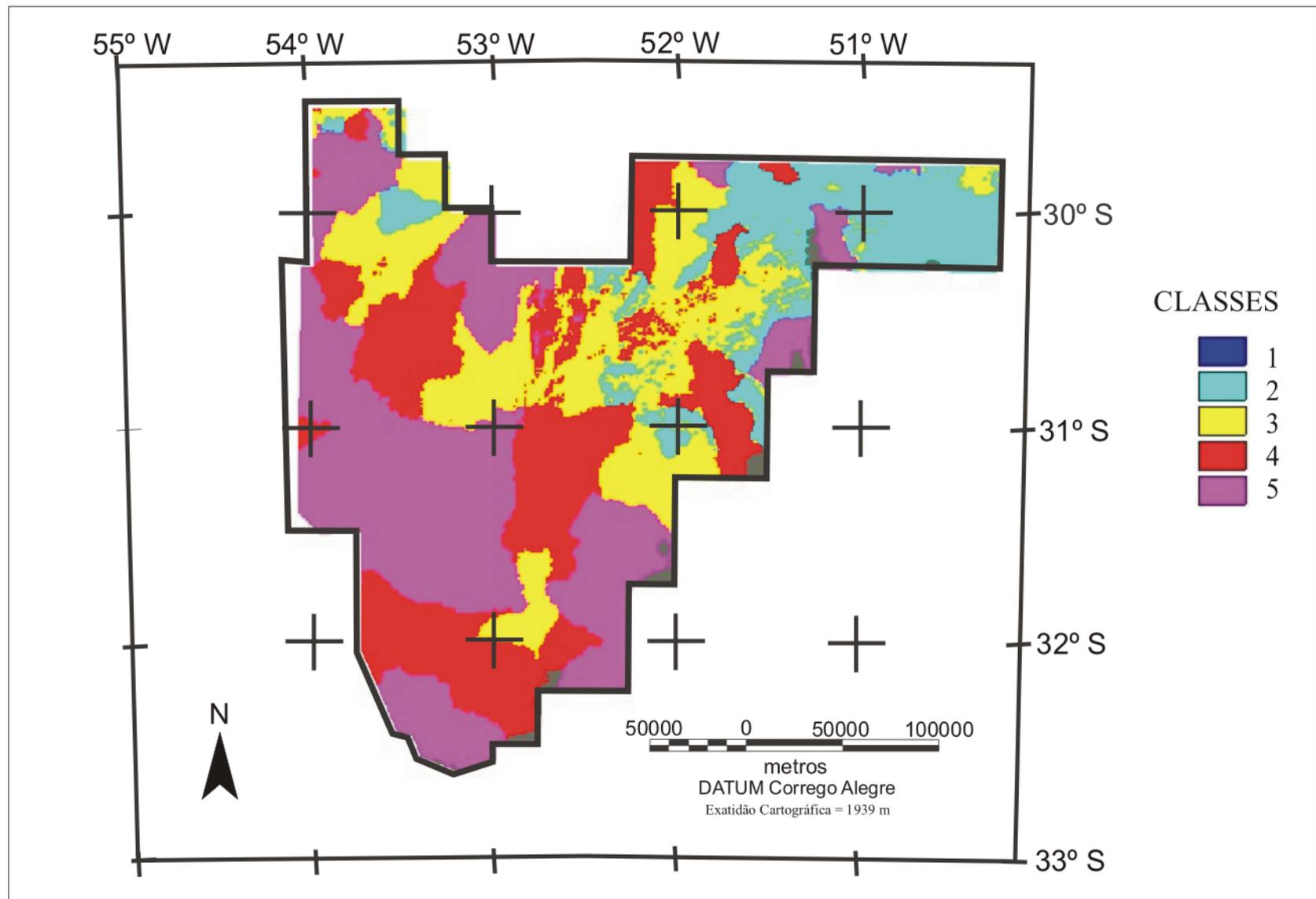
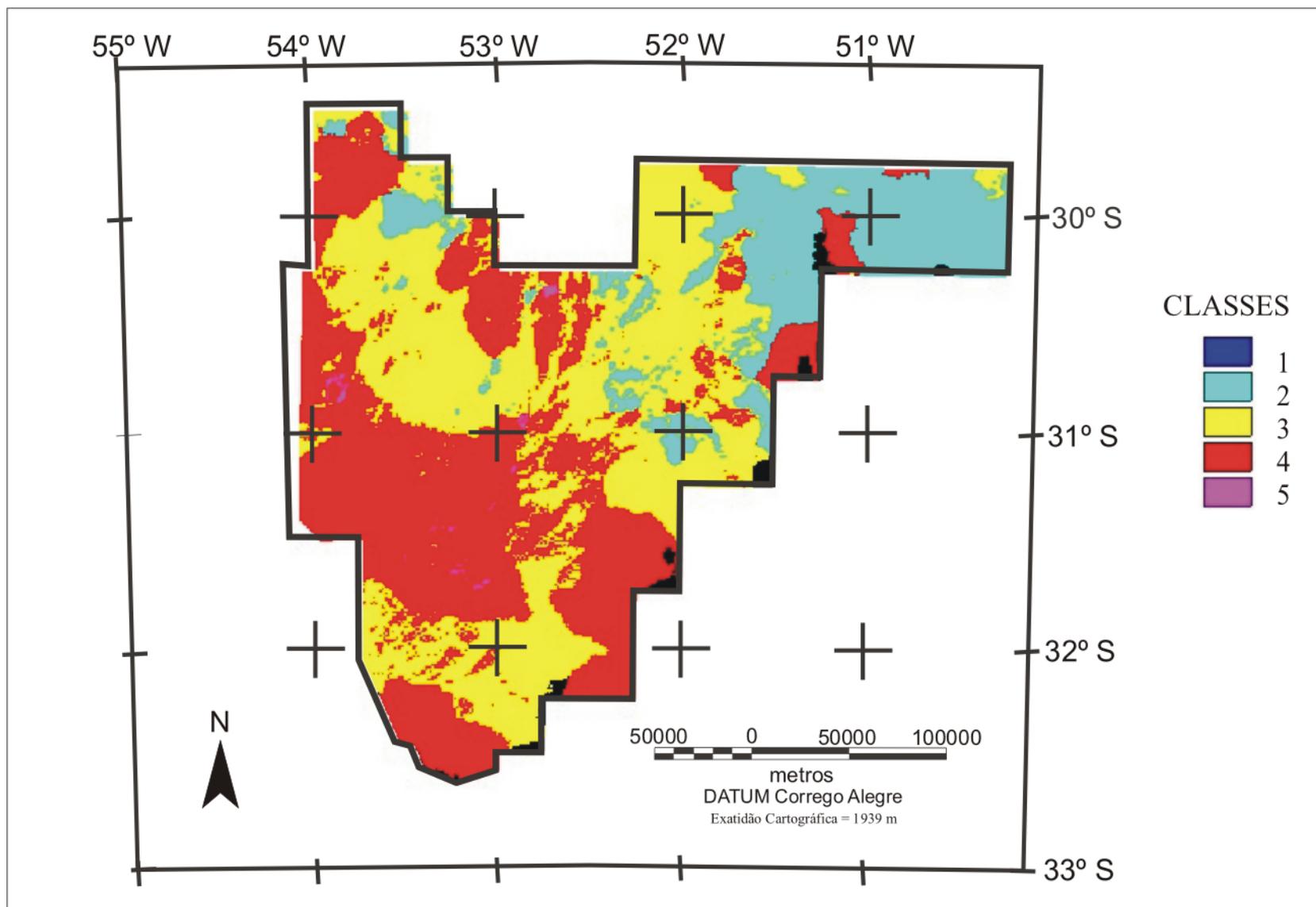


Figura 5.15 – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz não conservadora, arranjo 1.



**Figura 5.16** – Mapa de integração de dados de neoplasias e de radiação natural (U+Th) elaborado a partir de uma matriz não conservadora, arranjo 2.

---

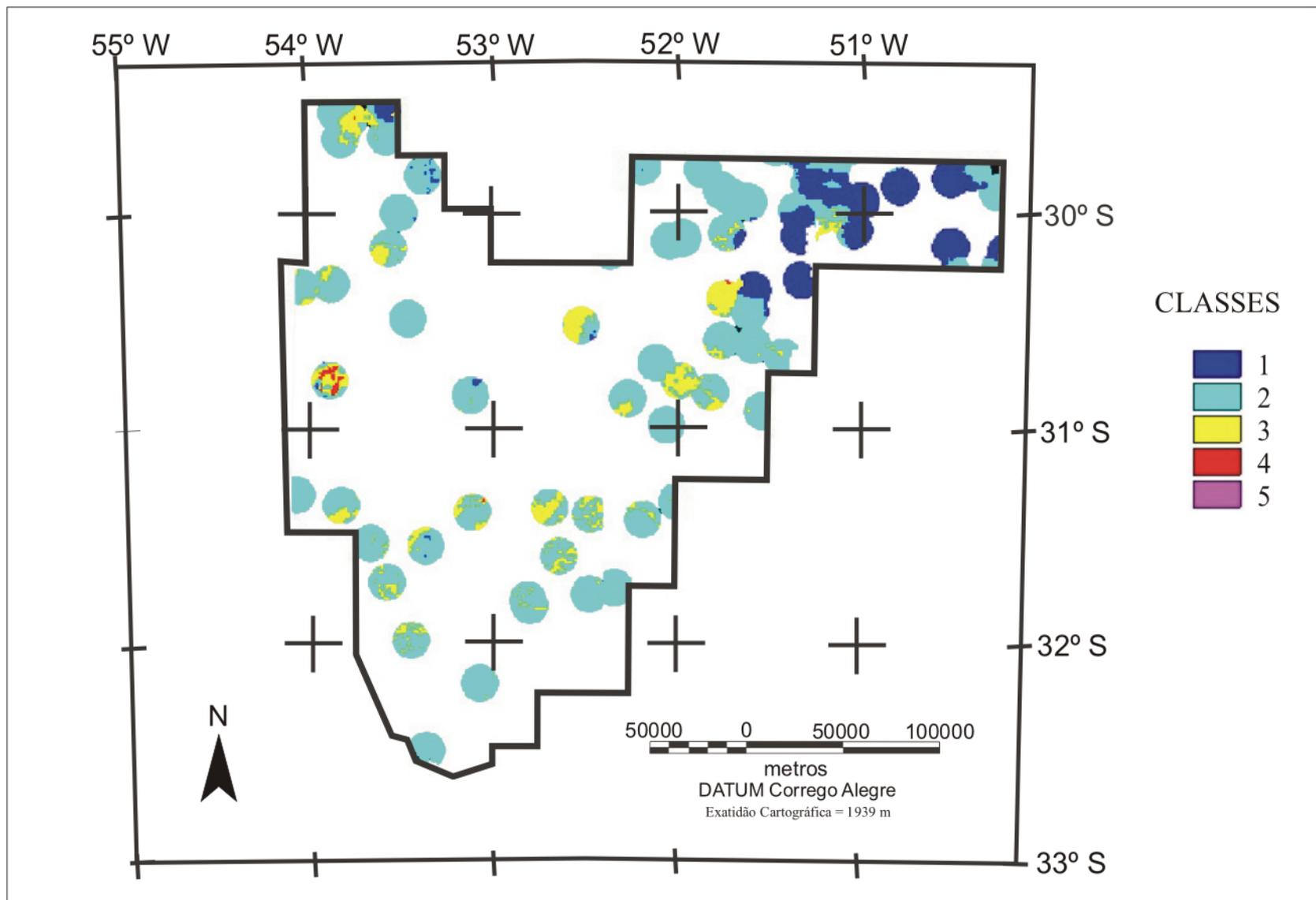
A integração de dados por matriz de superposição, em qualquer dos arranjos, resultou em novas classes, que constituem elemento de avaliação relativa das condições epidemiológicas determinadas pela radiação natural (radônio). Assim, as classes 1 e 2 foram consideradas áreas com fraco caráter epidemiológico; ou seja, áreas em que um detalhamento da condição epidemiológica por radiação natural pode ser relegado a um segundo plano. As áreas que correspondem às classes 3, 4 e 5 apresentam um caráter epidemiológico significativo. Entretanto, as áreas classificadas como as classes 4 e 5 possuem um caráter epidemiológico forte e são consideradas como locais onde se deve realizar um levantamento detalhado, tanto com dados radiométricos, como com os casos de neoplasias.

Várias zonas urbanas estão dentre as regiões que apresentam uma forte relação epidemiológica entre as variáveis neoplasias e radiação natural (radônio). Isso ocorre devido ao fato da população estar concentrada numa região espacialmente pequena, principalmente quando a sede municipal está situada sobre uma unidade geológica que apresenta grande incidência de radiação natural. Deve-se salientar que, a concentração populacional nas zonas urbanas resulta num maior peso estatístico sobre os casos de neoplasia quando comparado à zona rural. Isso significa que, do ponto de vista da produção de radiação natural (radônio), as zonas rurais localizadas sobre unidades geológicas com grande concentração de elementos radioativos são passíveis de comportar uma alta incidência de casos de neoplasias; entretanto, a sua concentração populacional é pequena e, assim, o caráter epidemiológico fraco. Uma avaliação espacialmente mais detalhada do caráter epidemiológico do Escudo Sul-riograndense, nesse momento, envolveria a determinação mais precisa da residência principal de vítimas de neoplasias (p.ex.: discriminação de CEPs entre zonas rurais e urbanas, e mesmo entre diferentes regiões dentro da zona rural, como distritos, vilas, etc...). Num segundo momento, o detalhamento geológico e radiométrico podem fornecer novos elementos para a análise das condições epidemiológicas regionais.

