

INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

ALEXANDER VIEIRA DEBOSSAM

**SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA GESTÃO DO TRANSPORTE
SEGURO DE RADIOFÁRMACOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

RIO DE JANEIRO

2016

ALEXANDER VIEIRA DEBOSSAM

**SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA GESTÃO DO TRANSPORTE
SEGURO DE RADIOFÁRMACOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares do Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear - ênfase profissional em Impacto Ambiental de Instalações Nucleares.

Orientadores: Prof. Dr. Ralph Santos-Oliveira e
Profa. Dra. Maria Angélica Vergara Wasserman

RIO DE JANEIRO

2016

DEBO Debossam, Alexander Vieira

Sistema de informações geográficas na gestão do transporte seguro de radiofármacos na cidade do Rio de Janeiro/Alexander Vieira Debossam -- Rio de Janeiro: CNEN/IEN, 2016.

105f.: il. ; 31cm

Orientadores: Ralph Santos-Oliveira e Maria Angélica Vergara Wasserman

Dissertação (mestrado) -- Instituto de Engenharia Nuclear, PPGIEN, 2016.

1. Sistema de Informações Geográficas. 2. Transporte. 3. Radiofármacos. 4. Segurança Ambiental.

**SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA GESTÃO DO TRANSPORTE
SEGURO DE RADIOFÁRMACOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

Alexander Vieira Debossam

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E TECNOLOGIA NUCLEARES DO INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR DA
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA NUCLEAR - ÊNFASE PROFISSIONAL EM IMPACTO AMBIENTAL DE
INSTALAÇÕES NUCLEARES.

Aprovado por:

Prof. Ralph Santos-Oliveira, PhD

Profa. Maria Angélica Vergara Wasserman, Dra

Prof. Fernando Lamego, Dr

Dra. Renata Coura Borges

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2016

Este trabalho é dedicado a minha esposa Mônica e as minhas filhas, Daniela e Marcela, pelo carinho, compreensão e total incentivo durante a elaboração do mesmo.

AGRADECIMENTOS

A **DEUS** por ter me sustentado durante todo esse tempo de aprendizado e desgaste.

Aos meus pais, João e Maria Luzia, que sempre me estimularam a estudar e são meus exemplos de vida, ao meu irmão, André, e minha irmã, Alessandra, e a todos os meus familiares que me incentivaram na elaboração da dissertação.

Ao amigo professor Me. Nilton Monteiro que muito me impulsionou a iniciar o curso e pelo apoio durante o mesmo.

Ao pesquisador Dr. Ralph Santos-Oliveira e a pesquisadora Dra. Maria Angélica Vergara Wasserman (IEN-CNEN) por terem me acompanhado nesse período.

A pesquisadora Dra. Maria de Fátima de Pina da Universidade do Porto pelo incentivo ao curso e pela orientação nos trabalhos de iniciação científica no Laboratório de Geoprocessamento do ICICT - FIOCRUZ que muito contribuíram na minha formação e motivação acadêmica.

Ao pesquisador Dr. Christovam Barcelos do ICICT - FIOCRUZ pelo constante incentivo para realização desse curso e a sua participação na Banca Examinadora.

A pesquisadora Dra. Vivian Borges Martins (EMGEPRON) pelo incentivo ao curso de mestrado.

Ao Lagepro-Uerj pelo apoio e suporte durante este trabalho.

Ao Professor Dr. Fernando Lamego e Renata Coura Borges pela participação na Banca Examinadora.

Aos amigos da turma 2013 do curso de mestrado, principalmente a Caroline, ao Mauro e ao Angelo, pela ajuda e por terem compartilhado estes momentos.

Irmãos, não penso que eu mesmo já o tenha alcançado, mas uma coisa faço: esquecendo-me das coisas que ficaram para trás e avançando para as que estão adiante, prossigo para o alvo, a fim de ganhar o prêmio do chamado celestial de Deus em Cristo Jesus.

Filipenses 3: 13-14

RESUMO

Na cidade do Rio de Janeiro existe uma unidade de produção de radiofármacos no Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IEN/CNEN) que distribui esse material para várias unidades de saúde e de pesquisas. Tais materiais devido as suas características químicas necessitam de um deslocamento rápido e com segurança entre o local de produção e consumo, revelando a necessidade de um planejamento de gestão e de otimização do transporte de radiofármacos. Para que haja a implantação eficaz e segura de um sistema de gestão de transporte de radiofármacos se faz necessário incluir os componentes unidade de produção, itinerário otimizado, unidades consumidoras e os atributos tráfego, urbanização, tempo climático, hidrografia, relevo e aglomerados subnormais (favelas). Esse estudo visa demonstrar o uso de uma ferramenta de modelagem geoespacial através do Sistema de Informação Geográfica para o gerenciamento do transporte de radiofármacos. A área de estudo é a cidade do Rio de Janeiro onde é feita a localização da instalação de produção, dos consumidores e a projeção de rotas rápidas e seguras para o transporte de radiofármacos. A análise geoespacial permitiu a compreensão da distribuição espacial e a identificação de pontos críticos ao transporte dos radiofármacos. Os modelos de rotas ideais foram concebidos a partir da unidade de produção no IEN/CNEN até os consumidores destacando também os riscos no transporte. O modelo proposto pode ser usado como ferramenta de apoio à tomada de decisões na gestão segura do transporte de radiofármacos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Informação Geográfica, Transporte, Segurança.

ABSTRACT

In the city of Rio de Janeiro there is a radiopharmaceutical production unit in Nuclear Engineering Institute of the National Nuclear Energy Commission (NEI/NNEC) that distributes this material to various health facilities and research. Such materials due to their chemical characteristics require a rapid deployment and security between local production and consumption, revealing the need for management planning and optimization of radiopharmaceuticals transport. For there to be effective and safe implementation of a radiopharmaceutical transport management system it is necessary to include the components production unit, optimized route, consumer units and attributes traffic, urbanization, climate weather, hydrography, relief and subnormal settlements (slums). This study aims to demonstrate the use of a geospatial modeling tool through the Geographic Information System for the management of radiopharmaceuticals transport. The study area is the city of Rio de Janeiro where it is made the location of the production facility, consumers and the projection of fast and safe routes for the transport of radiopharmaceuticals. The geospatial analysis allowed the understanding of the spatial distribution and the identification of critical points transport of radiopharmaceuticals. The models of optimal routes were designed from the production unit at NEI/NNEC to consumers also highlighting the risks on shipping. The proposed model can be used as a support tool for decision-making on the safe management of radiopharmaceuticals transport.

KEYWORDS: Geographic Information System, Transportation, Security.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estrutura do sistema de rastreamento e localização de fontes radioativas	29
Figura 2: Satélites GPS	30
Figura 3: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica	32
Figura 4: Sobreposição de camadas (Overlay Mapping)	34
Figura 5: Escala Grande	36
Figura 6: Escala Pequena	37
Figura 7: Ruas alagadas	42
Figura 8: Deslizamento de encostas	43
Figura 9: Manifestação violenta	44
Figura 10: Mapa da Divisão de Radiofármacos do IEN e Unidades de Saúde	49
Figura 11: Shape dos municípios de Estado do Rio de Janeiro	50
Figura 12: <i>Shape</i> do município do Rio de Janeiro com bairros	51
Figura 13: Fluxograma destacando a metodologia do modelo de SIG	52
Figura 14: Mapa do Resultado do "Overlay Mapping" na espacialização de dados da cidade do Rio de Janeiro	57
Figura 15: Mapa de Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro (Uso Sustentável), 2015	77
Figura 16: Mapa de Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro (Proteção Integral), 2015	78
Figura 17: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Cidade do Rio de Janeiro	79
Figura 18: Mapa de Setores Censitários Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro, 2010	80
Figura 19: Mapa das Principais Vias de Circulação da Cidade do Rio de Janeiro	81
Figura 20: Mapa de Fluidez - Tráfego da Cidade do Rio de Janeiro - Abril de 2015	83
Figura 21: Mapa de Chuva - Média Anual - Cidade do Rio de Janeiro - 2011	84
Figura 22: Mapa Hidrográfico da Cidade do Rio de Janeiro	85
Figura 23: Mapa da Ocupação Urbana (Densidade Demográfica) da Cidade do Rio de Janeiro	86
Figura 24: Mapa Geomorfológico da Cidade do Rio de Janeiro	87
Figura 25: Mapa de Favelas da Cidade do Rio de Janeiro, 2010	88
Figura 26: Mapa das Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro	89
Figura 27: Mapa da rota IEN-C1 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Clínica de	97

Medicina Nuclear Villela Pedras (Centro)

Figura 28: Mapa da rota IEN-C2 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras (Leblon) 98

Figura 29: Mapa da rota IEN-C3 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Hospital Naval Marcílio Dias (Lins de Vasconcelos) 99

Figura 30: Mapa da rota IEN-C4 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para INCA (Centro) 100

Figura 31: Mapa da rota IEN-C5 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Instituto Nacional de Cardiologia Laranjeiras (Laranjeiras) 101

Figura 32: Mapa da rota IEN-C6 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Esho Empresa de Serviços Hospitalares S.A. (Botafogo) 102

Figura 33: Mapa da rota IEN-C7 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Unimed Rio Empreendimentos Médicos e Hospitalares (Barra da Tijuca) 103

Figura 34: Mapa da rota IEN-C8 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Diagnósticos da América S.A. (Barra da Tijuca). 104

Figura 35: Mapa da rota IEN-C9 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Hospital Alvorada Taquatinga Ltda (Barra da Tijuca). 105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores e atributos associados	40
Tabela 2: Unidades de saúde compradoras de radiofármacos do IEN de 2000 a 2016	89
Tabela 3: Unidades de saúde compradoras de radiofármacos georreferenciadas de janeiro a maio de 2016	47
Tabela 4: Velocidades médias de deslocamentos e tipos de radiofármacos	48
Tabela 5: Principais rotas, tipos de radiofármacos comprados e critérios de exclusão	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA NUCLEAR	18
2.2 RADIOFARMÁCIA E MEDICINA NUCLEAR	19
2.3 LEGISLAÇÃO APLICADA AO TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS	21
2.3.1 Itinerário (rotas) de transporte de materiais radioativos	25
2.4 RADIOFÁRMACOS	26
2.5 GEOPROCESSAMENTO	27
2.6 SISTEMA GLOBAL DE POSICIONAMENTO	28
2.7 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS	34
3.2 ÁREA DE ESTUDO - IEN, CIDADE DO RIO DE JANEIRO	35
3.2.1 Descrição da área de estudo	38
3.2.2 Fatores de seleção	39
3.2.2.1 Tráfego	41
3.2.2.2 Urbanização	41
3.2.2.3 Condições Meteorológicas	41
3.2.2.4 Hidrografia	42
3.2.2.5 Relevô	43
3.2.2.6 Violência urbana (Aglomerados Subnormais - Favelas)	43
3.2.2.7 Unidades de conservação	44
3.2.2.8 Demografia - Área urbana	45
3.3 ROTEAMENTO OTIMIZADO NO TRANSPORTE DE RADIOFÁRMACOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5 CONCLUSÕES	60
5.1 TRABALHOS FUTUROS	61
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
7 ANEXO I - Mapas dos Fatores de Classificação	76

8 ANEXO II - Mapas dos Fatores de Exclusão	82
9 ANEXO III - Tabela 2: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos do IEN de 2000 a 2016	90
10 ANEXO IV - Rotas entre a Divisão de Radiofármacos do IEN e as Unidades de Saúde Clientes	96

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No Rio de Janeiro a produção de alguns radiofármacos está sob a responsabilidade do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que ao longo das últimas duas décadas forneceu radiofármacos para 117 unidades de saúde e pesquisa de estados das regiões sul, sudeste, centro-oeste e nordeste.

O presente trabalho teve como intuito a otimização do transporte, distribuição e monitoramento dos radiofármacos provenientes da Divisão de Radiofarmácia do IEN, na cidade do Rio de Janeiro. Esses radiofármacos são usados em diagnósticos e terapias oncológicas.

O IEN atualmente produz o radioisótopo iodo-123, na forma do radiofármaco iodeto de sódio, que é aplicado na medicina em diagnóstico de doenças da tireóide, tendo uma meia-vida de 13,2 horas, estando disponível para transporte a partir de 12h de segundas e quartas-feiras. O radiofármaco meta-iodobenzilguanidina, marcado com iodo-123 tem uma meia-vida de 13,2 horas, permite o diagnóstico de doenças cardíacas e tumores, estando disponível para transporte a partir das 12h de terças-feiras. E a fluordesoxiglicose é formada por moléculas de glicose, do tipo Mannose Triflate, marcadas com o radioisótopo flúor-18. A FDG é empregada na oncologia, inclusive distinguindo metástases de tumores originais, à cardiologia, neurologia e doenças infecciosas através de exames do tipo SPECT (tomografia por emissão de fóton único) ou PET (tomografia por emissão de pósitrons), esse último com uma resolução de imagem capaz de detectar tumores a partir de 2mm. A FDG tem uma meia-vida muito curta, de apenas 109 minutos, só pode ser comercializado pelo IEN para hospitais e clínicas da capital do Rio de Janeiro e cidades próximas. A FDG está disponível para transporte a partir das 10h dos dias de produção.

A garantia da qualidade dos radiofármacos produzidos pelo IEN a todo tempo é ameaçada, pois o escoamento da produção até os seus clientes sofre com os transtornos causados pela falta de rotas pré-estabelecidas, congestionamentos diários, obras, manifestações violentas e fenômenos climáticos, o que pode comprometer a qualidade dos radiofármacos e a pontualidade das entregas.