Um mapa de proximidade pode ser uma ferramenta adequada para a compreensão da integração entre o **PI** Neoplasia e **PI** Gamaespectrométrico, já que permite fazer uma simulação dos resultados para a zona urbana num raio de 10 km das coordenadas centrais da sede municipal. Essa técnica foi aplicada sobre os mapas das Figuras 5.13 e 5.15 e pode ser visto respectivamente nas Figuras 5.17 e 5.18. A escolha desses mapas está relacionada com a representatividade dos resultados da modelagem empregada (conservadora e não conservadora).

---

A integração de dados para avaliação das condições epidemiológicas ficou restrita ao Escudo Sul-riograndense, como já discutido, e desconsiderou a maior área do estado do Rio Grande do Sul. Essa área é formada principalmente pelo Planalto da Serra Geral, que é composto pelos derrames de platô da Fm. Serra Geral (basaltos, dacitos e arenitos interderrames). A existência de registros de neoplasias para essa área permite apenas uma avaliação da sua distribuição espacial, com foco na concentração urbana da população. A avaliação das condições epidemiológicas, no entanto, necessita dos dados geológicos e radiométricos.



**Figura 5.17** – Mapa de proximidade às sedes municipais, com raio de 10 km, construído a partir do mapa de integração mais conservadora figura 5.15..

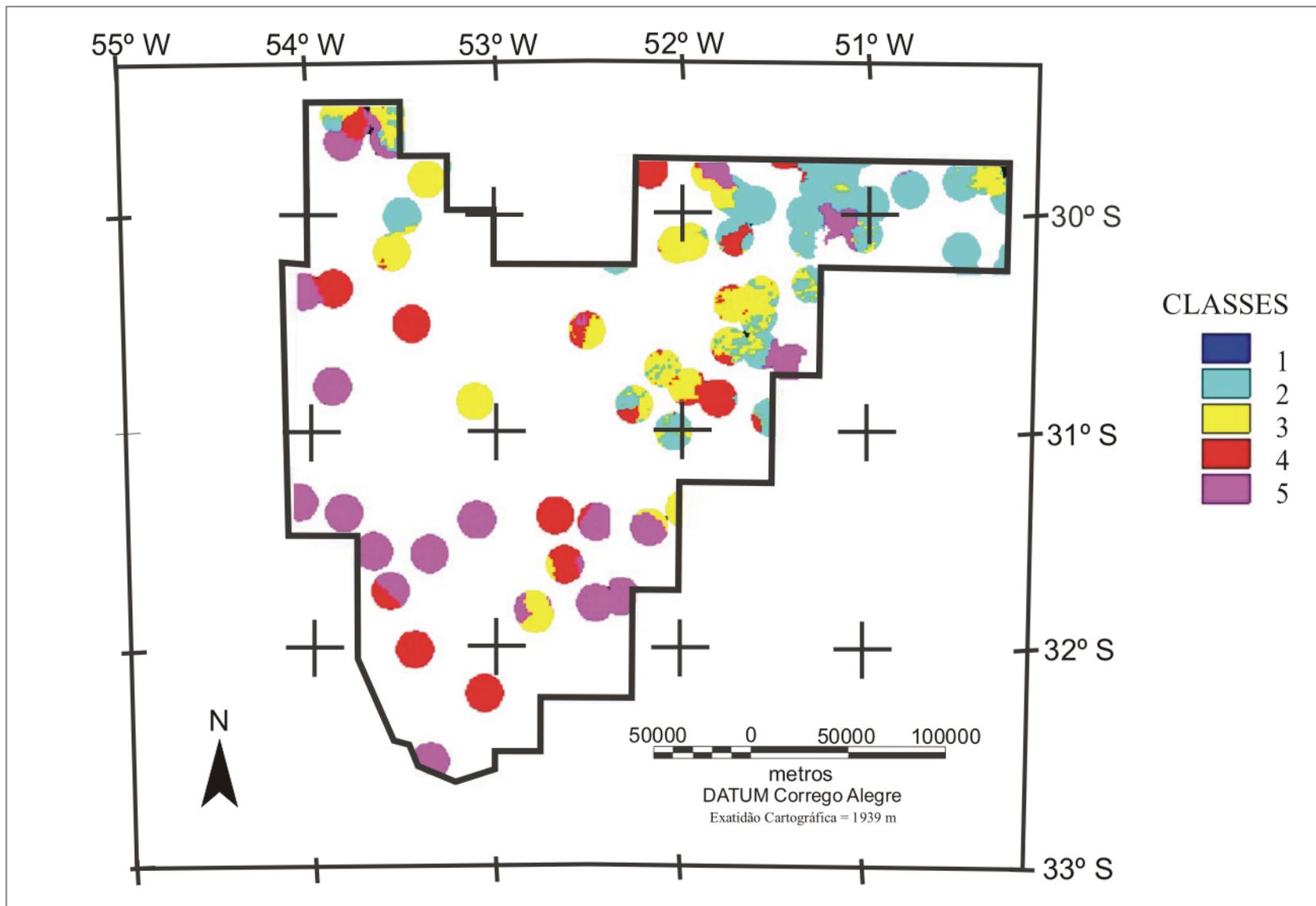


Figura 5.18 – Mapa de proximidade às sedes municipais, com raio de 10 km, construído a partir do mapa de integração mais não conservadora figura 5.17.

---

## CAPITULO 6

### *CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES*

Um dos principais problemas dos efeitos da radiação na saúde humana está relacionado à exposição interna, ou seja, aquela caracterizada pela inalação ou ingestão dos radionuclídeo. Em qualquer caso, o efeito final produzido pela radiação no corpo é a lesão que promove na célula. A preocupação com os efeitos que a radiação ocasiona na saúde humana, mais especificamente a radiação produzida pelo gás radônio, tem deixado autoridades sanitárias dos Estados Unidos e de alguns países europeus preocupados com os seus efeitos. Essa preocupação está relacionada com o acúmulo de radiação no interior das casas, principalmente nas partes baixas, por onde normalmente se acumula o gás radônio.

A importância da ventilação em locais fechados é dada como uma das prioridades na minimização dos efeitos da radiação que ocorre dentro de prédios e de residências e que podem vir a causar danos à saúde (Lugg & Problert, 1997). A concentração de gás radônio em residências, principalmente no período noturno, está associada à necessidade de manter o local fechado. Por outro lado, manter o local arejado poderá fazer com que o gás radônio seja dissipado para o meio ambiente.

No aspecto histórico dos efeitos promovidos pela radiação, acredita-se que o péssimo estado do telhado onde estava localizado o laboratório da Sra. Marie Curie tenha ajudado na ventilação do local (Murray, 1965; Wher, 1961). Isso deve ter proporcionado um baixo acúmulo de gás radônio no ambiente; porém, não o suficiente para evitar a leucemia na Sra. Marie Curie.

Estima-se que, no Reino Unido, dos 41 mil casos de câncer por ano, 6% esteja relacionada aos efeitos da radiação natural devida ao radônio (Clarke & Southwood, 1989). Entretanto, a avaliação dos efeitos provocados pelo gás radônio na saúde, conforme elaborada pela EPA e que está apoiada no relatório de incidência de câncer em mineiros da BEIR, aponta algumas incertezas, principalmente aquelas relacionadas com a causa/origem da

---

---

neoplasia (Reis, 2000). As incertezas relativas à causa/origem dizem respeito ao mapeamento e à veracidade dos casos de neoplasias (Abelson, 1990). A associação entre a radiação natural com os casos de neoplasias é sempre suspeitável (estimado), porque a absorção da radiação pelo indivíduo ocorre durante todo o seu período da vida e nem sempre ele é fixo num único local.

As variáveis implicadas na análise da veracidade da causa/origem da neoplasia em relação à radiação são diversas. Mesmo duas pessoas que tenham vivido durante a sua vida numa mesma residência bem arejada, onde há evidência de gás radônio, poderá manifestar comportamentos distintos: uma terá câncer, enquanto a outra não. Observe-se que entre as variáveis implicadas para a existência de câncer estão: a carga genética do indivíduo e o seu comportamento individual. Essas são algumas das variáveis que geram a incerteza quanto à possibilidade de afirmar que os efeitos da radiação emanada pelo gás radônio são responsáveis por alguns casos de neoplasias. Entretanto, o gás radônio é um elemento radioativo existente no ambiente e a sua radiação promove lesões nas células. Esse é o melhor argumento sobre os possíveis danos ocasionados pela radiação do radônio; mas, o difícil é conseguir 100% de comprovação.

Os fatores que influenciam na flutuabilidade da concentração de gás radônio no ambiente são: a estação do ano, a variação diurna e a influência geológica (Bolinder *et al.*, 1991). Para o estado do Rio Grande do Sul, não existe, até o momento, um estudo sobre essa flutuabilidade do gás radônio, no aspecto da associação entre a estação do ano e a variação diurna. Entretanto, o estudo da influência geológica como evidência espacial do gás radônio no Estado do Rio Grande do Sul foi realizado com base na relação direta entre o desequilíbrio radioativo e a propriedade comum das séries dos elementos radioativos no levantamento aerogamaespectrométrico. O resultado da influência geológica na radiação é um mapa com uma escala de intensidade de radiação referente à unidade litológica, que, segundo a análise de correlação quantitativa, apresentou uma boa correlação entre a geologia e os dados de gamaespectrometria.

No contexto geral, um local fechado é considerado o melhor lugar para a introdução do gás radônio no ambiente doméstico. No Estado do Rio Grande do Sul, as condições climáticas, devidas à sua localização geográfica, proporcionam alguns períodos do ano com climas frios. Associado com o frio, um outro fator de grande influência no estado são os ventos fortes, que ocorrem do oeste e do sudeste. Essas condições meteorológicas fazem com que muitos locais, principalmente as residências, fiquem ou permaneçam fechadas por

---

um longo tempo. Esse costume deixa esses locais pouco arejados, o que pode proporcionar o acúmulo de gás radônio no ambiente.

Alguns dos efeitos ocasionados pela radiação não são necessariamente a destruição da célula, mas o efeito colateral ocasionado; um desses efeitos pode ser descrito como fator psicológico (Helou & Costa, 1995). O efeito psicológico é ocasionado pela expressão “risco epidemiológico”, que ocasiona a mudança de sentimentos e a mudança no comportamento social. As mudanças de sentimento são: o medo, a tristeza, a angústia, a depressão, a ansiedade e a revolta e raiva. A mudança social refere-se ao aspecto de “*status* de vítima”, que deixa o homem fragilizado sob a influência do ambiente, já que cabe a ele a adaptação ao meio (Darwin, 2000).

A obtenção de dados para o estudo epidemiológico de radiação natural defrontou com problemas de qualidade dos dados que foram usados no estudo, especialmente os dados geológicos do estado: foi verificada a falta do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) no Mapa Geológico do Estado. A exatidão cartográfica estabeleceria a validação espacial dos dados geológicos, ou seja, dos contatos litológicos. A exatidão cartográfica do mapa original foi estimada em relação à escala do mapa, sem considerar o erro da compilação. Assim, 1 mm no mapa equivale a 1 km na realidade, o que corresponde a um erro mínimo de 0.25 km do mapa em relação ao traço mais fino, e 0.75 km no traço mais espesso para a escala 1:1000000 do Mapa Geológico. A exatidão cartográfica aproximada para o estudo foi apresentada pela soma da exatidão do processo de aquisição, que é 1439 metros, mais o erro mínimo do traço mais fino. Isso resultou uma exatidão cartográfica para os dados vetoriais de 1659 m.

Com relação aos interpoladores para os dados de gamaespectrometria, pode-se dizer que sempre ocorrem perdas e ganhos nesse procedimento; é, portanto, difícil escolher um procedimento de interpolação “mais adequado”. A interpolação por curvatura mínima foi aplicada devido ao contexto anisotrópico da geologia existente na área de estudo e apresentou um resultado visual condizente com as feições do mapa geológico. Entretanto, o uso de outros interpoladores não é descartado como uma opção futura no tratamento dos dados gamaespectrométricos, principalmente em regiões menores que apresentem pouca anisotropia.

A integração de dados empregou o método da matriz de sobreposição, pois é mais simples e de fácil manuseio, quando comparada a outros métodos como: a sobreposição indexada, a lógica *fuzzy*, e outras. O método da matriz de sobreposição está relacionado basicamente com o número de PIs empregados (dois), com o resultado rápido da integração e

---

---

com a vantagem de se usar o conhecimento para elaborar a forma de integração. Entretanto, o aspecto negativo desse método está relacionado com o excesso de influência do conhecimento.