A gestão dos transportes dos radiofármacos se faz necessária para que o mesmos cheguem o mais rápido possível e em segurança às unidades de saúde a fim de garantir a qualidade dos produtos e dos tratamentos dos pacientes, pois esses fármacos radioativos

possuem meia-vida curta. Essa gestão é um desdobramento, de um conjunto de outras ações que se subdividem em: i) inventário dos radiofármacos, ii) do georreferenciamento das unidades de saúde onde são realizados os procedimentos médicos, iii) da instalação de "tags" (radiofrequência) ou Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS), como o GPS (Global Position System) nas embalagens dos radiofármacos, iv) da construção de mapas temáticos que viabilizam a visualização de cenários e por fim, v) da elaboração de uma ferramenta prática de gestão através da escolha de um Sistema de Informações Geográficas ideal para gerir e monitorar o transporte de radiofármacos.

O monitoramento ocorre a partir da verificação espacial de distribuição das unidades de saúde clientes do IEN, nesse caso em particular, na cidade do Rio de Janeiro, com intuito de adotar um sistema de informações geográficas e uma gestão do transporte de radiofármacos e, assim, buscando-se evitar que fatores externos atrasem as entregas.

Rastreabilizar o transporte de radiofármacos permite que os órgãos gestores possam manter uma vigilância constante sobre o seu deslocamento entre a Divisão de Radiofármacos e as unidades de saúde clientes. Garantindo, assim a eficácia dos tratamentos terapêuticos e dos exames de diagnósticos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Gerais

Esta dissertação tem por objetivo representar espacialmente a cidade do Rio de Janeiro, por meio de um ambiente SIG, que permita o desenvolvimento de uma gestão que oriente a otimização de rotas na distribuição de radiofármacos através da malha viária da cidade, partindo do IEN até os centros médicos consumidores, a fim de tornar seguro e o rápido o acesso aos radiofármacos.

A utilização do SIG visa reduzir o tempo de deslocamento e, conseqüentemente, o custo para os pacientes. Além disso, garantir a qualidade dos radiofármacos, pois o menor tempo no transporte assegura o menor decaimento. Portanto, o uso do SIG para a proposta descrita é perfeitamente factível e adequado para cumprir a finalidade a que se destina.

1.1.2 Específicos

- Inventariar os radiofármacos produzidos pela Divisão de Radiofármacos (DIRA) do IEN.

- Georreferenciar as unidades de saúde da cidade do Rio de Janeiro consumidoras de radiofármacos produzidos pelo IEN.
- Espacializar as informações coletadas através da construção de mapas temáticos.
- Considerar a melhor ferramenta de análise espacial e de tomadas de decisão a ser utilizada em um SIG (Sistema de Informações Geográficas).

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA NUCLEAR

A energia nuclear tem diversas aplicações, dentre elas, a aplicação de maior visibilidade se dá na conversão da energia nuclear para energia elétrica através de reatores nucleares de potência (ANEEL, 2009).

Segundo a Eletronuclear, em 2010 os Estados Unidos foram o país que mais gerou energia por fonte nuclear, sendo responsável por cerca de 32% da produção total deste tipo de energia no mundo. Também se destacaram: França (16%), Japão (11%), Alemanha (5%), Rússia (6%), Coreia do Sul (5%), Canadá (3%), Ucrânia (3%) e China + Taiwan (4%). O Brasil, por sua vez, foi responsável por 1% da geração de energia por fonte nuclear no mundo (ELETROBRAS, 2011).

As mais recentes projeções da AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica – quanto ao futuro da energia nuclear são 8% superiores do que as dos anos anteriores, com a previsão de 510 GW de capacidade instalada total em 2030 no caso de menor crescimento e de até 810 GW em caso de maior crescimento. De modo geral, a AIEA, tem estimulado os países em desenvolvimento a implantarem centrais nucleares com objetivo de reduzir o *gap*¹ entre o consumo médio e a energia total produzida (ELETROBRAS, 2011), ou seja, o consumo médio será maior que a energia total produzida.

Dentre as diversas utilizações da energia nuclear, pode-se destacar seu uso na medicina e odontologia. Nos Estados Unidos sete em cada dez americanos fizeram uso de diagnóstico por raios X ou radioterapia, o que faz aumentar a importância dos radiofármacos nos diagnósticos e nas terapias (USNRC, 2014). Já no Brasil se prevê, segundo a Portaria SAS/MS 741, 19 de dezembro de 2005, que para cada dez pacientes com câncer, seis vão precisar de exames de diagnósticos e terapias oncológicas. Esses números corroboram a relevância social da energia nuclear (FERRIGNO, 2013) e alavancam a importância da radiofarmácia no âmbito da medicina nuclear no desenvolvimento de radiofármacos a serem aplicados no tratamento e na prevenção de diversas doenças.

¹ Gap é uma palavra de origem inglesa e significa quebra de continuidade, ou seja, atraso.

2.2 RADIOFARMÁCIA E MEDICINA NUCLEAR

Em 1895, Wilhelm Conrad Röntgen, em meio as pesquisas com um tubo de raios catódicos, percebeu que algo saía do tubo, atravessava obstáculos e atingia o platinocianeto. Por ser até então desconhecido os raios que saíam do tubo, Röntgen os chamou de "raio X". Mesmo depois de entendido o fenômeno físico, devido a grande repercussão da descoberta, os raios Röntgen, como são conhecidos na Alemanha, são chamados até hoje de raios X (MARTINS, 1998).

No ano seguinte ao das descobertas de Röntgen, Becquerel (1896, apud MARTINS, 1990, p. 36) descobriu que o urânio provocava fenômenos semelhantes aos dos raios X. No De 1897 a 1898, porém, Marie e Pierre Curie descobriram os elementos tório, polônio e rádio e, com isso, criaram o termo radioatividade, descrevendo a radiação ativa como sendo uma propriedade dos elementos químicos (MARTINS, 1990). Segundo Mould (1995, apud NAVARRO et al, 2008), tais descobertas foram rapidamente aplicadas em diagnósticos e terapias médicas.

Segundo Early e Landa (1995, apud OLIVEIRA e LEÃO, 2008, p.377):

"os radiofármacos começaram a ser utilizados em 1905" [...],

porém Blumgart e Yens (1926, apud OLIVEIRA e LEÃO, 2008, p.377) afirmaram que:

"o primeiro uso de radionuclídeos² em humanos ocorreu em 1927" [...].

De acordo com Hertz, Roberts, Evans (1938, apud OLIVEIRA e LEÃO, 2008, p.377) foi a partir de 1938, que os estudos sobre a função da tiróide com o uso de iodo-121 que marcaram o início do uso sistemático dos radionuclídeos na clínica médica.

Para OLIVEIRA e LEÃO (2008), os radiofármacos tiveram duas fases, a Fase Pré-Tecnécio e a Fase Pós-Tecnécio. A Fase Pré-Tecnécio foi realçada a partir da publicação de um artigo do Oak Ridge National Laboratories (ORNL) na Revista Science, em 14 de junho de 1945, divulgando que os radionuclídeos estavam aptos ao consumo pelo setor privado, mais tarde produção do ORNL também passou a ser disponibilizado pelo Brookhaven National Laboratories. Esses radionuclídeos eram oferecidos sem garantias de controles

² Radionuclídeos são isótopos instáveis, os quais sofrem decaimento radioativo (perda de partículas e/ou de energia pelos núcleos dos elementos radioativos) e transmutam-se em novo elemento.

biológicos que só passaram a ser adotadas mais tarde. Esses controles passaram a existir depois que a Abbot Laboratories resolveu adquirir a produção de radionuclídeos dos laboratórios supracitados e transformá-los em radiofármacos para uso médico, surgia a primeira unidade de produção de radiofármacos no mundo. Já à fase Pós-Tecnécio, esta foi alavancada com o advento do tecnécio (Tc-99m), conhecido como Elemento Número 43. O primeiro obstáculo em relação ao uso do tecnécio na medicina nuclear foi a sua meia-vida de 6 horas (curta). Porém, chamava a atenção por possuir uma energia gama favorável para formação de imagens (140 keV) e, assim, a Brookhaven National Laboratories o enxergou como candidato ideal para desenvolver uma metodologia para a formação de radionuclídeos de meia-vida curta. Tais pesquisas resultaram, em 1957, no desenvolvimento do gerador de tecnécio, Iodo-131 para aplicação médica.

Staiger (2005) afirma, que várias monografias, destacando estudos sobre os radiofármacos, foram publicadas, em 1955, na US Pharmacopoeia, onde algumas já destacavam a importância dos radiofármacos de meia-vida curta, o que apontava para a necessidade de se formar mão de obra qualificada para lidar com a produção radiofármacos, sendo os primeiros cursos oferecidos pela Universidade de Purue (West Lafayette - EUA), nas décadas seguintes as ofertas de cursos cresceram muito, gerando um grande volume de profissionais altamente qualificados que desenvolveram a radiofarmácia.

No Brasil, em 25 de janeiro de 1958, foi inaugurado oficialmente o reator nuclear IEA-R1 no Instituto de Energia Atômica, atual Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), localizado no campus da Universidade de São Paulo (USP), sendo empregado em pesquisas na área de radiatividade e na produção de radioisótopos usados na medicina (FOLHA DE SÃO PAULO, 2008).

O IPEN passou a ser a principal unidade produtora da CNEN, produzindo atualmente 38 diferentes radiofármacos, incluindo o flúor FDG-18F, fornece fios de Irídio-192 e sementes de Iodo-125, ambos utilizados em tratamentos oncológicos, por meio de procedimentos de braquiterapia, além de ser o único produtor de Geradores de Tecnécio-99m no país. Além do IPEN, o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), localizado no Rio de Janeiro, produz o FDG-18F, Iodo-123 ultra-puro e Metaiodobenzilguanidina marcada com Iodo-123; o Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte, produz o FDG-18F e Na18F; e o Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE), em Recife, produz somente o FDG-18F (CNEN, 2015).

Esses centros de produção de radiofármacos atendem a todo território nacional, promovendo o deslocamentos desses medicamentos pelo país, o que gerou a necessidade de regulamentação do transporte desses materiais radioativos.

2.3 LEGISLAÇÃO APLICADA AO TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS

Na classificação e definição das classes de produtos perigosos encontrados na Portaria Ministério dos Transportes Nº 204, de 20 de maio de 1997, os materiais radioativos são da classe 7, o que exige regulamentação devido ao risco de exposição de pessoas, bens e ao meio ambiente a radiação ionizante. A regulamentação do transporte de produtos perigosos no Brasil teve início com o Decreto Nº 96.044, de 15 de agosto de 1988, para o transporte rodoviário, e com o Decreto Nº 98.973, de 21 de fevereiro de 1990, para o transporte ferroviário, sendo ambos atualizados pelo Decreto Nº 4.097, de 23 de janeiro de 2002.

O transporte de materiais radioativos no Brasil, seja por via aérea, marítima, ou terrestre, deve cumprir as exigências da Norma CNEN-NE-5.01 e demais regulamentos nacionais para a segurança do transporte de produtos perigosos. No caso do transporte de materiais radioativos a norma CNEN-NE-5.01 estabelece requisitos de segurança e proteção radiológica a serem atendidos desde a origem até o destino final das remessas, de forma a assegurar o adequado nível de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente aos efeitos nocivos das radiações ionizantes.

Os requisitos da norma se aplicam às condições rotineiras, normais e acidentais que possam ocorrer durante uma operação de transporte.

Além do regulamento da CNEN o transporte de materiais radioativos deve atender aos documentos normativos publicados pelas agências reguladoras do transporte modal, isto é, Resolução 420 da ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) que substituiu a Portaria MT nº 204/97, RBC 175 da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), NORMAM 01, 02 e 29 da Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil e Resolução 1765 da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários). Aplicam-se também requisitos da Resolução CONAMA 237 e da Lei Complementar 140 regulamentada pela Instrução Normativa IBAMA Nº 5.

A CNEN-NE-5.01 foi elaborada a partir da revisão de 1985 do Regulamento para o Transporte Seguro de Materiais Radioativos, a Safety Series No. 6, de 1961, da AIEA (XAVIER, MORO e HEILBRON, 2006). A Seção III da Resolução Nº 3665/11, de 4 de

maio de 2011, da ANTT, dispõe sobre as rotas a serem escolhidas a fim de garantir a saúde das pessoas, a segurança pública e a qualidade do meio ambiente. Em 25 de março de 2013, entrou em vigor a [CNEN-NN 5.04 que dispõe sobre o rastreamento de veículos de transporte de materiais radioativos].

A Norma CNEN-NE-5.01 determina, com relação ao Transporte de Materiais Radioativos, requisitos de radioproteção e segurança a fim de garantir um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante, compreendendo: a) especificações sobre materiais radioativos para transporte; b) seleção do tipo de embalado; c) especificação dos requisitos de projeto e de ensaios de aceitação de embalados; d) disposições pertinentes ao transporte propriamente dito; e e) responsabilidades e requisitos administrativos. Sendo aplicada: a) ao transporte por terra, água ou ar; b) ao projeto, fabricação, ensaios e manutenção de embalagens; c) à preparação, expedição, manuseio, carregamento, armazenagem em trânsito e recebimento no destino final de embalados; e, d) ao transporte de embalagens vazias, que tenham encerrado material radioativo. Não sendo aplicada ao transporte que ocorra: a) no interior de instalações nucleares ou radiativas, a ser efetuado e supervisionado de acordo com procedimentos elaborados pelo Supervisor de Radioproteção da instalação; ou, b) através de seres humanos nos quais tenham sido implantados marcapasso cardíaco ou outros aparelhos radioisotópicos ou que tenham sido tratados com produtos radiofarmacêuticos; ou c) tendo o material radioativo como parte integrante do meio de transporte.

Segundo o Art. 23 do Regulamento do Serviço Postal aprovado pelo Decreto Federal Nº 83.858, de 15/8/79, não é permitido o transporte de substância radioativa por via postal. Esse decreto foi revogado pelo Decreto de 15 de fevereiro de 1991 que manteve a proibição. E a partir da Posição Regulatória 5.01/001, publicada no DOU Nº 182, de 20/09/2006, Pág. 15 – Seção 1, também fica proibido o transporte de materiais radioativos por motocicletas devido ao risco maior de acidentes.

A Resolução 420, de 12 de fevereiro de 2004, da ANTT, aprovou às instruções complementares do transporte terrestre de produtos perigosos, atualizando as seguintes portarias:

- Portaria MT Nº 261, de 11 de abril de 1989, promoveu ajustes técnico-operacionais no Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.

- Portaria MT Nº 204, de 20 de maio de 1997, aprovou as Anexas Instruções Complementares ao Regulamento dos Transportes Rodoviário e Ferroviário de Produtos Perigosos.
- Portaria MT Nº 101, de 30 de março de 1998, que dispõe sobre alterações na Regulamentação para os Transportes Rodoviário e Ferroviário de Produtos Perigosos.
- Portaria MT Nº 254, de 10 de julho de 2001, que alterou as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos, anexas à Portaria nº 204/MT, de 20/5/97.

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil através da RBAC 175, aprovado pela Resolução Nº 129, de 8 de dezembro de 2009, expõe que os materiais radioativos não poderão ser transportados em aeronaves civis sem a competente autorização da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, quando necessária, atendidos os regulamentos que dispõem sobre o assunto, os materiais radioativos para uso médico definidos pela ANAC em conjunto com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA e com a CNEN ficam isentos de autorização e esses deverão ter prioridade sobre as bagagens despachadas e demais cargas preparadas para o embarque.

As NORMAM 01, 02 e 29 da Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil têm o propósito de estabelecer normas da Autoridade Marítima para embarcações destinadas à operação em mar aberto, empregadas na navegação interior e ao transporte de cargas perigosas respectivamente, onde o transporte de substâncias radioativas devem estar em conformidade com as normas da CNEN.

A Resolução 1765 da ANTAQ tem por objeto estabelecer procedimentos para operações com produtos perigosos quando em trânsito por instalações portuárias situadas dentro ou fora da área do porto organizado.

Conforme disposto no Art. 2, § 1º da Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997, estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, parte integrante desta Resolução, como o transporte de cargas perigosas, o transporte por dutos, marinas, portos e aeroportos, os terminais de minério, petróleo e derivados e os produtos químicos e os depósitos de produtos químicos e produtos perigosos.

A Lei Complementar 140, de 8 de dezembro de 2011, regulamentada pela Instrução Normativa IBAMA Nº 5, fixa normas para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência

comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora, onde o Art. 7º destaca que

"são ações administrativas da União:

[...]

XIV - promover o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades:

[...]

g) destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN); ou

[...]

XXIV - exercer o controle ambiental sobre o transporte marítimo de produtos perigosos; e

XXV - exercer o controle ambiental sobre o transporte interestadual, fluvial ou terrestre, de produtos perigosos."

No âmbito da cooperação entre as esferas de poder o Art. 8º estabelece que

"são ações administrativas dos Estados:

[...]

XXI - exercer o controle ambiental do transporte fluvial e terrestre de produtos perigosos, ressalvado o disposto no inciso XXV do art. 7º."

A regulamentação dessa lei se deu com a Instrução Normativa IBAMA Nº 5, de 10 de maio de 2012, que estabeleceu disposições transitórias de autorização ambiental para o exercício da atividade de transporte marítimo e interestadual, terrestre e fluvial, de produtos perigosos enquanto o IBAMA desenvolvia e implantava o Sistema Nacional de Transporte de Produtos Perigosos (SNTPP), tendo como objetivo o cumprimento das atribuições legais expressas na Lei Complementar Nº 140/2011. Cabe ressaltar que a IN IBAMA 05/2012 teve o prazo de 24 meses para ser desenvolvida, implantada e entrar em operação, portanto, a partir de maio de 2014 entrou em operação o SNTPP, onde o controle ambiental ocorre através da

obtenção de informações sobre “quem”, “quando”, “o quê” e “onde” está sendo transportado o produto perigoso e a análise do IBAMA para todo o transporte de produtos Classe 7 enquadrado no Termo de Referência IBAMA/CNEN atende ao disposto na letra g, inciso XIV, art. 7º da LC 140/2011.

2.3.1 Itinerários (rotas) de Transporte de Materiais Perigosos

De acordo com a legislação vigente, em particular a Resolução Nº 3.665/11, de 4 de maio de 2011, a qual atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, em seu Art. 15, estabelece que

"O condutor de veículo transportando produtos perigosos deve evitar o uso de vias em áreas densamente povoadas ou de proteção de mananciais, de reservatórios de água ou de reservas florestais e ecológicas, ou que delas sejam próximas",

Em seu Art. 16 destaca que:

"O expedidor deve encaminhar as informações referentes aos fluxos de transporte de produtos perigosos à autoridade competente, conforme definido pela ANTT".

Não obstante, em seu Art. 17 expõe que:

"As autoridades com circunscrição sobre as vias podem determinar restrições ao seu uso, ao longo de toda a sua extensão ou parte dela, sinalizando os trechos restritos e assegurando percurso alternativo, assim como estabelecer locais e períodos com restrição para estacionamento, parada, carga e descarga".

Nesse aspecto o transportador de radiofármacos terá que planejar suas entregas com a autoridade competente à via de circulação, em consonância com o descrito no Art. 18:

"Caso a origem ou o destino dos produtos perigosos exija o uso de via restrita, tal fato deve ser comprovado pelo transportador perante a autoridade com circunscrição sobre a mesma, sempre que solicitado".

Por fim, fica estabelecido no Art. 19 que:

"O itinerário deve ser programado de forma a evitar a presença de veículo transportando produtos perigosos em vias de grande fluxo de trânsito, nos horários de maior intensidade de tráfego".

2.4 RADIOFÁRMACOS

Os radiofármacos são preparações farmacêuticas com finalidade diagnóstica ou terapêutica que, quando prontas para o uso, contêm um ou mais radionuclídeos. Os radiofármacos compreendem, também, os componentes não radioativos para marcação e os radionuclídeos, incluindo os componentes extraídos dos geradores de radionuclídeos (ANVISA, 2009). Os radiofármacos são produzidos a partir de radioisótopos que são obtidos em reatores nucleares ou em aceleradores de partículas e passaram a ser amplamente utilizados no tratamento e diagnósticos de doenças.

No Rio de Janeiro, a partir de 1974, o IEN iniciou suas pesquisas com radioisótopos no Ciclotron CV-28 que resultaram atualmente na produção de radiofármacos para exames de diagnósticos (OLIVEIRA e ANTUNES, 2011). A adoção do KIPROS (Karlsruhe Iodine Production System), ou seja, do Sistema de Produção de Iodo Karlsruhe, a partir de 1998, para produção do radioisótopo Iodo-123, foi marcante para a Divisão de Radiofármacos do IEN, pois gerou um aumento de 40% na produção no biênio 2001/2002 (IEN, 2002). Esta prática originou a produção da Metaiodobenzilguanidina marcada com Iodo-123 (MIBG) que é amplamente aplicado na cardiologia

A produção de radiofármacos de meia-vida curta, inferior a duas horas, pelo IEN, teve início, em 2000, com a importação de uma unidade de produção ^{18}FDG , da empresa belga Ion Beam Application (IBA), que foi ligada ao Ciclotron CV-28. Devido a sua meia-vida curta, 1,8h, a sua distribuição não pode ser para unidades de saúde ou pesquisa que estejam a mais de 200km. Essa produção tornou-se de grande importância devido a sua aplicação, pois a associação do ^{18}FDG com equipamentos de geração de imagens PET (Positron Emission

Tomography) e/ou SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) é amplamente utilizado na oncologia (visualiza e distingue se os tumores são malignos ou benignos, se estão em fase primária ou em metástase), na cardiologia (verifica o nível de comprometimento depois de um acidente cardiovascular). A tecnologia PET, na neurologia, auxilia no diagnóstico das doenças de Parkinson e de Alzheimer, da Síndrome de Tourettes e de danos cerebrais em pessoas dependentes de drogas (SANTOS, BRAGHIROLI, SUITA, 2002).

Em 2002, o Instituto de Engenharia Nuclear recebeu um novo sistema de produção e síntese do ^{18}F FDG, o RDS-111 de CTI/Siemens (EUA). Com isso, no ano seguinte (2003) dava-se início a produção de ^{18}F FDG de duas maneiras independentes, com diferentes instalações, uma delas como um "backup". A redundância foi criada para garantir o processo de entrega (OLIVEIRA e ANTUNES, 2011).

2.5 O GEOPROCESSAMENTO

Geoprocessamento é um conjunto de técnicas que vão da coleta ao processamento das informações espaciais, através de programas computacionais. As diferentes técnicas englobam o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), sendo o Sistema Global de Posicionamento o mais conhecido e popularmente chamado de GPS, Sensoriamento Remoto, cartografia digital e SIG (SILVA, 2009).

A utilização das técnicas de Geoprocessamento vem crescendo em todas as áreas que se utilizam de dados espaciais, tornando-se ferramenta essencial no processo de entendimento da dinâmica espacial, permitindo a tomada de decisões a fim de colocar em prática determinada ação, em diversas áreas de atividade profissional (FONTES, 2005).

As fotografias aéreas e imagens de satélites possibilitaram a elaboração de mapas de grandes áreas com alta precisão. Os mapas temáticos têm sido uma importante fonte de informações para a exploração, reconhecimento, mapeamento e manejo de recursos naturais (HOLGADO e ROSA, 2011).

O uso do espaço como categoria de análise, não é apenas para localizar um evento (ou um ponto), já que cada elemento constituinte do espaço tem um valor particular dado pelo lugar (SANTOS, 1988). Através do espaço, podemos analisar o inter-relacionamento dos eventos que nele ocorrem (BARCELLOS e BASTOS, 1996). Ao se introduzir a categoria espaço em estudos de saúde, não busca-se apenas fazer simples comparações entre regiões,

mas sim localizar o evento e associá-lo às demais informações contidas no espaço. Para essa associação faz-se necessário o uso do Geoprocessamento, que nos permite manipular conjuntamente dados socioeconômicos (como faixa etária, renda, etc.), com dados territoriais (área, extensão, localização) e dados ambientais, permitindo o referenciamento preciso dos dados espaciais (BARCELLOS e BASTOS, 1996).

Dessa forma, o Geoprocessamento tornou-se muito importante como instrumento nas análises espaciais envolvendo a saúde.

2.6 SISTEMA GLOBAL DE POSICIONAMENTO

O Sistema Global de Posicionamento (GPS) é um sistema de posicionamento contínuo e de determinação de velocidade, baseado em satélites e operado pelo Departamento de Defesa dos EUA, com precisões de posicionamento que podem variar de décimos de mm, até 10m, dependendo do método e equipamentos empregados (PINA, 2000).

Esse sistema de satélites de navegação global, norte americano, é o mais difundido, mas existem outros, como: o GLONASS (Global Navigation Satellite System) da Rússia, o GALILEO (Sistema Europeu de Satélites de Navegação Civil) da União Europeia e o COMPASS (Sistema Experimental de Navegação por Satélite) da China. Desses quatro sistemas apenas dois estão em operação: o GPS e o GLONASS (FILHO, 2012)

Na vanguarda do uso do Sistema GPS, foi criado o RADLOT: sistema de Localização e Rastreamento de Fontes Radioativas (RADLOT). Esse foi desenvolvido e é utilizado pelo Instituto Coreano de Segurança Nuclear para rastrear 1.400 fontes radioativas, o que permite o acompanhamento em tempo real dessas fontes com base em sinais de satélites GPS e redes de telecomunicação móveis, ver figura 1 (KINS, 2013).