A integração de dados de neoplasias e de gamaespectrometria por meio do método da matriz de sobreposição mostra a existência de uma boa correlação; ou seja, os dados de neoplasias apresentam uma resposta similar com a radiação natural (radônio) em relação à ordem de grandeza. São observadas, nos resultados, algumas localidades cuja integração salienta áreas de risco acima da taxa de absorção tolerável estipulada nesse estudo. Entretanto, o “estado da arte” dos dados de neoplasias e de gamaespectrometria, bem como mudanças do limite tolerável e seguro de taxa de absorção da radiação, pode promover algumas flutuações no resultado, o que sugere estudos adicionais.

Também deve ser salientado que estudos sobre radiação ionizante, quando aplicada em baixas doses, vem sendo usado como estimuladores (hormese) em culturas de células, bactérias, plantas e animais. Segundo Giurlani (1997). “*Os trabalhos .(hormese). sempre esbarraram num ceticismo e na premissa básica de que não há valor mínimo além do qual a radiação passa a ser prejudicial.*”; mas, isso está mudando. Entretanto, organismos oficiais de prevenção radiológica ainda estão se mantendo neutros quanto a essa questão.

Recomendações para um estudo mais aprofundado sobre uma avaliação ambiental de radiação natural no Estado do Rio Grande do Sul e no Brasil:

- definição de departamento ou comitê, tanto em nível federal, como estadual e municipal, com o objetivo de realizar o monitoramento da radiação natural (gás radônio) em áreas habitadas, bem como o trabalho de prevenção e orientação;
- estudo aprofundado de radiação natural presente nos materiais de construção empregados no Brasil, bem como no controle de radiação existente nesses materiais, e determinação de graus de periculosidade;
- controle mais dinâmico da contribuição de radioatividade natural proveniente de solos formados por rochas que apresentam alguma potencialidade epidemiológica. Essa sugestão também foi formulada por Souza (1998);
- atualização do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, usando como base de mapeamento os dados gamaespectrométricos;
- controle de gás radônio presente nas águas usadas nas áreas habitadas, especialmente aquelas usadas de poços artesianos, e nas águas que não possuem tratamento;

- 
- estudo da radiação natural em plantas de consumo humano. Um mapeamento contínuo e sistemático em plantas oriundas de fertilizantes com algum potencial de radiação e dos possíveis efeitos que possam proporcionar;
  - estudo da implicação da radiação natural em animais usados no consumo humano. O mesmo questionamento pode ser estabelecido para a influência da radiação natural na fauna e na flora local;
  - determinação de graus de “risco epidemiológico” mais concisos, ou seja, determinar e especificar o que é dose letal da dose aceitável;
  - levantamento gamaespectrométrico em outras áreas do estado, especialmente sobre as rochas da Fm. Serra Geral, com o objetivo de avaliação epidemiológica;
  - análise estatística mais aprofundada no banco de dados de neoplasias da Secretaria de Saúde, e possibilidade de análise pontual dos casos de neoplasia, desde que identificados pelo local (endereço).

Observa-se que os estudos sobre a influência da radiação natural em seres humanos são o resultado de um levantamento de longo prazo e que normalmente rompe a barreira da vida de um pesquisador; ou seja, essas pesquisas transcendem as gerações de pesquisadores do estudo de radiação. A incerteza dos efeitos produzidos pela radiação do gás radônio está associada com o pouco entendimento e conhecimento dos efeitos dessa radiação natural, pois o conhecimento atual dos efeitos da radiação é proveniente de usinas nucleares (Pittsburgh, 2002) e de alguns testes bélicos. Nesse aspecto, a existência de pesquisadores céticos e conservadores mostra que ainda é necessária a continuidade da pesquisa, com o objetivo de auxiliar a compreensão dos reais efeitos produzidos pela radiação natural do gás radônio.

## ANEXO 1

Classificação Internacional de doenças do tipo neoplasias (tumores) SID – 9, identificadas pelo grupo.

Grupo	CID 9	Tipo de Neoplasia
NG01	140.0	Do lábio superior
	140.1	Do lábio inferior
	140.3	Do lábio superior
	140.4	Do lábio inferior
	140.5	Do lábio
	140.6	Da comissura labial
	140.8	Outro
	140.9	Do lábio
	141.0	Da base da língua
	141.1	Da face dorsal da língua
	141.2	Da ponta e bordas laterais da língua
	141.3	Da face ventral da língua
	141.4	Dos dois terços anteriores da língua
	141.5	Da zona de transição
	141.6	Amígdala lingual
	141.8	Outro
	141.9	Língua
	142.0	Da glandula parótida
	142.1	Da glandula submandibular
	142.2	Da glandula sublingual
	142.8	Outro
	142.9	De localização não especificada
	143.0	Da gengiva superior
	143.1	Da gengiva inferior
	143.8	Outro
	143.9	Da gengiva
	144.0	Da parte anterior
	144.1	Da parte lateral
	144.4	Código inválido - fora da CID
	144.8	Outro
	144.9	De parte não especificada
	145.0	Da mucosa da bochecha
	145.1	Do vestíbulo da boca
	145.2	Do palato duro
	145.3	Do palato mole
	145.4	Da úvula
	145.5	Do palato

---

NG01	145.6	Da área retromolar
	145.8	Outro
	145.9	Da boca
	146.0	Da amígdala
	146.1	Da fossa amígdaliana
	146.2	Dos pilares amígdalianos (anter) (poster)
	146.3	Da valecula epiglótica
	146.4	Da superfície anterior da epiglote
	146.5	Da região funcional
	146.6	Da parede lateral da orofaringe
	146.7	Da parede posterior da orofaringe
	146.8	Outro
	146.9	Da orofaringe
	147.0	Da parede superior
	147.1	Da parede posterior
	147.2	Da parede lateral
	147.3	Da parede anterior
	147.8	Outro
	147.9	Da nasofaringe
	148.0	Da região pós-cricóide
	148.1	Do seio piriforme
	148.2	Da prega ari-epiglótica
	148.3	Da parede hipogaringeia posterior
	148.8	Outro
	148.9	Da hipofaringe
	149.0	Da faringe
	149.1	Do anel de Waldeyer
	149.8	Outro
	149.9	Localizações mal definidas
	150.0	Da porção cervical
	150.1	Da porção torácica
	150.2	Da porção abdominal
	150.3	Do terço superior
	150.4	Do terço médio
	150.5	Do terço inferior
150.7	Código inválido - fora da CID	
150.8	Outro	
150.9	Do esôfago	
NG02	151.0	Do cárdia
	151.1	Do piloro
	151.2	Do antro pilórico
	151.3	Do fundo do estômago
	151.4	Do corpo do estômago
	151.5	Da pequena curvatura
	151.6	Da grande curvatura
	151.8	Outros
	151.9	Do estômago
	NG03	152.0
152.1		Do jejuno
152.2		Do íleo
152.3		Do divertículo de Meckel
NG03	152.8	Outro

---

	152.9	Do intestino delgado
	153.0	Da flexura hepática
	153.1	Do cólon transverso
	153.2	Do cólon descendente
	153.3	Do cólon sigmóide
	153.4	Do ceco
	153.5	Do apêndice
	153.6	Do cólon ascendente
	153.7	Da flexura esplênica
	153.8	Outros
	153.9	Do cólon
	154.0	Da junção reto-sigmóide
	154.1	Do reto
	154.2	Do canal anal
	154.3	Do ânus
	154.8	Outro
Excluído	154.9	Código inválido - fora da CID
NG04	155.0	Do fígado
	155.1	Das vias biliares intra-hepáticas
	155.2	Do fígado
	155.9	Código inválido - fora da CID
	156.0	Da vesícula biliar
	156.1	Das vias biliares extra-hepáticas
	156.2	Da ampola de vater
	156.8	Outro
	156.9	Das vias biliares
	157.0	Da cabeça do pâncreas
	157.1	Do corpo do pâncreas
	157.2	Da cauda do pâncreas
	157.3	Do canal pancreático
	157.4	Das ilhotas de langerhans
	157.8	Outro
	157.9	De porção não especificada
Excluído	158.0	Do retroperitônio
	158.8	De porções especificadas do peritônio
	158.9	Do peritônio
	159.0	Do trato intestinal
	159.1	Do baco
	159.8	Outro
	159.9	Mal definido
	160.0	Das fossas nasais
	160.1	Da trompa auditiva
	160.2	Do seio maxilar
	160.3	Do seio etmoidal
	160.4	Do seio frontal
	160.5	Do seio esfenoidal
	160.8	Outro
	160.9	De seio acessório
NG05	161.0	Da glote
	161.1	Da supraglote
NG05	161.2	Da subglote
	161.3	Das cartilagens da laringe

---

	161.8	Outro
	161.9	Da laringe
	162.0	Da traquéia
	162.1	Código inválido - fora da CID
	162.2	Do brônquio principal
	162.3	Do lobo superior
	162.4	Do lobo médio
	162.5	Do lobo inferior
	162.8	Outro
	162.9	De brônquio ou pulmão
Excluído	163.0	Da pleura parietal
	163.1	Da pleura visceral
	163.8	Outro
	163.9	Da pleura
	164.0	Do timo
	164.1	Do coração
	164.2	Do mediastino anterior
	164.3	Do mediastino posterior
	164.8	Outro
	164.9	Do mediastino
	165.0	Do trato respiratório superior
	165.4	Código inválido - fora da CID
	165.8	Outro
	165.9	De localiz mal definidas aparelho respirat
	170.0	Dos ossos do crânio e da face
	170.1	Da mandíbula
	170.2	Da coluna vertebral
	170.3	Das costelas
	170.4	Dos ossos longos membro superior e omoplata
	170.5	Dos ossos curtos do membro superior
	170.6	Dos ossos da pelve
	170.7	Dos ossos longos do membro inferior
	170.8	Dos ossos curtos do membro inferior
	170.9	De localização não especificada
	171.0	Da cabeça
	171.2	Do membro superior
	171.3	Do membro inferior
	171.4	Do tórax
	171.5	Do abdome
	171.6	Da pelve
	171.7	Do tronco
	171.8	Outro
	171.9	De localização não especificada
	172.0	Dos lábios
	172.1	Das pálpebras
	172.2	Da orelha e conduto auditivo externo
	172.3	De outra partes e partes não especifica da face
	172.4	Do couro cabeludo e do pescoço
	172.5	Do tronco
Excluído	172.6	Do membro superior
	172.7	Do membro inferior
	172.8	Outro

---

---

	172.9	De localização não especificada
	173.0	Da pele dos lábios
	173.1	Das pálpebras
	173.2	Da orelha e do conduto auditivo externo
	173.3	Da pele de outras partes e partes não especifica
	173.4	Do couro cabeludo e da pele do pescoço
	173.5	Da pele do tronco
	173.6	Da pele do membro superior
	173.7	Da pele do membro inferior
	173.8	Outro
	173.9	Da pele
	174.0	Do mamilo e da aréola da mama
	174.1	Da porção central
	174.2	Do quadrante superior interno
	174.3	Do quadrante inferior interno
	174.4	Do quadrante superior externo
	174.5	Do quadrante inferior externo
	174.6	Do prolongamento axilar da mama
	174.8	Outro
	174.9	Da mama
	175	Neoplasma maligno da mama masculina
	179	Neoplasma maligno do útero
	180.0	Da endocervice
	180.1	Da exocervice
	180.8	Outro
	180.9	Do colo do útero
	181	Neoplasma maligno da placenta
	182.0	Do corpo do útero
	182.1	Do istmo do útero
	182.8	Outro
	182.9	Código inválido - fora da CID
	183.0	Do ovário
	183.2	Da trompa de falópio
	183.3	Do ligamento largo
	183.4	Do paramétrio
	183.5	Do ligamento redondo
	183.8	Outro
	183.9	Dos anexos do útero
	184.0	Da vagina
	184.1	Dos grandes lábios
	184.2	Dos pequenos lábios
	184.3	Do clitóris
	184.4	Da vulva
	184.8	Outro
	184.9	Localização não especificada
	185	Neoplasma maligno da próstata
	186.0	De testículo não descido
	186.9	De outro e não especificado
Excluído	187.1	Do prepúcio
	187.2	Da glândula do pênis
	187.3	Do corpo do pênis
	187.4	Do pênis