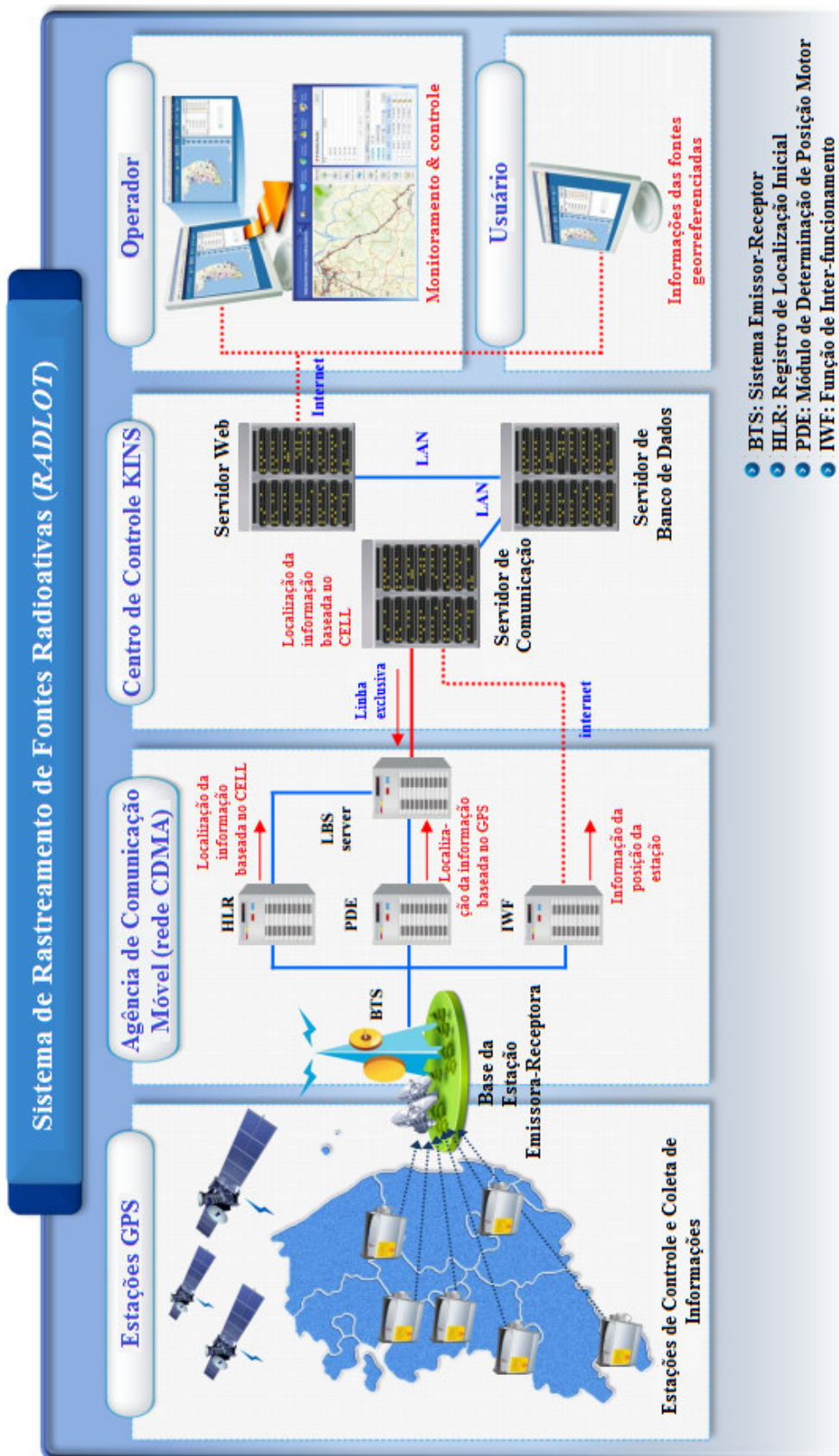


Figura 1: Estrutura do Sistema de Rastreamento e Localização de Fontes Radioativas (RADLOT)

Fonte: KINS, 2013.

No âmbito do projeto-piloto, a Coreia do Sul forneceu e instalou o sistema no Vietnã, com assistência da AIEA. Os resultados e as lições aprendidas estão a disposição dos outros países que se interessem pelo sistema para ajudar a melhorar a segurança nuclear nacional e global, principalmente no que diz respeito a proteção e segurança física no transporte de materiais radioativos (KINS, 2013).

O Sistema GPS permite localizar as fontes radioativas através do posicionamento de pontos que nos dão a latitude (x), longitude (y) e altitude (z) dessa fonte, graças à utilização de pelo menos quatro satélites eletronicamente visíveis, como pode ser visto na figura 2.

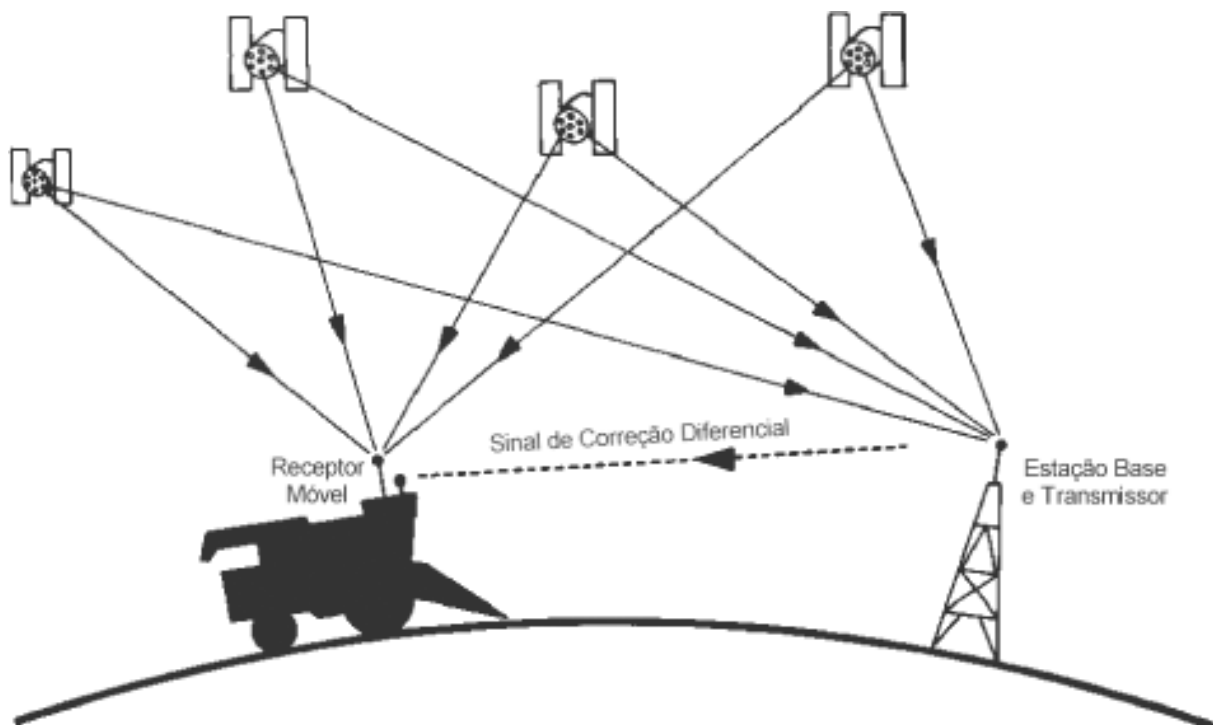


Figura 2: Satélites GPS

Fonte: MORGAN, M.; ESS, D. 1997

O posicionamento por meio do GPS baseia-se na triangulação a partir de satélites (da série NAVSTAR). Para essa triangulação o sistema determina a distância receptor satélite, através do tempo que um sinal de rádio leva, a partir de sua saída do satélite, para chegar ao receptor, o que é feito através de uma correlação dos códigos gerados e recebidos. Para completar o cálculo da posição do receptor são necessários, ainda, o conhecimento da posição no espaço de cada satélite usado na triangulação e também a correção dos efeitos provocados sobre os sinais, tanto por sutis diferenças no fator tempo, quanto pela atmosfera terrestre. Para

a determinação da posição tridimensional do receptor (sobre o ponto de interesse) é necessária a captação dos sinais de no mínimo quatro satélites (VETTORAZZI, 1996).

Dessa forma, três satélites dão as distâncias e um "corrige" a recepção do sinal resultando nas coordenadas geográficas do ponto e sua altitude. Sendo assim, toda e qualquer movimentação realizada na fonte radioativa pode ser monitorada em tempo real (EMBRAPA, 2013).

2.7 O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Segundo o Comitê Federal de Coordenação Inter-agências dos EUA (FICC) um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um "sistema envolvendo hardware, software e procedimentos estruturados para dar suporte à captura, gerenciamento, manipulação, análise, segmentação e visualização de dados espacialmente georreferenciados para a solução de problemas complexos de gerenciamento e planejamento (ANTENUCCI et al.,1991).

Portanto, os Sistemas de Informação Geográfica são definidos pela integração de recursos humanos, recursos técnicos e grandes bases de dados permitindo ao usuário coletar, armazenar, analisar e manipular dados geográficos (ou dados georreferenciados) de forma integrada, e proporcionando uma maior organização das informações, com o consequente aumento de eficácia na gestão dos recursos públicos (CÂMARA et al.,1996), contribuindo nas tomadas de decisões. A figura 3 indica o relacionamento entre os componentes supracitados.

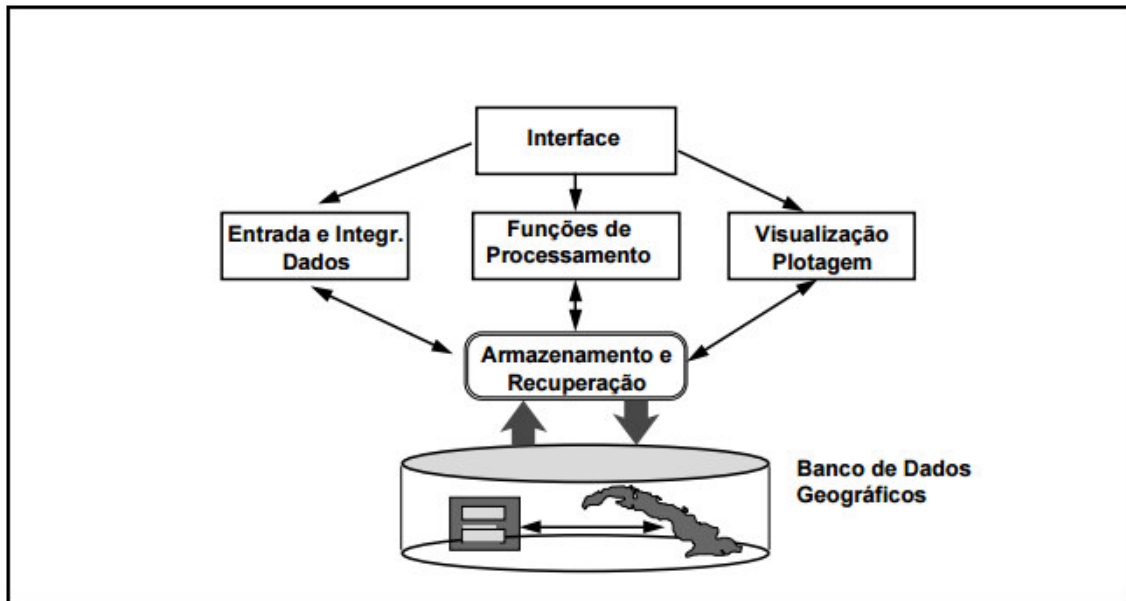


Figura 3: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.

Fonte: CÂMARA et al., 1996.

Para MEYERS et al (2005) são inúmeras as aplicabilidades de SIGs, destacam-se aquelas que são de aplicações **operacionais**, como nos Transportes (gestão da infraestrutura viária e roteamento), nas Redes de Utilidades (gerenciamento de águas, redes de eletricidade e gás e redes de telecomunicações), no Planejamento Urbano (cadastro de imóveis - IPTU, gestão de equipamentos urbanos e ações sociais), no Geomarketing (mapeamento de clientes potenciais, análise espacial da demanda e análise da concorrência) e na Segurança Pública (aspectos logísticos, mapeamento de crimes e planejamento de operações especiais); e **socioambientais**, como na Gestão Ambiental (estudos ambientais, análise de riscos ambientais e zoneamento ecológico-econômico), na Agricultura (agricultura de precisão), na Saúde Pública (estudos epidemiológicos), na Reconstrução de Países (caso da República Sul Africana) e na Geografia Política (delinear os limites municipais e estaduais, dando suporte a ações políticas).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse estudo consistiu em pesquisa bibliográfica e de campo para formação de um banco de dados sobre a produção de radiofármacos pela Divisão de Radiofármacos do IEN-CNEN e a sua distribuição para as unidades de saúde ou de pesquisas clientes existentes na Cidade do Rio de Janeiro. Tal estudo objetiva dar suporte a criação de um sistema de informações geográficas para o mapeamento da região a partir das unidades de saúde consumidoras, além da possibilidade de monitorar e rastrear os radiofármacos quando transportados entre as unidades de saúde e o IEN, de modo a evitar-se furto, roubo, extravio e/ou acidentes, para tanto adotou-se como método de superposição de cartas temáticas, o "Overlay Mapping", um método de análise espacial que favorece a representação visual "onde as técnicas cartográficas são utilizadas na localização/extensão de impactos, na determinação de aptidão e uso dos solos e de elementos relevantes, como áreas de importante interesse ecológico, cultural, arqueológico e socioeconômico, áreas de potencial mineral, entre outros, perfeitamente adaptável a diagnósticos e avaliações ambientais. Estes mapas desenhados em material transparente, quando sobrepostos orientam os estudos em questão. Estas cartas se interagem para produzir a síntese da situação ambiental de uma área geográfica. Ressalte-se a utilidade desta metodologia para a localização, conflitos de uso e outras questões de dimensão espacial, como a comparação entre alternativas a serem analisadas num Estudo de Impacto Ambiental de um determinado empreendimento" (BASTOS e ALMEIDA, 2000), facilitando, assim, o auxílio nas tomadas de decisão. Portanto, baseando-se no uso de técnicas de geoprocessamento mapas temáticos são construídos, o que facilita a compreensão dos fenômenos espaciais. Esses mapas são elaborados a partir do ArcGis 10.1³, no âmbito do Laboratório de Geoprocessamento (LAGEPRO) do Departamento de Geografia Física do Instituto de Geografia da UERJ, e quando sobrepostos, orientam os estudos em questão (figura 4). Segundo Bastos e Almeida (2000), as cartas interagem para produzir a síntese da situação ambiental do espaço geográfico, podendo ser elaborados de acordo com os conceitos de vulnerabilidade ou

³ O ArcGIS é um pacote de softwares da ESRI (Environmental Systems Research Institute) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas, disponibilizando em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) uma gama de ferramentas de forma integrada e de fácil utilização.

potencialidade dos recursos socioambientais (podendo-se obter mapas de restrição ou de aptidão).

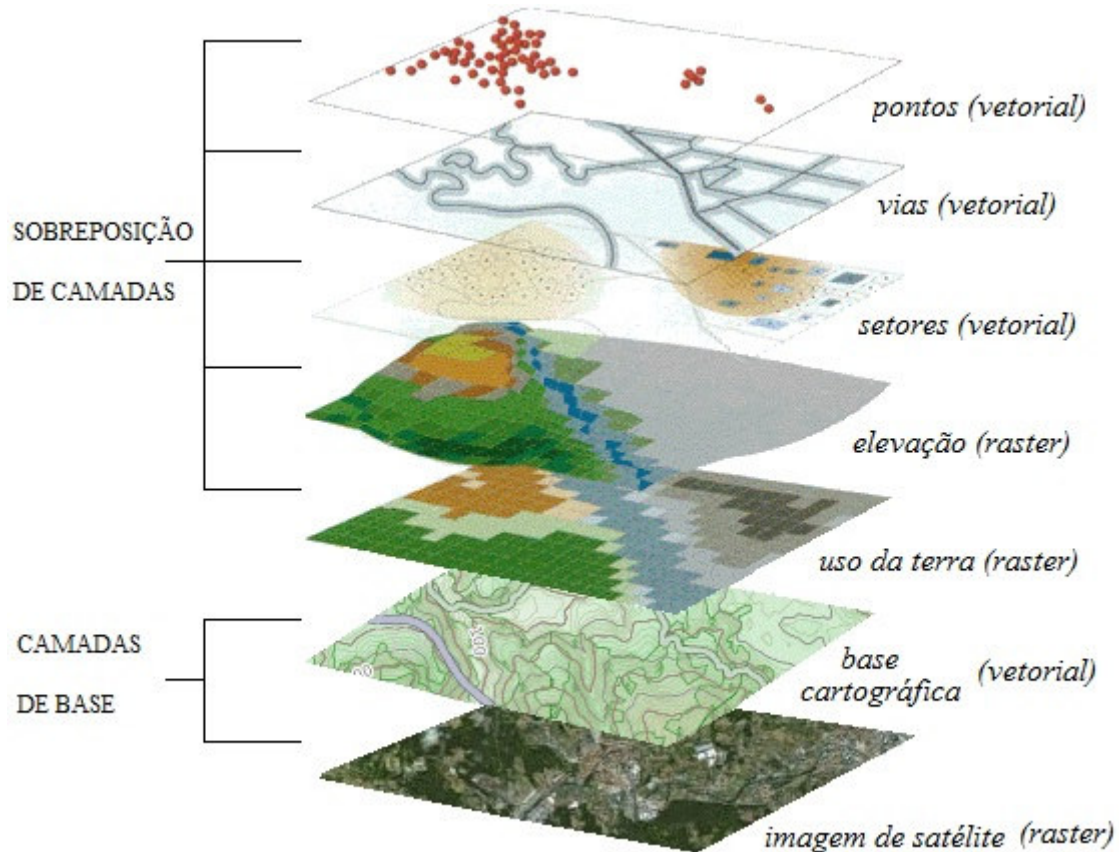


Figura 4: Sobreposição de Camadas (Overlay Mapping)

Fonte: STOCKER e BURKE, 2006.

3.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Recolheu-se das publicações da AIEA, a Safety Series No. 6, de 1961, a Safety Standard Series nº TS-R-1, de 2005, a Specific Safety Requirements Nº SSR-6, de 2012, e a Safe Transport of Radioactive Material, Training Course Series, de 2006, para reunir os assuntos correlatos ao estudo proposto. Como também consultou-se na CNEN as normas NE-5.01, NE-5.01/100 e NE-5.04, referente ao Transporte de Materiais Radioativos.

Buscou-se decretos, portarias, resoluções e normas em agências reguladoras, como a ANTT, ANAC e ANTAQ, na Marinha e nos Ministérios dos Transportes e Meio Ambiente.

Coletou-se informações referentes às unidades de saúde que comprem radiofármacos do IEN para a criação de um inventário e uma tabela que destaque os endereços das unidades de saúde para serem georeferenciados para que seja feito o roteamento.

As informações coletadas e espacializadas da Cidade do Rio de Janeiro foram obtidas a partir das bases digitais disponíveis no IBGE⁴ e INEA⁵.

Junto a Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN foram coletados os dados referentes aos clientes da Divisão de Radiofármacos.

3.2 ÁREA DE ESTUDO - IEN NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Este trabalho propõe um método de gestão de transporte para monitorar e rastrear os radiofármacos comercializados a partir do IEN até as unidades de saúde consumidoras da cidade do Rio de Janeiro a fim de garantir que o seu deslocamento seja rápido e seguro.

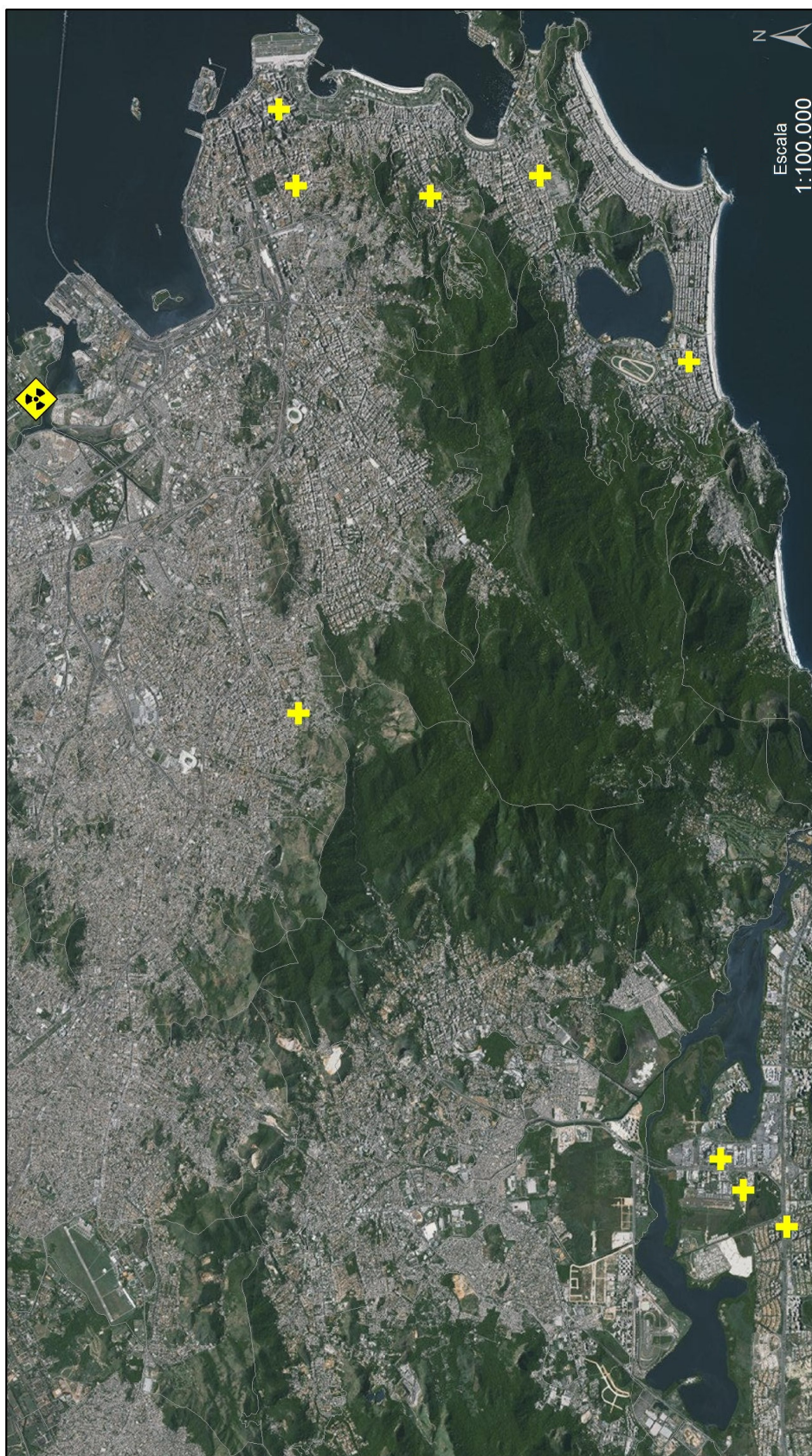
Para efeito deste trabalho, foram analisadas a legislação de trânsito e as normas referentes ao transporte de materiais radioativos na tentativa de encontrar rotas que viabilizem o escoamento da produção de radiofármacos a partir do IEN.

Na escolha da área de estudo, levou-se em consideração o seguinte aspecto: A adequação da escala cartográfica para análises, pois a escala informa a relação entre o tamanho do espaço real e a redução feita para representá-lo. Logo, sendo o objeto de estudo a cidade do Rio de Janeiro, um espaço menor a ser representado, torna-se mais adequado o uso de uma escala de 1:100.000, pois através dessa escala temos detalhes suficientes para permitir a análise proposta pelo trabalho. O uso de uma escala pequena (1:8.000.000) inviabilizaria as análises, pois perderíamos detalhes, ou seja, o espaço a ser representado é maior, o que generaliza as informações, causando grande perda nas análises (SKB, 1995). As figuras 5 e 6 exemplificam tal fato.

⁴ A base digital fornecida pelo IBGE encontra-se na escala 1:50.000 e nas seguintes coordenadas geográficas: Latitudes: no extremo Norte 22° 45' 05"S e no extremo Sul 23° 44' 10" S; e Longitudes: no extremo Leste 46° 06' 30"W e no extremo Oeste 43° 47' 40"W.

⁵ O INEA disponibiliza bases digitais temáticas do estado que deram suporte as análises dos dados e a elaboração de mapas ilustrativos.

ESCALA GRANDE - REPRESENTAÇÃO DA DIRA (IEN) E UNIDADES DE SAÚDE CLIENTES RIO DE JANEIRO - 2016



Legenda

- Divisão de Radiofármacos
- Unidades de Saúde
- Bairros - SIURB/PORJ

Coordenadas Geográficas
Datum Horizontal
SIRGAS 2000

Google Earth

Apoio:

Fontes:

Área Comercial do Serviço Financeiro

INSTITUTO DE engenharia nuclear

LAGEPRO

UERJ

Figura 5: Escala Grande
Elaborado pelo autor.

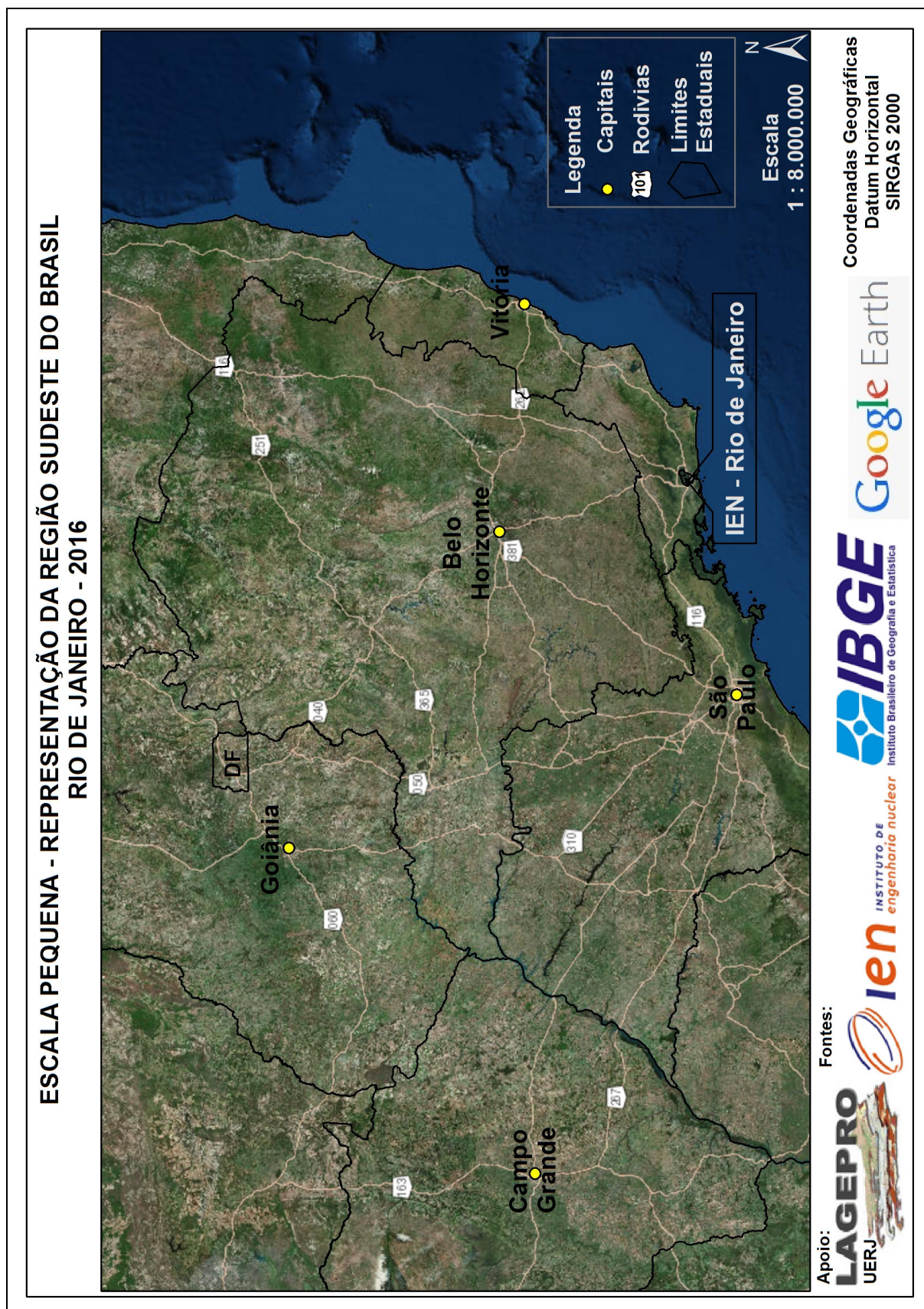


Figura 6: Escala Pequena

Elaborado pelo autor.