---

	187.5	Do epidídimo
	187.6	Do cordão espermático
	187.7	Do escroto
	187.8	Outro
NG06	187.9	De localização não especificada
	188.0	Do trigono
	188.1	Da porção superior
	188.2	Da parede lateral
	188.3	Da parede anterior
	188.4	Da parede posterior
	188.5	Do colo da bexiga
	188.6	Do orifício ureteral
	188.7	Do uraco
	188.8	Outro
Excluído	188.9	De porção não especificada
	189.0	Do rim
	189.1	Da pelve renal
	189.2	Do ureter
	189.3	Da uretra
	189.4	Das glândulas para-uretrais
	189.8	Outro
	189.9	De localização não especificada
	190.0	Do globo ocular
	190.1	Da órbita
	190.2	Da glandula lacrimal
	190.3	Da conjuntiva
	190.4	Da córnea
	190.5	Da retina
	190.6	Da coróide
	190.7	Do canal lacrimal
	190.8	Outro
NG07	190.9	De parte não especificada
	191.0	Do cérebro
	191.1	Do lobo frontal
	191.2	Do lobo temporal
	191.3	Do lobo parietal
	191.4	Do lobo occipital
	191.5	Do ventrículo
	191.6	Do cerebelo
	191.7	Do tronco cerebral
	191.8	Outro
	191.9	Do encéfalo
	192.0	Dos nervos cranianos
	192.1	Das meninges encefálicas
	192.2	Da medula espinhal
	192.3	Das meninges espinhais
	192.8	Outro
NG07 excluído	192.9	De parte não especificada
	193	Neoplasma maligno da glandula tireóide
	194.0	Da glandula supra-renal
	194.1	Das paratireóides
	194.3	Da hipófise e conduto craniofaringeu

	194.4	Do corpo pineal
	194.5	Do glomo carotídeo
	194.6	Do corpusc ou corpo aortico e outra paragangl
	194.8	Outros
	194.9	De localização não especificada
	195.0	Da cabeça
	195.1	Do tórax
	195.2	Do abdome
	195.3	Da pelve
	195.4	Do membro superior
	195.5	Do membro inferior
	195.8	De outras localizações especificadas
	195.9	Código inválido - fora da CID
	196.0	Da cabeça
	196.1	Intratoracicos
	196.2	Intra-abdominais
	196.3	Axilares e do membro superior
	196.5	Inguinais e do membro inferior
	196.6	Intrapelvicos
	196.8	De localizações múltiplas
	196.9	De localização não especificada
	197.0	Do pulmão
	197.1	Do mediastino
	197.2	Da pleura
	197.3	De outros órgãos respiratórios
	197.4	Do intestino delgado
	197.5	Do intestino grosso e do reto
	197.6	Do peritônio e retroperitônio
	197.7	Do fígado
	197.8	De outros órgãos do aparelho digestivo
	198.0	Dos rins
	198.1	De outros órgãos do aparelho urinário
	198.2	Da pele
	198.3	Do encéfalo e medula espinhal
	198.4	De outras partes do sistema nervoso
	198.5	Dos ossos e da medula óssea
	198.6	Do ovário
	198.7	Da glandula supra-renal
	198.8	De outras localizações especificadas
	199.0	Disseminado
	199.1	Outros
	199.9	Código inválido - fora da CID
NG08	200.0	Reticulossarcoma
	200.1	Linfossarcoma
	200.2	Tumor de burkitt
	200.8	Outras variações de designação
Excluído	200.9	Código inválido - fora da CID
	201.0	Paragranuloma de hodgkin
	201.1	Granuloma de hodgkin
Excluído	201.2	Sarcoma de hodgkin
	201.4	Predominância linfocitico-histiocitica
	201.5	Esclerose nodular

	201.6	Celularidade mista
	201.7	Depleção linfocítica
	201.9	Sem especificação
NG08	202.0	Linfoma nodular
	202.1	Micose fungóide
	202.2	Doença de sezary
	202.3	Histiocitose maligna
	202.4	Reticuloendoteliose leucêmica
	202.5	Doença de letterer-siwe
	202.6	Tumores malignos dos mastocitos
	202.8	Outros linfomas
Excluído	202.9	Outros e os não especificados
NG09	203.0	Mieloma múltiplo
	203.1	Leucemia de plasmocitos
	203.8	Outros neoplasmas imunoproliferativos
Excluído	203.9	Código inválido - fora da CID
NG10	204.0	Aguda
	204.1	Crônica
	204.2	Subaguda
	204.8	Outra
	204.9	Não especificada
	205.0	Aguda
	205.1	crônica
	205.2	Subaguda
	205.3	Sarcoma mielóide
	205.8	Outra
	205.9	Não especificada
	206.0	Aguda
	206.1	crônica
	206.2	Subaguda
	206.8	Outra
	206.9	Não especificada
	207.0	Eritremia ou eritroleucemia aguda
	207.1	Eritremia crônica
	207.2	Leucemia megacariocítica
	207.8	Outra
	207.9	Código inválido - fora da CID
	208.0	Aguda
Excluído	208.1	crônica
	208.2	Subaguda
	208.4	Código inválido - fora da CID
	208.8	Outra
	208.9	Não especificada
	210.0	Dos lábios
	210.1	Da língua
Excluído	210.2	Das glândulas salivares maiores
	210.3	Do assoalho da boca
	210.4	De outra partes e partes não especifica da boca
	210.5	Das amídalas
	210.6	De outras porções da orofaringe
	210.7	Da nasofaringe
	210.8	Da hipofaringe

---

	210.9	Da faringe
	211.0	Do esôfago
	211.1	Do estomago
	211.2	Do intestino delgado
	211.3	Do cólon
	211.4	Do reto e do canal anal
	211.5	Do fígado e vias biliares
	211.6	Do pâncreas
	211.7	Das ilhotas de Lagerhans
	211.8	Do peritônio e do retroperitônio
	211.9	De outra localiz e localiz não especificadas
	212.0	Das fossas nasais
	212.1	Da laringe
	212.2	Da traquéia
	212.3	Dos brônquios e pulmões
	212.4	Da pleura
	212.5	Do mediastino
	212.6	Do timo
	212.7	Do coração
	212.8	De outras localizações especificadas
	212.9	De localizações não especificadas
	213.0	Dos ossos do crânio e da face
	213.1	Da mandíbula
	213.2	Da coluna vertebral
	213.3	Das costelas
	213.4	Dos ossos longos membro superior e omoplata
	213.5	Dos ossos curtos do membro superior
	213.6	Dos ossos pélvicos
	213.7	Dos ossos longos do membro inferior
	213.8	Dos ossos curtos do membro inferior
	213.9	De localização não especificada
	214	Lipoma
	215.0	Da cabeça
	215.2	Do membro superior
	215.3	Do membro inferior
	215.4	Do tórax
	215.5	Do abdome
	215.6	Da pelve
	215.7	Do tronco
	215.8	De outras localizações especificadas
	215.9	De localização não especificada
	216.0	Da pele do lábio
	216.1	Da pálpebra
	216.2	Do ouvido e do conduto auditivo externo
Excluído	216.3	Da pele outra parte não especifica face
	216.4	Do couro cabeludo e da pele do pescoço
	216.5	Da pele do tronco
	216.6	Da pele de membro superior
	216.7	Da pele de membro inferior
	216.8	Outro
	216.9	De localização não especificada
	217	Neoplasma benigno da mama

---

---

	218	Leiomioma uterino
	219.0	Do colo do útero
	219.1	Do corpo do útero
	219.8	De outras porções especificadas
	219.9	De porção não especificada
	220	Neoplasma benigno do ovário
	221.0	Da trompa e dos ligamentos uterinos
	221.1	Da vagina
	221.2	Da vulva
	221.8	De outras localizações especificadas
	221.9	De localização não especificada
	222.0	Do testículo
	222.1	Do pênis
	222.2	Da próstata
	222.3	Do epidídimo
	222.4	Do escroto
	222.8	De outras localizações especificadas
	222.9	De localização não especificada
	223.0	Do rim
	223.1	Da pelve renal
	223.2	Do ureter
	223.3	Da bexiga urinaria
	223.8	De outras localizações especificadas
	223.9	De localização não especificada
	224.0	Do globo ocular
	224.1	Da órbita
	224.2	Da glandula lacrimal
	224.3	Da conjuntiva
	224.4	Da córnea
	224.5	Da retina
	224.6	Da coróide
	224.7	Do canal lacrimal
	224.8	De outras partes especificadas
	224.9	De parte não especificada
	225.0	Do encéfalo
	225.1	Dos nervos cranianos
	225.2	Das meninges encefálicas
	225.3	Da medula espinhal
	225.4	Das meninges espinhais
	225.8	Outros
	225.9	De parte não especificada
	226	Neoplasma benigno da glandula tireóide
	227.0	Da glandula supra-renal
Excluído	227.1	Das paratireóides
	227.3	Da hipófise e conduto craniofaringeu
	227.4	Da pineal
	227.5	Do glomo carotídeo
	227.6	Do corpúsculo aortico e outros paraganglios
	227.8	Outros
	227.9	De localização não especificada
	228.0	Hemangioma
	228.1	Linfangioma

---

---

	228.9	Código inválido - fora da CID
	229.0	Dos gânglios linfáticos
	229.8	De outras localizações especificadas
	229.9	De localizações não especificadas
	230.0	Do lábio
	230.1	Do esôfago
	230.2	Do estomago
	230.3	Do cólon
	230.4	Do reto
	230.5	Do canal anal
	230.6	Do ânus
	230.7	De outras porções e das não especificadas
	230.8	Do fígado e sistema biliar
	230.9	De outros órgãos digestivo e os não específicos
	231.0	Da laringe
	231.1	Da traquéia
	231.2	Dos brônquios e pulmão
	231.8	De outras partes especificadas
	231.9	De parte não especificada
	232.0	Da pele do lábio
	232.1	Das pálpebras
	232.2	Do ouvido e conduto auditivo externo
	232.3	Da pele outras partes e partes não específica
	232.4	Do couro cabeludo e pele do pescoço
	232.5	Da pele do tronco
	232.6	Da pele de membro superior
	232.7	Da pele de membro inferior
	232.8	De outras localizações especificadas
	232.9	De localização não especificada
	233.0	Da mama
	233.1	Do colo do útero
	233.2	De outra porções e porções não específico útero
	233.3	De outra órgãos genitais feminino e não específico
	233.4	Da próstata
	233.5	Do pênis
	233.6	De outra órgãos genitais masculino e não específico
	233.7	Da bexiga urinaria
	233.9	De outra órgãos ap urinário e não específico
	234.0	Do olho
	234.8	De outras localizações especificadas
	234.9	De localização não especificada
	235.0	Das glândulas salivares maiores
Excluído	235.1	Do lábio
	235.2	Do estomago
	235.3	Do fígado e vias biliares
	235.4	Do retroperitônio e peritônio
	235.5	De outra órgãos digestivos e dos não específico
	235.6	Da laringe
	235.7	Da traquéia
	235.8	Da pleura
	235.9	De outra órgãos respiratórios e não específico
	236.0	Do útero

---

- 
- 236.1 Da placenta
  - 236.2 Do ovário
  - 236.3 De outros órgãos genitais feminino e não específicos
  - 236.4 Do testículo
  - 236.5 Da próstata
  - 236.6 De outros órgãos genitais masculino e não específicos
  - 236.7 Da bexiga urinária
  - 236.9 De outros órgãos do urinário e não específicos
  - 237.0 Da hipófise e do conduto craniofaringeu
  - 237.1 Da pineal
  - 237.2 Da glândula supra-renal
  - 237.3 Dos paragânglios
  - 237.4 De outras glândulas endócrinas e não específicas
  - 237.5 Do encéfalo e da medula espinhal
  - 237.6 Das meninges
  - 237.7 Neurofibromatose
  - 237.9 De outras partes e partes não especificadas do sistema nervoso
  - 238.0 Do osso e da cartilagem articular
  - 238.1 Do tecido conjuntivo e outros tecidos moles
  - 238.2 Da pele
  - 238.3 Da mama
  - 238.4 Policitemia vera
  - 238.5 Dos histiócitos e mastócitos
  - 238.6 Dos plasmócitos
  - 238.7 De outros tecidos linfáticos e hematopoético
  - 238.8 De outras localizações especificadas
  - 238.9 De localização não especificada
  - 239.0 Do aparelho digestivo
  - 239.1 Do aparelho respiratório
  - 239.2 Dos ossos
  - 239.3 Da mama
  - 239.4 Da bexiga urinária
  - 239.5 De outros órgãos geniturinários
  - 239.6 Do encéfalo
  - 239.7 Das glândulas endócrinas
  - 239.8 De outras localizações especificadas
  - 239.9 De localização não especificada
-

## ANEXO 2

Classificação Internacional de doenças do tipo neoplasias (tumores) SID – 10, identificadas pelo grupo.