3.2.1 Descrição da Área de Estudo

A cidade do Rio de Janeiro localiza-se a oeste da Baía de Guanabara no Estado do Rio de Janeiro (latitudes: no extremo Norte 22° 45' 05"S e no extremo Sul 23° 44' 10" S; e longitudes: no extremo Leste 46° 06' 30"W e no extremo Oeste 43° 47' 40"W), tendo como limites ao Norte os municípios de Itaguaí, Nova Iguaçu, Nilópolis, São João de Meriti, Duque de Caxias e Magé, ao Sul o Oceano Atlântico, a Leste a Baía de Guanabara - municípios de Itaboraí, São Gonçalo e Niterói e a Oeste a Baía de Sepetiba - município de Itaguaí. Ocupa uma área de 1.225,3 km² (PCRJ, 2009)

Quanto ao relevo, é constituído de três conjuntos de elevações que se destacam, formando os maciços da Tijuca (com ponto culminante de 1021m), da Pedra Branca (com 1024m) e do Gerícino (com 964m) e mais alguns outros maciços menores e morros isolados, que junto formam o relevo de mar de morros. Entre as várias elevações encontram-se as planícies sedimentares, denominadas de baixadas: Inhaúma, Irajá, Bangu, Campo Grande, Jacarepaguá, Guaratiba e Santa Cruz (IPP, 2008).

A hidrografia da cidade é composta por cerca de 200 cursos d'água entre rios, riachos, córregos, canais, valões e valas, que apresentam leitos estreitos e pouca profundidade. As águas são drenadas pelos maciços e deságuam na Baía de Guanabara, no Oceano Atlântico, na Lagoa Rodrigo de Freitas, no complexo lagunar da Baixada de Jacarepaguá e nas Baixadas de Guaratiba e de Santa Cruz, em direção à Baía de Sepetiba (CECIERJ, 2009).

Com clima predominantemente Tropical, apresentando temperatura média anual de 23,7°C, a cidade do Rio de Janeiro sofre muita influência de massas de ar, como a Polar Atlântica (mPa), que atua no inverno, através das frentes frias que provoca queda da temperatura e ventos úmidos que originam precipitações em forma de chuvas; e a massa Tropical Atlântica (mTa) que mantém ventos em direção ao continente sempre úmidos, amenizando o clima da cidade.

De acordo com Silva (1997), a partir da análise da dinâmica atmosférica da cidade fica evidenciado o domínio do fluxo de larga escala, com maior frequência, dos ventos de nordeste, associados ao Anticiclone Subtropical Marítimo do Atlântico Sul, domínio este que é perturbado quando há passagem de sistemas de escalas sinótica (frentes frias) e alterado localmente pelo efeito do aquecimento diferencial das diferentes superfícies (ocorrências de brisas).

Nos trechos de baixadas, a presença dos maciços litorâneos é responsável pela dispersão dos ventos de nordeste. Já nos setores mais interiorizados, entre as baixadas da Região da Bacia Hidrográfica da Baía de Sepetiba e o centro da cidade do Rio de Janeiro, há o predomínio de calmarias, pois o relevo é uma barreira à circulação atmosférica normal.

Segundo o estudo Mapeamento da Cobertura Vegetal e o Uso das Terras do Município do Rio de Janeiro (PCRJ-SMAC, 2011), existe uma grande proporção de Mata Atlântica que ainda ocupa o Município. Somados os valores de Floresta Ombrófila Densa, Restinga, Manguezal e Brejo, chega-se ao valor de 35.290 ha, ou seja, 28,9% do território.

Quanto ao transporte, a cidade do Rio de Janeiro possui uma malha viária composta por vários modos de transporte: ônibus, metrô, trem (integrado ao teleférico do Complexo do Alemão) e bonde (terrestre, 96,6%); hidroviário (2,0%); e aeroviário (1,5%), mas o transporte de passageiros é concentrado no modal rodoviário, com 2/3 (72,5%) do total terrestre (PCRJ-DataRio, 2009).

3.2.2 Fatores de Seleção

Os fatores de seleção utilizados neste trabalho foram escolhidos a partir de uma revisão da literatura internacional relacionada a otimização de rotas e ao rastreamento de materiais perigosos. Após esta revisão, buscou-se informações na literatura nacional a respeito de fatores semelhantes, como a legislação nacional pertinente, as normas técnicas e os trabalhos relacionados ao planejamento urbano de forma a se obter dados relevantes para o desenvolvimento dos fatores e valores a serem utilizados neste trabalho.

Dos fatores escolhidos destacam-se quatro requisitos básicos relacionados a Otimização de Rotas, ao Rastreamento e ao Sistema de Informações Geográficas; segurança, viabilidade socioeconômica-ambiental e viabilidade técnica.

- Otimização de Rotas - são fatores de seleção que determinam a agilidade do escoamento da produção até as unidades de saúde;
- Segurança no Transporte - são os fatores de seleção importantes para a segurança durante o transporte do radiofármaco;

- Viabilidade Socioeconômica-Ambiental - são os fatores de seleção importantes com relação ao impacto ambiental e social causados por um acidente com o radiofármaco;
- Viabilidade Técnica - são os fatores de seleção com relação a instalação, desempenho e operação do Sistema de Informações Geográficas.

O espaço da cidade do Rio de Janeiro foi analisado em busca de atributos que atendam aos fatores de seleção. Para cada grupo de fatores foram definidos atributos que indicam a relação adequada entre o fator e o espaço em estudo. A tabela 1 apresenta a relação fatores-atributos.

Otimização de Rotas	Tráfego Acidentes Obras Demografia
Segurança no Transporte	Tráfego Urbanização Condições Meteorológicas Hidrografia Relevo
Viabilidade Socioeconômica-Ambiental	Relevo Hidrografia Urbanização Violência Urbana
Viabilidade Técnica	Condições Meteorológicas Hidrografia Relevo Urbanização

Tabela 1 - Fatores e atributos associados

Os atributos analisados influenciam no processo de instalação do Sistema de Informações Geográficas. Alguns atributos agem em mais de um fator e por isso foram analisados mais de uma vez, mas em contextos diferentes. Em seguida observa-se uma descrição de como cada atributo influencia o seu fator.

3.2.2.1 Tráfego

Neste trabalho, o tráfego foi elencado na questão da Otimização de Rotas, pois o tráfego pesado, as obras e os acidentes nas vias de circulação interrompem o fluxo dos veículos, dificultando a entrega dos radiofármacos. Na questão Segurança no Transporte, existe a importância da manutenção da mesma no deslocamento de radiofármacos pelas vias da cidade do Rio de Janeiro a fim de garantir os tratamentos médicos e a segurança dos seres humanos e do meio ambiente. O tráfego representa uma vulnerabilidade para os radiofármacos a serem transportados, pois à medida que o veículo de transporte fica retido em congestionamentos diminui a eficácia do produto expondo-o a acidentes que podem dispersar radionuclídeos e a ação de pessoas mal intencionadas.

Quanto à questão da Viabilidade Técnica, a presença de túneis e prédios altos podem interromper a conexão entre o radiofármaco, o veículo e o centro de comando, comprometendo o rastreamento do radiofármaco e consequentemente expondo a fonte a um possível extravio. Sendo um ponto que deve ser considerado em trabalhos futuros

3.2.2.2 Urbanização

No que diz respeito à Segurança no Transporte, o maior problema está relacionado ao processo de urbanização da cidade que se desenvolveu de forma rápida e desordenada, que promoveu a impermeabilização do solo somado ao desmatamento das encostas, promovido pela expansão, sem planejamento, das áreas urbanas. A falta de políticas de planejamento e ordenamento territorial eficazes no meio urbano e a geografia da cidade acrescidas de obras de retificação dos rios podem acarretar em alagamentos em dias de chuvas fortes, retendo o veículo de transporte de radiofármaco nas ruas.

Quanto à questão da Viabilidade Socioeconômica-Ambiental, a principal consideração feita é quanto a grande circulação de pessoas no centro urbano desenvolvendo inúmeras atividades e por onde irá circular radiofármaco. O grande fluxo de pessoas circulando nas vias urbanas aumenta o risco a exposição a radiação caso haja um acidente.

3.2.2.3 Condições Meteorológicas

Segundo o INMET, o tempo é o estado físico das condições atmosférica em um determinado momento e local. Logo, mesmo tendo a cidade do Rio de Janeiro o clima tropical

como predominante podem ocorrer variações. Na questão da Segurança no Transporte, o tempo climático pode ser um elemento desfavorável nos dias mais úmidos, pois a associação de chuvas fortes, maré alta e relevo de baixadas favorecem as enchentes, comprometendo o transporte do material.

3.2.2.4 Hidrografia

O atributo hidrografia está em grande parte relacionado ao atributo urbanização. O principal problema para a Segurança no Transporte associado as intervenções urbanas, como a retificações dos rios, e o assoreamento dos mesmos favorecem as enchentes (figura 7) e, assim, os veículos de transporte de radiofármacos retidos na enchente ficam expostos ao escoamento superficial da água que pode transportar radionuclídeos presente no material.



Figura 7: Foto do alagamento da avenida Prof. Manoel de Abreu com rua Prof. Eurico Rabêlo. Fonte: UOL Notícias

Quanto ao fator Viabilidade Socioeconômica-Ambiental, a principal consideração é a proximidade de áreas urbanas densamente povoadas, onde o material transportado pode liberar radionuclídeos e consequentemente contaminar os sistemas água e solo e os seres humanos que habitam a circunvizinhança.

Por fim, quanto ao fator Viabilidade Técnica, a presença de água superficial na região torna difícil o rastreamento, pois o GPS submerso pode ser danificado.

3.2.2.5 Relevo

O atributo relevo, na Segurança no Transporte torna-se um indicativo condicional, pois a presença de planícies sedimentares, as baixadas de Inhaúma, Irajá, Bangu, Campo Grande, Jacarepaguá, Guaratiba e Santa Cruz, são sujeitas a inundações em dias de chuvas fortes.

Quanto à Viabilidade Técnica, a presença de inúmeros morros ocupados de forma irregular na cidade podem criar uma condição de risco ao veículo de transporte do material, pois com o decorrer do tempo, se mostram instáveis e tornam-se sujeitos à ocorrência de desmoronamentos (figura 8), podendo obstruir ruas e avenidas e soterrar casas e veículos.



Figura 8: Foto do deslizamento da encosta na entrada do túnel Rebouças.

Fonte: Terra Notícias

3.2.2.6 Violência Urbana (Aglomerados Subnormais - Favelas)

O atributo violência urbana, funciona para a Segurança no Transporte como um indicativo de risco de subtração do material em alguma das vias por onde possa ser transportado. Outro importante aspecto é o grande número de áreas marginalizadas da cidade onde existe a atuação de um poder paralelo opressor que exerce pressão sobre a sociedade de

bem da cidade a través da manipulação de pessoas que vivem nessas áreas surgidas, muitas das vezes, a partir do abandono do poder público sobre esses territórios.

Cabe ressaltar, que as principais vias de circulação da cidade passam entre favelas, onde marginais orquestram manifestações violentas (figura 9), o que aumenta o risco a segurança no transporte.



Figura 9: Foto de manifestação violenta na avenida Ministro Edgar Romero (corredor expresso - Transcarioca) próximo a Estação BRT - Otaviano, Madureira.

Fonte: O Globo.

3.2.2.7 Unidades de Conservação

A cidade do Rio de Janeiro possui, como descrito na seção 3.2.1, cerca de 30% de seu território protegido por Unidades de Conservação (UC), sendo compostas por duas UCs federais, quatro estaduais e dezessete municipais, que foram criadas em conformidade a lei federal 9.985, de 18 de julho de 2000. Recentemente o Ministério do Meio Ambiente reconheceu o Mosaico Carioca de UCs através da Portaria N° 245, de 11 de julho de 2011.

As Unidades de Conservação da cidade do Rio de Janeiro são importantes áreas de lazer e garantem a preservação e a defesa da paisagem local. Também proporcionam relevantes serviços ecossistêmicos relacionados a manutenção e preservação da rica fauna e

flora e dos recursos hídricos e a proteção do solo e da estabilidade geológica de maciços e morros. Além disso, a cobertura vegetal dessas unidades de conservação são fundamentais reguladoras climáticas.

3.2.2.8 Demografia - Área Urbana

O atributo demografia na análise visa minimizar os riscos a qualidade ambiental, sendo utilizado para classificar as vias quanto a sua adequabilidade para transportar radiofármacos a fim de evitar áreas elencadas como de risco.

Para a análise dos atributos apresentados na tabela 1, foram utilizados os seguintes dados gráficos e digitais:

- Unidades de conservação - uso direto (uso sustentável), na escala 1:50.000, produzido pelo Instituto Estadual de Florestas (atual Instituto Estadual do Ambiente – INEA), 2004.
- Unidades de conservação - uso indireto (proteção integral), na escala 1:50.000, produzido pelo Instituto Estadual de Florestas (atual Instituto Estadual do Ambiente – INEA), 2004.
- Mapa de Uso e Cobertura do Solo, desenvolvido pelo INEA, em escala 1:50.000, no âmbito do Projeto de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de Janeiro, 2008.
- Mapa de Setores Urbanos, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em escala 1:450.000, no âmbito do Projeto Censo 2000.
- Mapa de Vias do Estado do Rio de Janeiro, extraído do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), no formato *shapefile*, em escala 1:50.000.

Após o tratamento dos dados foram iniciadas as análises. Sendo assim, os dados foram reprojatados para o Sistema de Coordenadas Datum SIRGAS 2000. Após este primeiro passo, foram separados os mapas referentes aos Fatores de Exclusão e os mapas referentes aos Fatores de Classificação. Os dados referentes aos Fundamentos de Classificação foram padronizados de forma a poder ser combinados na análise.

Os mapas elaborados para os fatores de classificação encontram-se apresentados no Anexo I.

Quanto aos fatores de exclusão, foram utilizados os seguintes fatores:

- Obras
- Tráfego
- Condições Meteorológicas
- Hidrografia
- Urbanização
- Relevo
- Violência Urbana (Aglomerados Subnormais - Favelas)
- Unidades de Conservação

Os mapas elaborados para os fatores de exclusão encontram-se no Anexo II.

3.3 ROTEAMENTO OTIMIZADO NO TRANSPORTE DE RADIOFÁRMACOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Como já foi apresentado, o transporte de radiofármacos é regulamentado por legislação de trânsito específica e normas da CNEN, na tentativa de encontrar rotas que viabilizem o deslocamento de veículos de transporte de radiofármacos pela cidade a partir da unidade de produção, Divisão de Radiofármacos do IEN, até os consumidores (unidades de saúde).

De acordo com IEN (2016), a Divisão de Radiofármacos atualmente produz dois tipos de radioisótopos, o iodo-123 ultrapuro e o flúor-18, que são usados como marcadores em diversos radiofármacos, dos quais o IEN fornece três: o Iodeto de sódio (I123), o Metaiodobenzilguanidina (MIBG) e o Fluordesoxiglicose (FDG).

Segundo a Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN a Divisão de Radiofármacos ao longo dos últimos dezesseis anos tem fornecido os três tipos de radiofármacos supracitados para 117 unidades de saúde de tratamentos, de diagnósticos e de pesquisas (tabela 2, ver no anexo III) do país. De janeiro a maio de 2016, a divisão de produção, forneceu a nove unidades de saúde (tabela 3) da cidade do Rio de Janeiro esses radiofármacos.

Cabe ressaltar que o deslocamento de FDG para longas distâncias é realizado de avião devido a sua meia-vida curta.

O estudo se concentrou no período de janeiro a maio de 2016 porque os clientes dos períodos anos anteriores passaram a comprar radiofármacos de outros centros de produção,

como o IPEN, ou foram suspensos devido a inadimplência, reatando apenas as nove unidades destacadas na tabela 3.

Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos Georreferenciadas				
Janeiro a Maio de 2016				
Código	Razão Social	Bairro	Latitude	Longitude
C1	Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras	Centro	-22.909439°	-43.174917°
C2	Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras	Leblon	-22.983209°	-43.220291°
C3	Hospital Naval Marcílio Dias	Lins de Vasconcelos	-22.912928°	-43.283688°
C4	INCA - Instituto Nacional do Câncer	Centro	-22.912408°	-43.188661°
C5	Instituto Nacional de Cardiologia Laranjeiras	Laranjeiras	-22.936665°	-43.190450°
C6	Esho Empresa de Serviços Hospitalares S.A.	Botafogo	-22.956476°	-43.186850°
C7	Unimed Rio Empreendimentos Médicos e Hospitalares	Barra da Tijuca	-22.988984°	-43.364020°
C8	Diagnósticos da América S.A.	Barra da Tijuca	-23.000915°	-43.376134°
C9	Hospital Alvorada Taquatinga Ltda	Barra da Tijuca	-22.993020°	-43.369578°

Tabela 3: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos Georreferenciadas

Fonte: Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN

A coleta desses dados junto a Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN permitiu a formação de um banco de dados geoespacial onde a Divisão de Radiofármacos e as unidades de saúde foram georreferenciadas.

Com as coordenadas geográficas obtidas os dados foram espacializados no mapa da cidade do Rio de Janeiro (figura 7), onde pode-se visualizar a distribuição das unidades de saúde e a Divisão de Radiofármacos do IEN.

Os fatores de seleção, de classificação e de exclusão, permitiram a classificação das vias como sendo de rotas favoráveis ou desfavoráveis para escoar os radiofármacos até as unidades de saúde. A classificação dessas vias, visitas de campo e simulações de roteamento no Google Maps, ver Anexo IV, possibilitaram o cálculo de velocidades médias para cada percurso, ver tabela 4, onde os resultados foram obtidos através da relação entre a distância percorrida e o tempo de deslocamento. Segundo Laroche (2014), ex-engenheiro do Google, o tempo de locomoção é calculado a partir de vários fatores, são eles: tipos de estradas, dados de velocidade média sobre determinados períodos de tempo, tempos de viagens reais de outros usuários e situação do trânsito em tempo real.

Rotas	Distância (km)	Tempo (h)	Velocidade Média (km/h)	Tipos de Radiofármacos Comprados		
				I123	MIBG	FDG
IEN-C1	12,1	0,83	14,6	SIM	SIM	NÃO
IEN-C2	18,9	0,95	19,9	NÃO	SIM	SIM
IEN-C3	16,7	0,56	29,8	NÃO	NÃO	SIM
IEN-C4	10,6	0,61	17,4	SIM	SIM	SIM
IEN-C5	12,7	0,56	22,7	SIM	SIM	SIM
IEN-C6	14,9	0,78	19,1	SIM	SIM	NÃO
IEN-C7	28,2	0,81	34,8	SIM	SIM	NÃO
IEN-C8	28,9	0,91	31,8	SIM	SIM	SIM
IEN-C9	27,2	0,86	31,6	SIM	SIM	NÃO

Tabela 4: Velocidades médias de deslocamento e tipos de radiofármacos comprados

Fonte: Google Maps e Área Comercial do Serviço Financeiro (IEN)

Os dados coletados foram processados no ArcGIS 10.1 por ser uma rica ferramenta em funcionalidades, como o desenvolvimento de banco de dados geoespacial, elaboração de mapas, consultas e análises geocomputacionais.

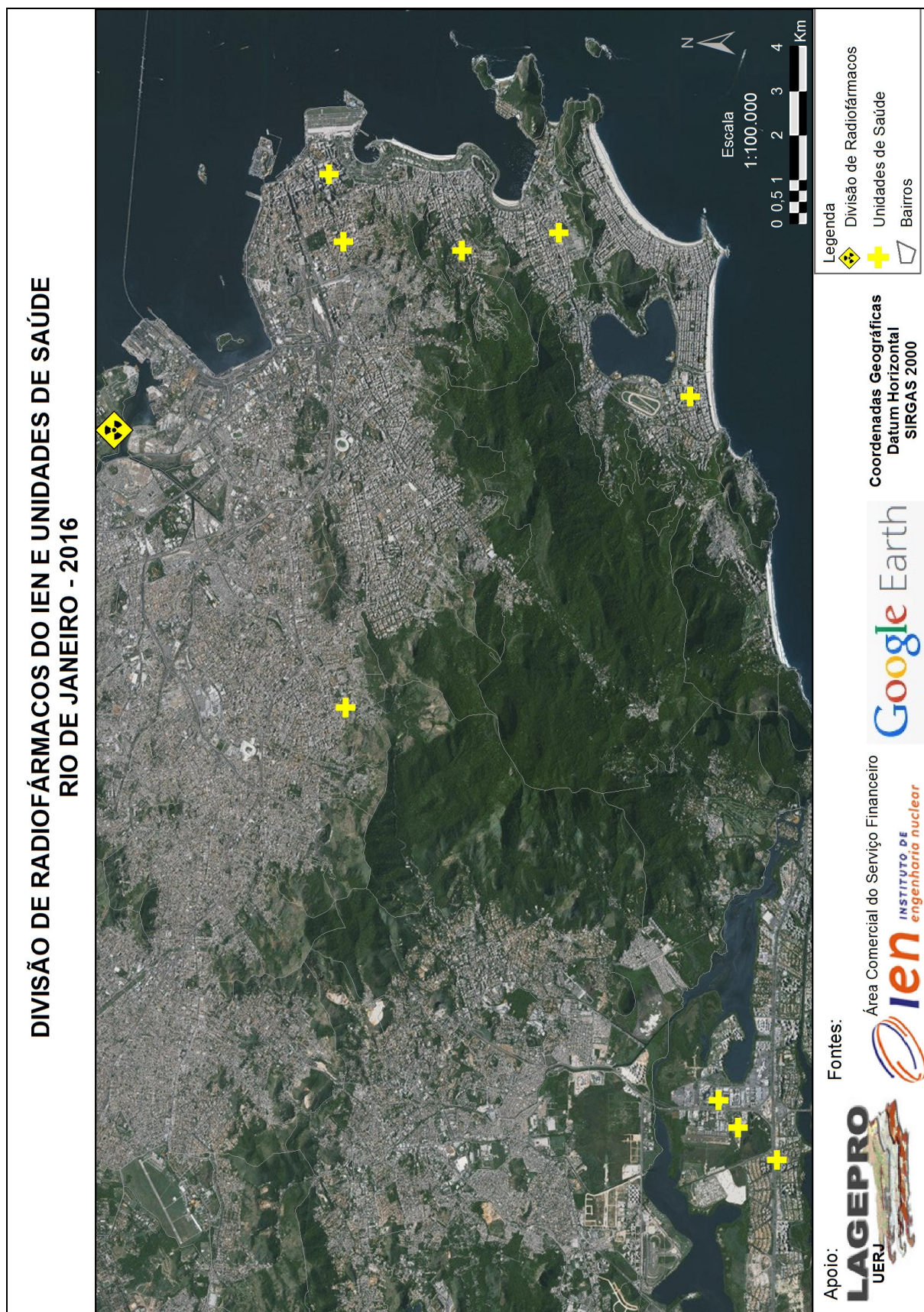


Figura 10: Mapa da Divisão de Radiofármacos do IEN e Unidades de Saúde - 2016.

Elaborado pelo autor (2016).

Na elaboração dos mapas da cidade do Rio de Janeiro e dos fatores de classificação e exclusão no ArcGIS 10.1 foi utilizado a função *intersect*, que permite cortar uma camada (figura 11) tendo como molde outra camada (o município do Rio de Janeiro), onde a camada resultante (figura 12) mantém os atributos de ambas as camadas usadas para o corte (da camada inicial e da camada de molde). Os resultados obtidos encontram-se nos Anexos I e II e permitiram a visualização.

A figura 10 foi construída a partir do resultado do *intersect* da figura 11 sobreposto a imagem do Google Earth, onde foram adicionadas as coordenadas geográficas referentes a Divisão de Radiofármacos e as Unidades de Saúde.

As rotas traçadas da Divisão de Radiofármacos até cada uma das Unidades de Saúde, anexo III, foram realizadas no Google Maps, onde foi informado o endereço inicial, a Divisão de Radiofármacos do IEN, e o final, as Unidades de Saúde, onde foram apresentadas as rotas, as distancias entre os pontos, os tempos de deslocamento, se os fluxos eram intensos ou não e se haviam acidentes. O ArcGIS 10.1 não foi usado nesse processo, apesar de possuir a função de traçar rotas, foi devido o Instituto Pereira Passos da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro não disponibilizar a base cartográfica referente as ruas da cidade.