Grupo	CID - 10	Tipo de Neoplasia
NG01	C00	Neopl maligno do lábio
	C00.0	Lábio super externo
	C00.1	Lábio inferior externo
	C00.2	Lábio externo NE
	C00.3	Lábio super face interna
	C00.4	Lábio inferior face interna
	C00.5	Lábio s/especificacao face interna
	C00.6	Comissura labial
	C00.8	Lesão invasiva do lábio
	C00.9	Lábio NE
	C01	Neopl maligna da base da língua
	C02	Neopl maligna outros partes e NE da língua
	C02.0	Face dorsal da língua
	C02.1	Borda da língua
	C02.2	Face ventral da língua
	C02.3	Dois terços anteriores da língua parte NE
	C02.4	Amígdala lingual
	C02.8	Lesão invasiva da língua
	C02.9	Língua NE
	C03	Neopl maligna da gengiva
	C03.0	Gengiva super
	C03.1	Gengiva inferior
	C03.9	Gengiva NE
	C04	Neopl maligna do assoalho da boca
	C04.0	Assoalho anterior da boca
	C04.1	Assoalho lateral da boca
	C04.8	Lesão invasiva do assoalho da boca
	C04.9	Assoalho da boca NE
	C05	Neopl maligna do palato
	C05.0	Palato duro
	C05.1	Palato mole
	C05.2	Úvula
	C05.8	Lesão invasiva do palato
	C05.9	Palato NE
	C06	Neopl maligna outros partes e partes NE da boca
	C06.0	Mucosa oral
	C06.1	Vestíbulo da boca

NG01	C06.2	Área retromolar
	C06.8	Lesão invasiva outros partes e partes NE boca
	C06.9	Boca NE
	C07	Neopl maligna da glândula parótida
	C08	Neopl maligna outros glândula salivar maiores e NE
	C08.0	glândula submandibular
	C08.1	glândula sublingual
	C08.8	Lesão invasiva de glândula salivares maiores
	C08.9	glândula salivar maior NE
	C09	Neopl maligna da amigdala
	C09.0	Fossa amigdaliana
	C09.1	Pilar amigdaliano
	C09.8	Lesão invasiva da amigdala
	C09.9	Amigdala NE
	C10	Neopl maligna da orofaringe
	C10.0	Valecula
	C10.1	Face anterior da epiglote
	C10.2	Parede lateral da orofaringe
	C10.3	Parede posterior da orofaringe
	C10.4	Fenda branquial
	C10.8	Lesão invasiva da orofaringe
	C10.9	Orofaringe NE
	C11	Neopl maligna da nasofaringe
	C11.0	Parede superior da nasofaringe
	C11.1	Parede posterior da nasofaringe
	C11.2	Parede lateral da nasofaringe
	C11.3	Parede anterior da nasofaringe
	C11.8	Lesão invasiva da nasofaringe
	C11.9	Nasofaringe NE
	C12	Neopl maligna do seio piriforme
	C13	Neopl maligna da hipofaringe
	C13.0	Região pos-cricoidea
	C13.1	Prega ariepiglotica face hipofaringea
	C13.2	Parede posterior da hipofaringe
	C13.8	Lesão invasiva da hipofaringe
C13.9	Hipofaringe NE	
C14	Neop mal out loc mal def lábio cav oral far	
C14.0	Faringe NE	
C14.2	Anel de Waldeyer	
C14.8	Lesão invasiva lábio cavidade oral e faringe	
C15	Neopl maligna do esôfago	
C15.0	Porção cervical do esôfago	
C15.1	Porção torácica do esôfago	
C15.2	Porção abdominal do esôfago	
C15.3	Terço superior do esôfago	
C15.4	Terço médio do esôfago	
C15.5	Terço inferior do esôfago	
C15.8	Lesão invasiva do esôfago	
C15.9	Esôfago NE	
NG02	C16	Neopl maligna do estomago
	C16.0	Cárdia
	C16.1	Fundo do estomago

NG02	C16.2	Corpo do estomago
	C16.3	Antro pilórico
	C16.4	Piloro
	C16.5	Pequena curvatura do estomago NE
	C16.6	Grande curvatura do estomago NE
	C16.8	Lesão invasiva do estomago
	C16.9	Estomago NE
Excluído	C17	Neopl maligna do intestino delgado
	C17.0	Duodeno
	C17.1	Jejuno
	C17.2	Íleo
	C17.3	Divertículo de Meckel
	C17.8	Lesão invasiva do intestino delgado
	C17.9	Intestino delgado NE
NG03	C18	Neopl maligna do cólon
	C18.0	Ceco
	C18.1	Apêndice
	C18.2	Cólon ascendente
	C18.3	Flexura hepática
	C18.4	cólon transverso
	C18.5	Flexura esplênica
	C18.6	cólon descendente
	C18.7	cólon sigmóide
	C18.8	Lesão invasiva do cólon
	C18.9	cólon NE
	C19	Neopl maligna da junção retossigmoide
	C20	Neopl maligna do reto
	C21	Neopl maligna do anus e do canal anal
	C21.0	Anus NE
	C21.1	Canal anal
	C21.2	Zona cloacogenica
	C21.8	lesão invasiva do reto anus e do canal anal
NG04	C22	Neopl maligna fígado vias biliares intra-hepática
	C22.0	Carcinoma de células hepáticas
	C22.1	Carcinoma de vias biliares intra-hepaticas
	C22.2	Hepatoblastoma
	C22.3	Angiossarcoma do fígado
	C22.4	Outros sarcomas do fígado
	C22.7	Outros carcinomas específicos do fígado
	C22.9	Neopl maligna do fígado NE
	C23	Neopl maligna da vesícula biliar
	C24	Neopl maligna outros partes e NE vias biliares
	C24.0	Vias biliares extra-hepáticas
	C24.1	Ampola de Vater
	C24.8	lesão invasiva das vias biliares
	C24.9	Via biliar NE
Excluído	C25	Neopl maligna do pâncreas
	C25.0	Cabeça do pâncreas
	C25.1	Corpo do pâncreas
	C25.2	Cauda do pâncreas
	C25.3	Canal pancreático
Excluído	C25.4	pâncreas endócrino

	C25.7	Neopl maligna de outros partes do pâncreas
	C25.8	lesão invasiva do pâncreas
	C25.9	pâncreas NE
	C26	Neopl maligna outros mal def aparelho digestivo
	C26.0	Trato intestinal parte NE
	C26.1	Baco
	C26.8	lesão invasiva do aparelho digestivo
	C26.9	Localização mal def dentro aparelho digestivo
	C30	Neopl maligna cavidade nasal e do ouvido médio
	C30.0	Cavidade nasal
	C30.1	Ouvido médio
	C31	Neopl maligna dos seios da face
	C31.0	Seio maxilar
	C31.1	Seio etmoidal
	C31.2	Seio frontal
	C31.3	Seio esfenoidal
	C31.8	lesão invasiva dos seios da face
	C31.9	Seio da face NE
NG05	C32	Neopl maligna da laringe
	C32.0	Glote
	C32.1	Região supraglótica
	C32.2	região subglótica
	C32.3	Cartilagens da laringe
	C32.8	lesão invasiva da laringe
	C32.9	Laringe NE
	C33	Neopl maligna da traquéia
	C34	Neopl maligna dos brônquios e dos pulmões
	C34.0	Brônquio principal
	C34.1	Lobo super brônquio ou pulmão
	C34.2	Lobo médio brônquio ou pulmão
	C34.3	Lobo inferior brônquio ou pulmão
	C34.8	lesão invasiva dos brônquios e dos pulmões
	C34.9	brônquios ou pulmões NE
Excluído	C37	Neopl maligna do timo
	C38	Neopl maligna do coração mediastino e pleura
	C38.0	coração
	C38.1	Mediastino anterior
	C38.2	Mediastino posterior
	C38.3	Mediastino porção NE
	C38.4	Pleura
	C38.8	lesão invasiva coração mediastino e pleura
	C39	Neoplasia mal out loc mal def ap resp org intrat
	C39.0	Trato respiratório super porção NE
	C39.8	lesão invasiva ap respiratório org intratoracic
	C39.9	Localização mal definidas do aparelho respiratório
	C40	Neopl maligna ossos/cartilag artic membros
	C40.0	Omo-plata e ossos longos dos membros super
	C40.1	Ossos curtos dos membros super
	C40.2	Ossos longos dos membros inferior
	C40.3	Ossos curtos dos membros inferior
Excluído	C40.8	lesão invasiva ossos/cartilag artic membros
	C40.9	Ossos e cartilagens articulares de membro NE

	C41	Neopl maligna ossos/cartil artic outros loc e NE
	C41.0	Ossos do crânio e da face
	C41.1	Mandíbula
	C41.2	Coluna vertebral
	C41.3	Costelas esterno e clavícula
	C41.4	Ossos da pelve sacro e cóccix
	C41.8	lesão invasiva ossos e cartilagem articulares
	C41.9	Ossos e cartilagens articulares
	C43	Melanoma maligna da pele
	C43.0	Melanoma maligna do lábio
	C43.1	Melanoma maligna pálpebra incl comiss pálpebra
	C43.2	Melanoma maligna orelha conduto auditivo esterno
	C43.3	Melanoma maligna outros partes e NE da face
	C43.4	Melanoma maligna couro cabeludo e do pescoço
	C43.5	Melanoma maligno do tronco
	C43.6	Melanoma maligno do membro super incl ombro
	C43.7	Melanoma maligno membro inferior incl quadril
	C43.8	Melanoma maligno invasivo da pele
	C43.9	Melanoma maligno de pele NE
	C44	outros neopl maligna da pele
	C44.0	Pele do lábio
	C44.1	Pele da pálpebra incl o canto
	C44.2	Pele da orelha e do conduto auditivo externo
	C44.3	Pele de outros partes e de partes NE da face
	C44.4	Pele do couro cabeludo e do pescoço
	C44.5	Pele do tronco
	C44.6	Pele do membro super incl ombro
	C44.7	Pele do membro inferior incl quadril
	C44.8	lesão invasiva da pele
	C44.9	Neopl maligna da pele
	C45	Mesotelioma
	C45.0	Mesotelioma da pleura
	C45.1	Mesotelioma do peritônio
	C45.2	Mesotelioma do pericárdio
	C45.7	Mesotelioma de outros localização
	C45.9	Mesotelioma NE
	C46	Sarcoma de Kaposi
	C46.0	Sarcoma de Kaposi da pele
	C46.1	Sarcoma de Kaposi de tec moles
	C46.2	Sarcoma de Kaposi do palato
	C46.3	Sarcoma de Kaposi dos gânglios linfáticos
	C46.7	Sarcoma de Kaposi de outros localização
	C46.8	Sarcoma de Kaposi de mult órgãos
	C46.9	Sarcoma de Kaposi NE
	C47	Neopl maligna nervos perif e sist nerv autonom
	C47.0	Nervos periféricos da cabeça face e pescoço
	C47.1	Nervos periféricos membros super incl ombro
	C47.2	Nervos periferia membros inferior incl quadril
	C47.3	Nervos periféricos do tórax
Excluído	C47.4	Nervos periféricos do abdome
	C47.5	Nervos periféricos da pelve
	C47.6	Nervos periféricos do tronco

	C47.8	lesão invasiva nervos perif e sist nerv auto
	C47.9	Nervos periféricos e sist nervoso autônomo
	C48	Neopl maligna tec moles retro- e peritônio
	C48.0	Retroperitônio
	C48.1	Partes especiais do peritônio
	C48.2	peritônio
	C48.8	lesão invasiva tec moles retro- e peritônio
	C49	Neopl maligna tec conjuntivo e outros tec moles
	C49.0	Tec conjuntivo e moles cabeça face e pescoço
	C49.1	Tec conjuntivo e moles membro superior incl ombro
	C49.2	Tec conjuntivo e moles membro inferior incl quadr
	C49.3	Tec conjuntivo e tec moles do tórax
	C49.4	Tec conjuntivo e tec moles do abdome
	C49.5	Tec conjuntivo e tec moles da pelve
	C49.6	Tec conjuntivo e tec moles do tronco
	C49.8	lesão invasiva tec conjuntivo e tec moles
	C49.9	Neopl maligna tec conjuntivo e tec moles
	C50	Neopl maligna da mama
	C50.0	Mamilo e aréola
	C50.1	porção central da mama
	C50.2	Quadrante super interno da mama
	C50.3	Quadrante inferior interno da mama
	C50.4	Quadrante super externo da mama
	C50.5	Quadrante inferior externo da mama
	C50.6	porção axilar da mama
	C50.8	lesão invasiva da mama
	C50.9	Mama NE
	C51	Neopl maligna da vulva
	C51.0	Grandes lábios
	C51.1	Pequenos lábios
	C51.2	Clitóris
	C51.8	lesão invasiva da vulva
	C51.9	Vulva NE
	C52	Neopl maligna da vagina
	C53	Neopl maligna do colo do útero
	C53.0	Endocervix
	C53.1	Exocervix
	C53.8	lesão invasiva do colo do útero
	C53.9	Colo do útero NE
	C54	Neopl maligna do corpo do útero
	C54.0	Istmo do útero
	C54.1	Endométrio
	C54.2	Miométrio
	C54.3	Fundo do útero
	C54.8	lesão invasiva do corpo do útero
	C54.9	Corpo do útero NE
	C55	Neopl maligna do útero porção NE
	C56	Neopl maligna do ovário
Excluído	C57	Neopl maligna outros org genitais femin e NE
	C57.0	Trompa de Falópio
	C57.1	Ligamento largo
	C57.2	Ligamento redondo

	C57.3	Paramétrio
	C57.4	Anexos uterinos
	C57.7	outros partes espec órgãos genitais femin
	C57.8	lesão invasiva dos órgãos genitais femin
	C57.9	Órgão genital femin NE
	C58	Neopl maligna da placenta
	C60	Neopl maligna do pênis
	C60.0	Prepúcio
	C60.1	Glande
	C60.2	Corpo do pênis
	C60.8	lesão invasiva do pênis
	C60.9	Pênis NE
	C61	Neopl maligna da próstata
	C62	Neopl maligna dos testículos
	C62.0	Testículo criptorquidico
	C62.1	testículo tópico
	C62.9	testículo SOE
	C63	Neopl maligna outros org genit masc e NE
	C63.0	Epidídimo
	C63.1	Cordão espermático
	C63.2	Escroto
	C63.7	outros órgãos genitais masc espec
	C63.8	lesão invasiva órgãos genitais masc
	C63.9	órgão genital masc NE
	C64	Neopl maligna do rim exceto pelve renal
	C65	Neopl maligna da pelve renal
	C66	Neopl maligna dos ureteres
NG06	C67	Neopl maligna da bexiga
	C67.0	Trigono da bexiga
	C67.1	Cúpula da bexiga
	C67.2	Parede lateral da bexiga
	C67.3	Parede anterior da bexiga
	C67.4	Parede posterior da bexiga
	C67.5	Colo da bexiga
	C67.6	Orifício uretérico
	C67.7	Uraco
	C67.8	lesão invasiva da bexiga
	C67.9	Bexiga SOE
Excluído	C68	Neopl maligna de outros órgãos urinários e NE
	C68.0	Uretra
	C68.1	Glândula parauretral
	C68.8	lesão invasiva dos órgãos urinários
	C68.9	órgão urinário NE
	C69	Neopl maligna do olho e anexos
	C69.0	Conjuntiva
	C69.1	Córnea
	C69.2	Retina
Excluído	C69.3	Coróide
	C69.4	Corpo ciliar
	C69.5	Gland e canal lacrimal
	C69.6	Órbita
	C69.8	lesão invasiva do olho e anexos

	C69.9	Olho NE
NG07	C70	Neopl maligna das meninges
	C70.0	Meninges cerebrais
	C70.1	Meninges espinhais
	C70.9	Meninge NE
	C71	Neopl maligna do encéfalo
	C71.0	Cérebro exceto lobos e ventrículos
	C71.1	Lobo frontal
	C71.2	Lobo temporal
	C71.3	Lobo parietal
	C71.4	Lobo occipital
	C71.5	Ventrículo cerebral
	C71.6	Cerebelo
	C71.7	Tronco cerebral
	C71.8	lesão invasiva do encéfalo
	C71.9	encéfalo NE
	C72	Neop mal med esp nerv cran out sist nerv cen
	C72.0	Medula espinhal
	C72.1	Cauda eqüina
	C72.2	Nervo olfativo
	C72.3	Nervo óptico
	C72.4	Nervo acústico
	C72.5	outros nervos cranianos e os NE
	C72.8	Lesão invasiva encef out part sist nerv cent
	C72.9	Sist nervoso central NE
Excluído	C73	Neopl maligna da glândula tireóide
	C74	Neopl maligna da glândula supra-renal
	C74.0	Córtex da supra-renal
	C74.1	Medula da supra-renal
	C74.9	glândula supra-renal NE
	C75	Neopl malig outr glândula endócrinas estr relac
	C75.0	glândula paratireóide
	C75.1	glândula hipófise
	C75.2	Conduto craniofaringeo
	C75.3	glândula pineal
	C75.4	Corpo carotídeo
	C75.5	Corpo aortico e outros paraganglios
	C75.8	Compr pluriglandular SOE
	C75.9	glândula endócrina
	C76	Neopl maligna outros localização e mal definidas
	C76.0	cabeça face e pescoço
	C76.1	Tórax
	C76.2	Abdome
	C76.3	Pelve
	C76.4	Membro super
	C76.5	Membro inferior
Excluído	C76.7	outros localização mal definidas
	C76.8	lesão invasiva outros localização e mal definidas
	C77	Neopl maligna secund e NE gangl linfáticos
	C77.0	gânglios linfáticos da cabeça face e pescoço
	C77.1	gânglios linfáticos intratoracicos
	C77.2	gânglios linfáticos intra-abdominais

	C77.3	gânglios linfáticos axilares e membros super
	C77.4	gânglios linfáticos inguinais e membro inferior
	C77.5	gânglios linfáticos intrapelvicos
	C77.8	gânglios linfáticos de mult regiões
	C77.9	Gânglio linfático NE
	C78	Neopl maligna secund org respiratório e digestivos
	C78.0	Neopl maligna secund dos pulmões
	C78.1	Neopl maligna secund do mediastino
	C78.2	Neopl maligna secund da pleura
	C78.3	Neopl maligna secund outros órgãos respiratório e NE
	C78.4	Neopl maligna secund do intestino delgado
	C78.5	Neopl maligna secund intestino grosso e reto
	C78.6	Neopl maligna secund retro- e peritônio
	C78.7	Neopl maligna secund do fígado
	C78.8	Neopl maligna secund outros org digestivos e NE
	C79	Neopl maligna secund de outros localização
	C79.0	Neopl maligna secund do rim e da pelve renal
	C79.1	Neopl maligna secund bexiga outros org urinário e NE
	C79.2	Neopl maligna secund da pele
	C79.3	Neopl maligna secund encéfalo e mening cérebro
	C79.4	Neopl malig secund outr parte sist nerv e NE
	C79.5	Neopl maligna secund ossos e medula óssea
	C79.6	Neopl maligna secund do ovário
	C79.7	Neopl maligna secund das glândula supra-renais
	C79.8	Neopl maligna secund de outros localização especifico
	C80	Neopl maligna s/especificacao de localização
	C81	Doença de Hodgkin
	C81.0	Predomínio linfocítica
	C81.1	Esclerose nodular
	C81.2	Celularidade mista
	C81.3	Depleção linfocítica
	C81.7	outros form da doença de Hodgkin
	C81.9	doença de Hodgkin NE
NG08	C82	Linfoma nao-Hodgkin folicular
	C82.0	Pequenas células clivadas folicular
	C82.1	Misto peq/grandes células clivadas folicular
	C82.2	Grandes células folicular
	C82.7	outros tipos de linfoma nao-Hodgkin folicular
	C82.9	Linfoma nao-Hodgkin folicular NE
	C83	Linfoma nao-Hodgkin difuso
	C83.0	Pequenas células
	C83.1	Pequenas células clivadas
	C83.2	Misto de pequenas e grandes células
	C83.3	Grandes células
	C83.4	Imunoblastico
NG08	C83.5	Linfoblastico
	C83.6	Indiferenciado
	C83.7	Tumor de Burkitt
	C83.8	outros tipos de linfoma nao-Hodgkin difuso
	C83.9	Linfoma nao-Hodgkin difuso NE
	C84	Linfomas de células T cutâneas e periféricas
	C84.0	Micose fungoide

	C84.1	doença de Sezary
	C84.2	Linfoma da zona T
	C84.3	Linfoma linfoepitelioide
	C84.4	Linfoma de células T periférico
	C84.5	outros linfomas de células T e os NE
	C85	Linfoma nao-Hodgkin de outros tipos e tipo NE
	C85.0	Linfossarcoma
	C85.1	Linfoma de células B NE
	C85.7	outros tipos espec de linfoma nao-Hodgkin
	C85.9	Linfoma nao-Hodgkin de tipo NE
Excluído	C88	doença imunoproliferativas malignas
	C88.0	Macroglobulinemia de Waldenstrom
	C88.1	doença de cadeia pesada alfa
	C88.2	doença de cadeia pesada gama
	C88.3	doença imunoproliferativa intestino delgado
	C88.7	outros doença imunoproliferativas malignas
	C88.9	doença imunoproliferativa maligna NE
NG09	C90	Mieloma mult e neopl maligna de plasmocitos
	C90.0	Mieloma mult
	C90.1	Leucemia plasmocitaria
	C90.2	Plasmocitoma extramedular
NG10	C91	Leucemia linfóide
	C91.0	Leucemia linfoblastica aguda
	C91.1	Leucemia linfocitica crônica
	C91.2	Leucemia linfocitica subaguda
	C91.3	Leucemia pro-linfocitica
	C91.4	Leucemia de células pilosas
	C91.5	Leucemia de células T do adulto
	C91.7	outros leucemias linfóides
	C91.9	Leucemia linfóide NE
	C92	Leucemia mieloide
	C92.0	Leucemia mieloide aguda
	C92.1	Leucemia mieloide crônica
	C92.2	Leucemia mieloide subaguda
	C92.3	Sarcoma mieloide
	C92.4	Leucemia pro-mielocitica aguda
	C92.5	Leucemia mielomonocitica aguda
	C92.7	outros leucemias mieloides
	C92.9	Leucemia mieloide NE
	C93	Leucemia monocitica
	C93.0	Leucemia monocitica aguda
	C93.1	Leucemia monocitica crônica
	C93.2	Leucemia monocitica subaguda
	C93.7	outros leucemias monociticas
NG10	C93.9	Leucemia monocitica NE
	C94	outros leucemias de células de tipo espec
	C94.0	Eritremia e eritroleucemia agudas
	C94.1	Eritremia crônica
	C94.2	Leucemia megacarioblastica aguda
	C94.3	Leucemia de mastocitos
	C94.4	Panmielose aguda
	C94.5	Mielofibrose aguda

---

	C94.7	outros leucemias espec
	C95	Leucemia de tipo celular NE
Excluído	C95.0	Leucemia aguda de tipo celular NE
	C95.1	Leucemia crônica de tipo celular NE
	C95.2	Leucemia subaguda de tipo celular NE
	C95.7	outros leucemias de tipo celular NE
	C95.9	Leucemia NE
	C96	outros neopl mal e NE tec linf hematop e corr
	C96.0	doença de Letterer-Siwe
	C96.1	Histiocitose maligna
	C96.2	Tumor maligno de mastocitos
	C96.3	Linfoma histiocitico verdadeiro
	C96.7	outros neop mal espec tec linf hematop e corr
	C96.9	Neop mal tec linf hematop e corr NE
	C97	Neopl maligna de localização mult independentes

---

## ANEXO 3

Classificação Nacional de doenças do tipo neoplasias (tumores) CIDBR – 10, identificadas pelo grupo.

Grupo	CIDBR - 10	Tipo de Neoplasia
NG01	032	Neoplasia Maligna Do Lábio,Cav Oral E Faringe
	033	Neoplasia Maligna Do Esôfago
NG02	034	Neoplasia Maligna Do Estomago
NG03	035	Neoplasia Maligna De Colon,Reto E Anus
NG04	036	Neoplasia Maligna Do Fígado E Vias Bil Int.
Excluído	037	Neoplasia Maligna Do Pâncreas
NG05	038	Neoplasia Maligna Da Laringe
	039	Neoplasia Maligna Da Traquéia ,Brônquio E Pulmão
Excluído	040	Neoplasia Maligna Da Pele
	041	Neoplasia Maligna Da Mama
	042	Neoplasia Maligna Do Colo Do Útero
	043	Neoplasia Maligna D Out Par E Nao Esp Do Útero
	044	Neoplasia Maligna Do Ovário
	045	Neoplasia Maligna Da Próstata
	046	Neoplasia Maligna Da Bexiga
NG06	046	Neoplasia Maligna Da Bexiga
NG07	047	Neop Malig Das Meni,Encef,Out P/ Sist Ne
NG08	048	Linfoma Não-Hodgkin
NG09	049	Mieloma Mult E Neopl Malig De Plasmocito
NG10	050	Leucemia
Excluído	051	Neoplasias In Situ,Benig,Comport Incerto
	052	Restante De Neoplasias

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELSON, P. H.. 1990. Uncertainties about health effects of radon. **Science**. V. 250., nº 4979. pg. 353.
- ARAFI, W. & EL-KARADAWI, E.. 1997. Radon concentration determination in some dwellings of Doha city of Qatar. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: 595-598.
- ARVELA, H.. 2001. **Experiences in radon-safe building**. IN: Finland. The Science of the Total Environment. 272., p. 159-167.
- BARRILLON, R., FROMM, M., CHAMBAUDET, A., MARAH, H., e SABIR, A.. 1997. Track etches velocity in a radon detector (LR 115, cellulose nitrate). **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: 619-628.
- BARRIOS, C. & SARTORI, J.. 1995. **Princípios básicos da terapia antineoplásica**.. In: Medicina interna: do diagnóstico ao tratamento. Artes Medicas. Porto Alegre. p. 599-606.
- BITELLI, T.. 1982. **Dosimetria e higiene das radiações**. Ed. Grêmio Politécnico. São Paulo. 548 p.
- BRASIL - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM), DNPM e LASA. 1978. **Projeto Extremo Sudeste do Brasil, levantamento aerogeofísico, magnetometria e gamaespectrometria. Relatório final. Rio de Janeiro, V. 1.**
- BRASIL - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Catálogo de projetos aerogeofísicos. <http://www.cprm.gov.br/aero/aero.htm> (15/04/2000)
- BRASIL - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM), GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA (GSC), e PATERSON, GRANT & WATSON LIMITED (PGW). 1997. - Brazil Airborne Radiometric Mapping Project (BARMP). **Technical Report and Survey Atlas**, Ottawa, Canada.
- BRASIL - D.N.P.M.. 1974. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo; folha Porto Alegre-SH.22, folha Lagoa Mirim-SH.22**. Brasília D.N.P.M..
-

- 
- BRASIL - D.N.P.M.. 1989. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul**. Brasília. D.N.P.M..
- BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. 1995. **Ações de enfermagem para o controle do câncer**. Ministério da saúde – Instituto Nacional do Câncer – Coordenadoria de Programas de controle do Câncer – Pro-Onco. Rio de Janeiro, 240 p.
- BRASIL - SECRETÁRIA DA SAÚDE-RS. 1998. **Estatísticas de Saúde – Mortalidade**. Secretaria da Saúde – Núcleo de Informação em Saúde. V. 23. Porto Alegre, 264 p.
- BEIR V. 1990, **Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation: Report oh the committee on the biological effects of ionizing radiations**. **National Research Council**: Washington, D. C., National Academy Press, 436 p.
- BOLINDER, S. A., OWEN, D. E., e SCHUMANN, R. R.. 1991. **A preliminary evaluation of environmental factors influencing day-to-day and seasonal soil-gas radon concentrations**. In: GUNDERSEN, L. C. S, & WANTY, R. B. Field studies of radon in rocks, Soil, and Water. **United States Geological Survey Bulletin**, 1971. p. 23-31.
- BONHAM-CARTER, G. F.. 1996. **Geographical information systems for geoscientists: Modeling with GIS**. Pergamon, 398p.
- BUNCHAFT, G.. 1997. **Estatística sem mistérios**. Petropolis. Editora Vozes. Vol. 2; 256p.
- BURNETT, W. C., SCHULTZ, M. K., e DULL, C. D.. 1996. Radionuclide flow during the conversion of phosphogypsum to ammonium sulfate. **Journal Environmental Radioactivity**, Vol. 32 (1-2): p. 33-51.
- CHAO, C. Y. H., TUNG, T. C. W., e BURNETT, J.. 1997. Influence of ventilation in indoor radon level. **Building and Environmental**. Vol 32 (6): p. 527-534.
- CLARKE, R. H. & SOUTHWOOD, T. R. E.. 1989. Risks from ionizing radiation. **Nature**. Vol. 338: p. 197-198.
- CNEN, COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 1988. Diretrizes Básicas de Radioproteção. **CNEN-NE-3.01. Resolução CNEN-12/88 Publicação: D.O.U. de 01/08/88**.
- D'AGOSTINI, L. R.. 1999. **Erosão, o problema mais que o processo**. Editora da UFSC, Florianópolis, 131 p.
- DARWIN, C.. 2000. **A origem das espécies e a seleção natural**. Editora Novo Século, Curitiba-PR, 471 p.
-

- 
- DICKSON, B. L. & SCOTT, K. M.. 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-assign the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**. Vol. 17 (2): p. 187-200.
- DJEFFAL, S., LOUNIS, Z., e ALLAB, M.. 1997. Design of a radon measuring device based on the diffusion principles using LR 115 detector. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: p. 629-632.
- DUARTE, O. O.. 1997. **Dicionário enciclopédico inglês-português de geofísica e geologia**. PETROBRAS, Rio de Janeiro. 304 p.
- DURVAL, J. S., COOK, B. e ADAMS, J. A. S.. 1971. Circle of investigation of an airborne gamma-ray spectrometer. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 76 (35): p. 8466-8470.
- EMBRAPA – Centro nacional de pesquisa de solos. 1999. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro. 412 p.
- ESPINOSA, G., MANZANILLA, L. e GAMMAGE, R. B.. 1997. Radon concentrations in the pyramid of the sun at Teotihuacan. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: p. 667-670.
- EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992. Indoor radon and radon decay product measurement device protocols. **EPA Document #402-K-92-004**. Washington, D. C..
- EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1993a. Protocols for radon and radon decay product measurements in homes. **EPA Document #402-K-93-003**. Washington, D. C..
- EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1993b. A physician's guide – Radon, The health threat with a simple solution. **EPA Document #402-K-93-008**. Washington, D. C..
- FERREIRA, F. J. F., & SOUZA, J. L.. 1998. **Gamaespectrometria- Fundamentos, geoquímica e distribuição dos radioelementos em rochas e solos**. UFPR-LPGA - Curitiba, disciplina de geofísica aplicada. 83 p.
- FLECK, J., 1995. **História natural dos tumores malignos e diagnóstico precoce do câncer**. In: Medicina interna : do diagnóstico ao tratamento. **Artes Medicas**. Porto Alegre. p. 596-598.
-

- 
- FONSECA, A. C.. 1999. **Geoquímica dos Solos**. IN: GUERRA, A.J. T., SILVA, A. S., e BOTELHO, R. G. M.. Erosão e conservação dos solos – Conceitos, temas e aplicações. **Bertrand Brasil**. Rio de Janeiro. p. 165-194.
- GARAVAGLIA, M., DAL MORO, G., e ZANDRO, M.. 2000. Radon and tilt measurements in a seismic area: Temperature effects. **Physics Chemical Earth**. Vol. 25 (3): p. 233-237.
- GASTAL, M. C. P., NARDI, L. V. S., e LAFON, J. M.. 1995. **Classificação dos granitóides pertencentes à Suíte Intrusiva Saibro, RS**. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 6. Boletim de Resumos Expandidos. Porto Alegre, SBG, p. 72-76.
- GEOSOFT. 1999. **User guide and Tutorial**. Geosoft® OASIS Montaj. Toronto - Canada. 290 p.
- GIURLANI, S.. 1997. Quando a radiação faz bem. **Brasil Nuclear**, Nº 13: p. 8-14.
- GREGG, L. T. & HOLMES, J. J.. 1990. **Radon detection and measurement in soil and groundwater**. In Investigations in geophysics nº 5. SEG. p. 251-262.
- GUNDERSEN, L. C. S., SCHUMANN, R. R., OTTON, J. K., DUBIEL, R. F., OWEN, D. E. e DICKINSON, K. A.. 1992. **Geology of radon in the United States**. In: Gates, A. E. & Gundersen, L. C. S. Geological controls on radon. **Geological Society of America. Special Paper 271**. p. 1-16.
- HAFEZ, A. F., & HUSSEIN, A. S.. 2001. Radon activity concentrations and effective doses in ancient Egyptian tombs of the Valley of the Kings. **Applied Radiation and Isotopes**. Vol. 55: p. 355-362.
- HAFEZ, A. F., KOTB, M. A. e KHALIL, G. I.. 1997. Indoor radon and its progeny concentrations in archeological places in Alexandria, Egypt. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: p. 671-674.
- HARTMANN, L. A.. 1987. **Isócrona Sm-Nd de 2 Ga em minerais de duas amostras do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS**. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1 Atas... Porto Alegre, SBGQ, Vol. 1: p. 105-111.
- HARTMANN L. A., WILDNER, W., REMUS, M. V. D., e SUITA, M. T. F.. 1992. Complexo máfico-ultramáfico do Escudo Sul-rio-grandense. Revisão com ênfase na geoquímica dos elementos da série 3d de transição. **Pesquisas**, Vol. 19 (2):168-173.
-

- 
- HELOU, S. & COSTA NETO. S. B.. 1995. **Césio-137 – Conseqüências psicossociais do acidente de Goiânia**. Ed.UFG. 155p.
- HOPKE, P. K., BORAK, T. B., DOULL, J., CLEAVER, J. E., ECKERMAN, K. F., GUNDERSEN, L. C. S., HARLEY, N. H., HESS, KINNER, N. E., KOPECKY, K. J., MCKONE, T. E., SEXTRO, R. G., e SIMON, S. L.. 2000. Health risks due to radon in drinking water. **Environmental Science & Technology**. Vol. 34 (6): p. 921-926.
- HORSFALL, K. R. 1997. Airborne magnetic and gamma-ray data acquisition. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**. Vol. 17 (2): p. 23-30.
- HUSSEIN, A. EL-, MOHAMEMED, A., HADY, M. ABD EL-, AHMED, A. A., ALI, A. E., e BARAKAT, A.. 2001. Diurnal and seasonal variation of short-lived radon progeny concentration and atmospheric temporal variations of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  in Egypt. **Atmospheric Environment**. Vol. 35: p. 4305-4313.
- IBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1986. **Folhas SH/SI.22/21\* Porto Alegre/ Uruguaiana/Lagoa Mirim. Levantamento de Recursos Naturais**, Rio de Janeiro. Vol. 33.
- IBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2001. Dados do censo. <http://www.ibge.gov.br/>
- ISSLER, R. S. 1982. **Eventos geodinâmico brasileiro-fechamento de oceano e colisão continental dos cratons Rio de La Plata e Dom Feliciano: Granitos a duas micas e ofiolitos**. IN: Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador – Bahia. Vol. 1: p. 24-38.
- JACKSON, V. N., RAMOS, V. A., TERRY, S. A., e ZUZEK, A. B.. 1973. **Projeto aerogeofísico Camaquã, Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**. Texas Instruments, DNPM/CPRM/CENEN. 208p (inédito).
- JÖNSSON, G.. 1995. Radon gas – Where from and what to do?. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 25 (1-4): p. 537-546.
- JÖNSSON, G., ALBARRANCIN, D., BACMEISTER, G. U., BAIXERAS, C., CLIMENT, H., COTELLESA, G., DEVANTIER, R., ENGE, W. FREYER, K., FONT, L. L., GHOSE, R., MONNIN, M. M., SCIOCCHETTI, G., SEIDEL, J. L., e TREUTLER, H. C.. 1997. Comparison of radon measurement done by solid state nuclear track detectors and electronic devices in the framework of na EU-radon Project. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: p. 651-656.
-

- 
- KAPLAN, I. 1978. **Física Nuclear**. Ed. Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro. 633 p.
- KEMSKI, J., SIEHL, A., STEGEMANN, R., e VALDIVIA-MANCHEGO, M.. 2001. Mapping the geogenic radon potential in Germany. **The Science of the Total Environment**. **272**: p. 217-230.
- KENAWY, M. A. & MORSY, A.. 1991. Radon measurement in the interior of great pyramid. **Nuclear Track Radiations. Measurement**. Vol. 19: p. 347-349.
- KONDA, J. 1995. Clay and man: Clay raw materials in the service of man. **Applied Clay Science**. Vol. 10: p. 275-335.
- LAMPARELLI, R. A. C., ROCHA, J. V. e BORGHI, E.. 2001. **Geoprocessamento e agricultura de precisão – Fundamentos e aplicações**. Ed. Agropecuária. Guaíba. 118p.
- LANDIN, P. M. B.. 1998. **Análise Estatística de dados geológicos**. São Paulo. Fundação Editora UNESP. 226 p.
- LEITE, P. F.. 1995. As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil – Proposta de classificação. **Caderno de Geociências. IBGE**. nº 15: p.73-164.
- LIENDO, J., SAJÓ-BAHUS, L., PÁLFALVI, J., GREAVES, E. D., e GOMEZ, N.. 1997. Radon Monitoring for health studies in the Caracas subway using SSNTDS. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: p. 729-732.
- LINDMAN, C. A. M. & FERRI, M. G. 1974. **A vegetação no Rio Grande do Sul**. Ed. Itatiaia, São Paulo. 390 p.
- LUGG, A. & PROBERT, D.. 1997. Indoor radon gas: A potential health hazard resulting from implementing energy-efficiency measures. **Applied Energy**. Vol. 56 (2): p. 93-196.
- MAGED, A F., ASHRAF, F. A. e EL BEHAY, A Z. 1997. Radon Levels measured at building and in sub-soil in delta. **Radiation Measurements**. Vol. 28 (1-6): p. 599-602.
- MAGED, A. F. & BORHAM, E.. 1997. A study of the radon emitted from various building materials using alpha track detectors. **Radiation Measurements**. Vol. 28 (1-6): p. 613-617.
- MARINGER, F. J., AKIS, M. G., KAINEDER, H., KINDL, P., KRALIK, C., LETTNER, H., LUEGINGER, S., NADSCHLÄGER, C., RINGER, W., ROLLE, R., SCHÖNHOFER, F., SPERKER, S., STADTMANN, H., STEGER, F., STEINHÄUSLER, F.,
-

- 
- TSCHURLOVITS, M., e WINKLER, R.. 2001. Results and conclusions of the Austrian radon mitigation project "SARAH". **The Science of the Total Environment**. 272. p. 159-167.
- MARLEY, F. & PHILLIPS, P. S.. 2001. Investigation of the potential for radon mitigation by operation of mechanical systems affection indoor air. **Journal of Environmental Radioactivity**. Vol. 54: p. 205-219.
- MARTÍN, J. E., BOLÍVAR, J. P., RESPALDIZA, M. A., GARCÍA-TENORIO, R., e SILVA, M. F.. 1995. Environmental impact of fertilizer industries evaluated by pixe. **Nuclear Instruments and Methods and Physics Research**. B103, p. 477-481.
- MILANI, E. J.. 1997. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. Curso de Pós-Graduação em Geociências. 2v. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, UFRGS.
- MINTY, B. R. S.. 1997. Fundaments of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**. Vol. 17 (2): p. 39-50.
- MINTY, B. R. S., & LUYENDYK, A. P. J. e BRODIE, R. C.. 1997. Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**. Vol. 17 (2): p. 51-62.
- MONCHAUX G., MORLIER J.P., ALTMAYER S., DEBROCHE M. e MORIN M. 1999. Influence of exposure rate on lung cancer induction in rats exposed to radon progeny. **Radiation Research**. Vol. 152, Issue 6 Supplement: p. S137-S140
- MONNIN. M. M. & SEIDEL, J. L.. 1997. Physical models related to radon emission in connection with dynamic manifestations in the upper terrestrial crust: **A review. Radiations Measurements. Pergamon**. Vol. 28: p. 703-712.
- MOURÃO, L. M. F., e COSTA, C. M.. 2001. **The calibration technical improvements of the recent ground concentrations airborne radiometric surveys conducted by CPRM – Serviço Geológico do Brasil**. In: 7º CISBGf, Salvador – Bahia : p. 653-656.
- MUKHERJEE, R. & MIRCHEVA, J.. 1991. Radiobiological effects of low-level radiation and cancer risks. **IAEA Bulletin – Quarterly Journal of the International Atomic Energy Agency**. Viena – Áustria, Vol. 33 (2): p. 32-35.
-

- 
- MURRAY, R. L.. 1961. **Introduction to nuclear engineering**. Englewood Cliffs, N. J.. Ed. Prentice-Hall. 466 p.
- NANNI, L. F.. 1981. **Caderno Técnico - Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais**. Porto Alegre. UFRGS. 178 p.
- NARDI, L.V. S. & HARTMANN, L. A.. 1979. O complexo Granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sul-riograndense. **Acta Geológica Leopoldensia**, Vol. 3: p. 45-75.
- NAUMANN, M. P., HARTMANN, L. A., KOPPE, J. C., e CHEMALE JR, F.. 1984. **Seqüências supracrustais, gnaisses graníticos, granulitos e granitos intrusivos da região de Ibaré-Palma, RS – Geologia, aspectos estratigráficos e considerações geotectônicas**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Anais... Rio de Janeiro, SBG, p. 2417-2424.
- NIELSON, D. L., LINPEI, C., e WARD, S. H. 1990. **Gamma-Ray spectrometry and radon emanometry in environmental geophysics**. In Investigations in geophysics n° 5. SEG. p. 219-250.
- NSC – NATIONAL SAFETY COUNCIL. 2002. **A guide to the U.S. Department of Energy's low-level radioactive waste**. Environmental Health Center. Washington, DC. 100 p.
- OLIVEIRA, C.. 1993. **Dicionário Cartográfico**. IBGE. 4º edição. Rio de Janeiro. 646 p.
- OLIVEIRA, M. A. T.. 1999. **Processo erosivo e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In: GUERRA, A.J. T., SILVA, A. S., e BOTELHO, R. G. M.. Erosão e conservação dos solos – Conceitos, temas e aplicações. **Bertrand Brasil**. Rio de Janeiro. p. 57-99.
- OTHOMAN, I., RAJA, G., HUSHARI, M., e SAWAF, A, 1997. Variation of radon concentration in different sites Syrian typical houses. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: p. 721-724.
- OTTON, J. K., GUNDERSEN, L. C. S. E CHUMANNHTTP R. R.. 1995. The Geology of Radon. U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey <http://energy.cr.usgs.gov/radon/georadon.html>.
- PAVLENKO, T. A., LOS, I. P., GORITSKY, A. V. e AKSENOV, N. V.. 1997. Exposure doses due to indoor <sup>222</sup>Rn in the Ukraine and basic directions for their decrease. **Radiations Measurements**. Pergamon. Vol. 28: p. 733-738.
-

- PAULSEN, R. T.. 1991. **Radionuclides in ground water, rock and soil, and indoor air of the northeastern United States and southeastern Canada – A literature review and summary of date**. In: GUNDERSEN, L. C. S, & WANTY, R. B.. Field studies of radon in rocks, soils, and water. **United States Geological Survey Bulletin**, 1971, p. 195-225.
- PEREIRA, R. S.. 1979. **A estatística e suas aplicações**. Porto Alegre. Ed. Grafosul. 659 p.
- PERES, A. C. Dissertação de Mestrado. In Scheinberg, G. (1999). Pesquisa avalia composição do produto vendido no País, O Estado de São Paulo [on-line] (São Paulo). <http://www.ipen.br/scs/manchete/fumo/espp141099.html>. (22/12/2000)
- PIMENTEL, J., JACQUES, P. D., e BRANCO, P. C. A.. 1997. **Sistemas de informações geográficas aplicadas em geociências – utilização do software explorer**. CPRM – Departamento de Informações Institucionais, Divisão de Geoprocessamento. 61 p.
- PINA, M. F.. 2000. **Armazenamento dos dados em SIG**. In: RIPISA – Rede Interagencial de Informações para a Saúde. Conceitos básicos de sistema de informações geográficas e cartografia aplicados à saúde. Organizado por CARVALHO, M S., PINA, M. F., e SANTOS, S. M.. **Organização Panamericana da Saúde – Ministério da Saúde**, Brasília. p. 41-66.
- PITKIN, J. A. & DUVAL, J. S.. 1980. Design parameters for aerial gamma-ray surveys. **Geophysics**. Vol. 45 (9): p. 1427-1439.
- PITTSBURGH. 2002. History and links for the 1979 accident at Pennsylvania's Three Mile Island on the Susquehanna River outside of Harrisburg, PA. <http://www.pittsburgh.about.com/cs/threemileisland/> (30/04/2002).
- PRORAD, 2002. Dosimetria pessoal. <http://www.prorad.com.br/> (05/10/2002).
- QUADROS, T. F. P.. 2000. **Integração de dados em mapeamento de favorabilidade mineral para ouro na Ilha Cristalina de Rivera (Uruguai)**. Tese de Doutorado, PPGEMM, DEMIN, Escola de Engenharia, UFRGS, 260 p.
- REIS, J.. 2000. Incertezas quanto aos efeitos do radônio. **Folha de São Paulo – Periscópio**; p. 29; (17/09/2000)
- RIBEIRO, M. & FATINEL, L. M.. 1978. Associações petroectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I Tabulação e distribuição das associações petroectônicas do escudo do Rio Grande do Sul. **IHERINGIA**. Porto Alegre (5): p. 19-54.

- 
- RIGOTO, A., FONSECA, F. J. F., e MORAES, R. A. V.. 1998. **Curso de Aperfeiçoamento em exploração mineral**. Coordenação, MARINE, O. J. & JOST, H.. UFPR e Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira – ADIBE. EXMIN 98/99. 210 p.
- ROISENBERG, A.. 1980. **Mapas geológicos do planalto meridional no R. G. do Sul, esc. 1:250000**, Porto Alegre.
- SANTOS, E. L., MACIEL, L. A. C., e ZIR FILHO, J. A.. 1998. **Distritos mineiros do estado do Rio Grande do Sul**. 1º Distrito-DNPM, 35p.
- SANTOS, P. L., GOUVEA, R. C., e DUTRA, I. R.. 1995. Human occupational radioactive contamination from the use of phosphates fertilizers. **The Science of the Total Environment**. Vol. 162: p. 19-22.
- SANTOS, S. M., PINA, M. F., e CARVALHO, M. S.. 2000. **Os sistemas de informações geográficas**. In: RIPISA – Rede Interagencial de Informações para a Saúde. Conceitos básicos de sistema de informações geográficas e cartografia aplicados à saúde. Organizado por CARVALHO, M S., PINA, M. F., e SANTOS, S. M.. **Organização Panamericana da Saúde – Ministério da Saúde**, Brasília. p. 13-39.
- SCHLUMBERGER, M., CAILLEUX, A. F., SUAREZ, H. G. e VATHAIRE, F.. 1999. Irradiation and second cancers. The thyroid as a case in point. **Académie des Sciences Paris**. Vol. 322: p. 205-213.
- SCHULTS, A., WIGGS, C. R. e BROWER, S. D.. 1992. **Geological and environmental implications of high soil-gás radon concentrations in the Great Valley, Jefferson and Berkeley counties, West Virginia**. In: Gates, A. E. & Gundersen, L. C. S. Geological controls on radon. **Geological Society of America. Special Paper 271**. p. 29-44.
- SCHUMANN, R. R., OWEN, D. E., e BOLINDER, S. A.. 1992. **Effects of weather and soil characteristics on temporal variations in soil-gas radon concentrations**. In: Gates, A. E. & Gundersen, L. C. S. Geological controls on radon. **Geological Society of America. Special Paper 271**. p. 65-72.
- SILVA, A. B., 1999a. **Sistemas de informações geo-referenciadas – conceitos e fundamentos**. Editora da UNICAMP. 236 p.
-

- 
- SILVA, A. S.. 1999b. **Análise morfológica dos solos e erosão**. In: GUERRA, A.J. T., SILVA, A. S., e BOTELHO, R. G. M.. Erosão e conservação dos solos – Conceitos, temas e aplicações. **Bertrand Brasil**. Rio de Janeiro. p. 101-126.
- SILVA, F. C.. 1999c. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. EMBRAPA. Brasília. 370 p.
- SILVA FILHO, B. C., & SOLIANI JR, E.. 1987. **Origem e evolução dos Gnaisses Cambaí: exemplo de estudo integrado de análise estrutural, petroquímica e geocronologia**. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3 *Atas...* Curitiba, SBG. Vol. 1: p. 127-146.
- SOUKUP, R.. 1998. **Desvendando o Microsoft SQL Server 6.5**. Editora Campus. Rio de Janeiro. 883 p.
- SOUZA, J. L.. 1998. **Anomalias aerogamaespectrométricas (K, U e Th) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados**. Dissertação de Mestrado, UFPR, 252 p.
- STILLER, C. A.. 2001. Thyroid cancer following Chernobyl. **European Journal of Cancer**. Vol. 37: p. 945-947.
- TYDAC. 1997. **SPANS<sup>®</sup> - User guide and Tutorials**. Tydac Research Inc. Ottawa Ontario - Canada.
- VALENTE, A. L. S.. 1999. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana; O caso de Porto Alegre (RS)**. Tese de Doutorado, PPGEMM, DEMIN, Escola de Engenharia, UFRGS, 391 p.
- VANMARCKE, H. & PARIDAENS, J.. 2001. Radon exposure vs. Exposure to other sources of ionizing radiation. **The Science of the Total Environmental**. Vol. 272: p. 343-345.
- VERÍSSIMO, S.. 1988. O casal Curie. **Superinteressante**. Ed. Abril. Ano 2. nº. 8.
- ZALAN, P. V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J.C. J., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T., e ZANOTTO, O. A.. 1987. **Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná**. In: Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, Vol. 1: p. 441-477.
- ZHU, H. C., CHARLET, J. M. e TONDEUR, F.. 1998. Geological controls to the indoor radon distribution in southern Belgium. **The Science of the Total Environment**. Vol. 220: p. 195-214.
-

- 
- WANTY, R. B., LAWRENCE, E. P., e GUNDERSEN, L. C. S.. 1992. **A theoretical model for the flux of radon from rock to ground water**. In: Gates, A. E. & Gundersen, L. C. S. Geological controls on radon. **Geological Society of America. Special Paper 271**. p. 73-78.
- WHER, M. R., & RICHARD JR, J. A.. 1965. **Physics of the atom. Massachusetts**. Ed. Addison Wesley. 467 p.
- WILFORD, J. R., BIERWIRTH, P. N., e CRAIG, M. A.. 1997. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**. Vol. 17 (2): p. 201-216.
- WOODS, R.. 1999. EPA proposes new standards to protect public health from radon in drinking water and indoor air. United States Environmental Protection Agency Communications, Education, and Media Relations (1703) Environmental News – (202) 260-4377. <http://www.epa.gov/iaq/radon/waterpres.html>.
- WRIGHT, D. F., & BONHAM-CARTER, G. F.. 1996. **VHMS favourability mapping with GIS-based integration models, Chisel Lake-Anderson Lake area**. In: BONHAM-CARTER, G. F., GALLEY, A. G., e HALL, G. E. M.. EXTECH I: A multidisciplinary Approach to massive sulphine research in the Rusty Lake-Snow Lake Greenstone Belts, Manitoba. **Geological Survey of Canada. Bulletin 426**. p. 339-401.
- YAHOO. 2001. Cientistas associam casos de câncer de tireóide a Chernobyl [http://br.yahoo.com/noticias/saude/reuters/article.html?s=br/noticias/011023/saude/reuters/Cientistas\\_associam\\_casos\\_de\\_cancer\\_de\\_tireoide\\_a\\_Chernobyl.html](http://br.yahoo.com/noticias/saude/reuters/article.html?s=br/noticias/011023/saude/reuters/Cientistas_associam_casos_de_cancer_de_tireoide_a_Chernobyl.html) (23/10/2001)
-