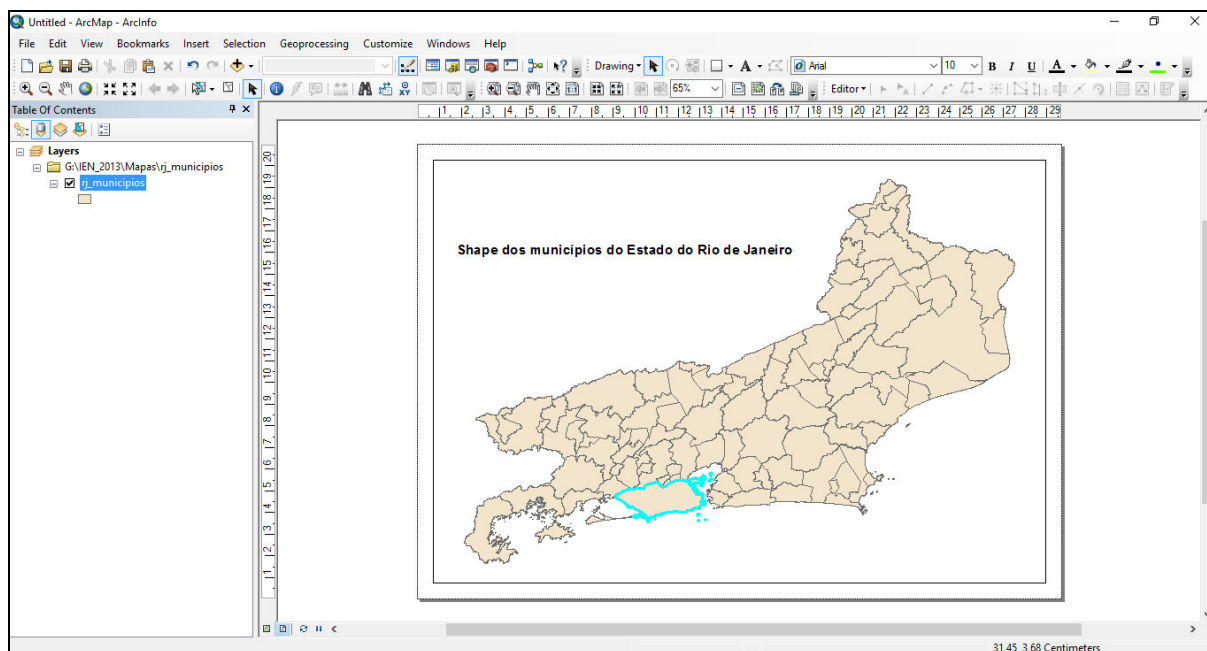


Figura 11: *Shape* dos municípios do Estado do Rio de Janeiro.

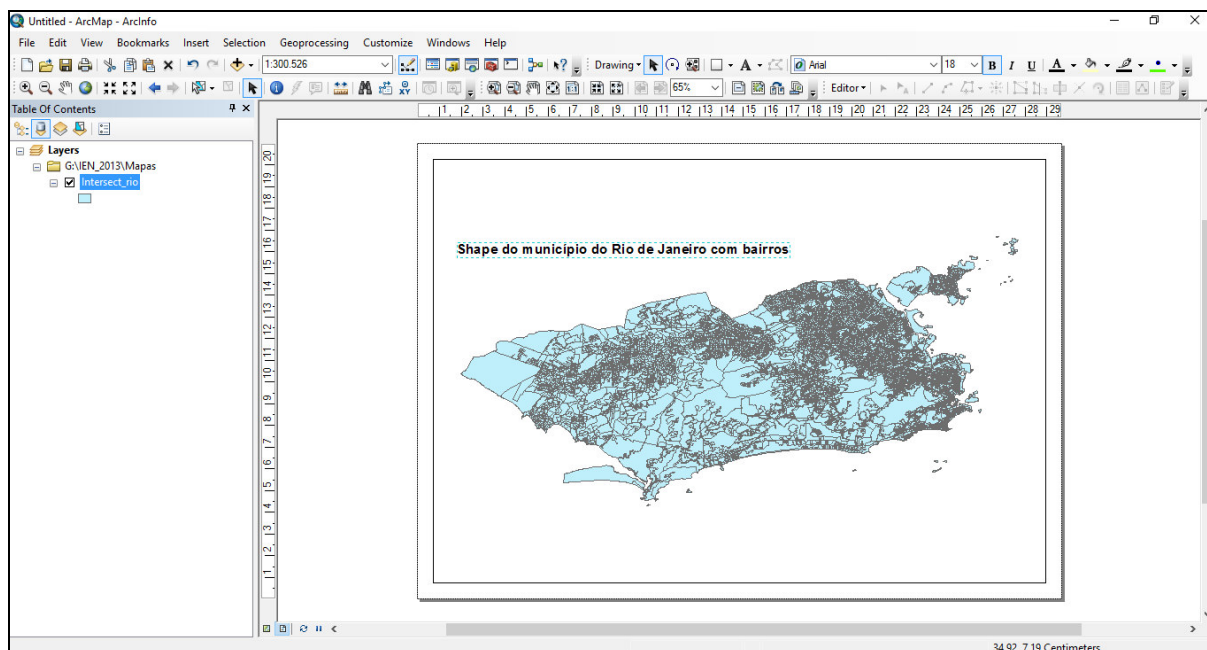


Figura 12: *Shape* do município do Rio de Janeiro com bairros.

O uso do SIG como método destinou-se demonstrar o planejamento de operações de escoamento da produção, a análise das condições das vias de circulação e a identificação de rotas seguras para os veículos de transporte de radiofármacos.

No plano de gestão de escoamento da produção de radiofármacos (figura 13) foram considerados os seguintes itens:

- Identificação espacial da unidade de produção, a Divisão de Radiofármacos do IEN, e detalhes quanto aos tipos de radiofármacos.
- Identificação e compreensão da distribuição espacial das unidades de saúde clientes em toda a cidade.
- Otimização de rotas para o transporte de radiofármacos até as unidades de saúde usando SIG.

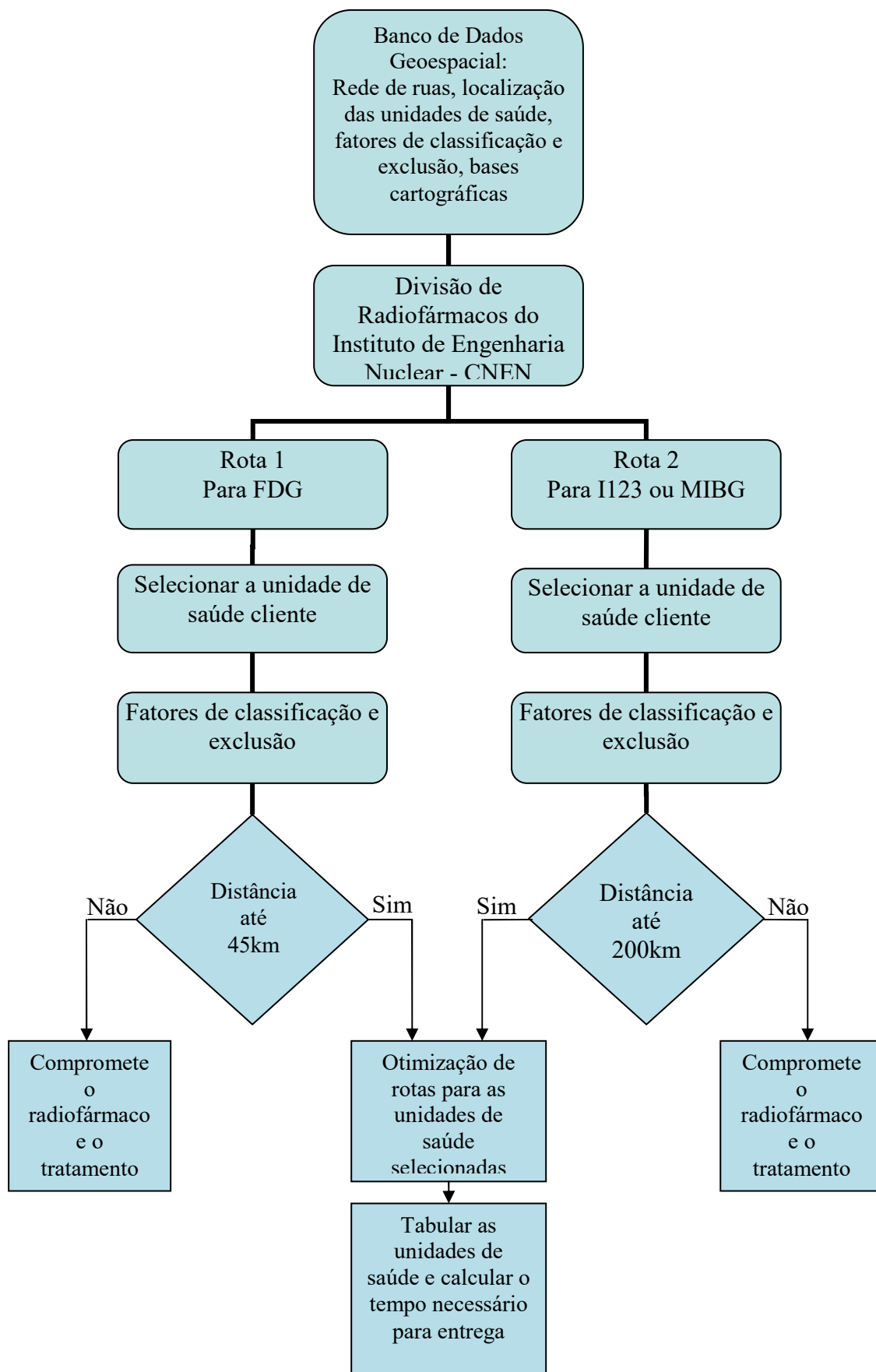


Figura 13: Fluxograma destacando a metodologia do modelo de SIG

O SIG apresentará como itinerário ideal a rota que tiver a menor relação custo/distância. Porém para o FDG existe um limitador, a sua meia-vida, impedindo o deslocamento para grandes distâncias.

A otimização das rotas no SIG é feita a partir da análise espacial e da rede de vias de circulação, onde a análise espacial é utilizada para identificar as unidades de saúde que adquiriram os radiofármacos e a análise da rede de vias de circulação permite ao gestor encontrar a melhor rota através da exclusão das vias que estejam congestionadas, com interrupções por acidentes, como deslizamentos de encostas, alagamentos que têm como critérios de exclusão o relevo, as condições meteorológicas e a hidrografia, e manifestações, que tem a violência urbana, a urbanização e o tráfego como critérios de exclusão.

CAPITULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Não são muitas as experiências no sentido de se rastrear e monitorar material radioativo no mundo através de Sistema de Informações Geográficas, os países pioneiros são os EUA e a Coreia do Sul, que estão empregando tal técnica. Nos encontros promovidos pela AIEA esses países procuram difundí-la com objetivo de evitar a exposição de pessoas, de bens e do meio ambiente a radiação ionizante.

Tendo em vista este objetivo, pode-se afirmar que a aplicabilidade da metodologia baseado no Sistema de Informações Geográficas para auxiliar a gestão de transporte de radiofármacos é altamente viável, pois possibilita uma análise integrada de todos os componentes envolvidos no processo de tomada de decisão. Os atributos não técnicos foram determinantes à análise, pois um sinistro natural ou antrópico com o veículo de transporte pode afetar o uso e a ocupação do solo da cidade, comprometendo as atividades socioeconômicas, o meio ambiente e as relações políticas. Critérios técnicos, que influenciam a segurança ou a viabilidade do sistema de localização e rastreamento também foram julgados, de modo a reputar a importância de cada atributo para o resultado final.

Os atributos tráfego intenso, acidentes e obras incidem sobre a otimização das rotas, pois retardam o deslocamento dos veículos de transporte.

Quando analisamos novamente o atributo tráfego juntamente com urbanização, tempo climático, hidrografia e relevo enfatiza-se a segurança no transporte, pois os veículos ficam expostos durante o deslocamento a mudanças de tempo que podem provocar chuvas torrenciais, que devido a impermeabilização dos solos urbanos têm a velocidade de escoamento das águas das chuvas aumentada, sendo drenadas para canais e rios, que transbordam e alagam as ruas estão nas áreas que se encontram a baixo do nível do mar da cidade. Além dos alagamentos, as chuvas fortes ao atingirem as encostas das cidades podem provocar desde movimentos de massa a deslizamentos de parte da encosta sobre ruas, comprometendo a segurança no transporte.

O exame dos atributos relevo, hidrografia, urbanização e violência urbana permite concluir sobre a viabilidade socioeconômica-ambiental. Neste caso, sendo o veículo atingido por enxurradas escorridas encostas abaixo que alagam as áreas a baixo do nível do mar ou por manifestações violentas oriundas de bolsões de pobreza que cresceram desordenadamente, fruto de um processo de urbanização desordenado e rápido expõem os veículos de transporte e

consequentemente os radiofármacos a ações descontroladas que podem atingir a carga e provocar impactos econômicos e socioambientais.

Ao refletir sobre os atributos tempo climático, hidrografia, relevo e urbanização destaca-se a viabilidade técnica, pois equipamentos de rastreamento de cargas quando desguarnecidos a situações extremas, como enchentes, deslizamentos de encostas e violência podem ser danificados comprometendo um dos componentes do Sistema de Informações Geográficas.

Esse tipo de análise foi possível devido ao "overlay mapping" que possibilitou a sobreposição de mapas construídos, como o que destaca as principais vias de circulação de um trecho da cidade delimitadas por várias aglomerações subnormais - favelas (figura 14) e as ferramentas disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para análise espacial. Problemas de localização/posicionamento têm um forte componente espacial, pois as possibilidades são determinadas geograficamente e, os resultados estão condicionados ao seu arranjo espacial (atributos). O uso do SIG permite aquisição, armazenamento, tratamento e análise rápida de um grande número de dados espaciais, formando um banco de dados geoespacial, que também possibilita agregar diversas opiniões e preferências envolvidas, o que favorece a importância de fatores técnicos e não técnicos. Sendo assim, a compreensão do problema e o refino da análise são facilitados pela visualização dos resultados através da espacialização (elaboração de mapas) da Divisão de Radiofármacos do IEN, das unidades de saúde e dos fatores de classificação e exclusão, que foram representados por símbolos, favorecendo as visualizações (ver anexos I e II).

No tocante à espacialização, foram criadas as principais rotas e as alternativas (ver anexo IV e tabela 5), onde os critérios de exclusão balizaram as escolhas. Porém, as rotas IEN-C1 e IEN-C4, ambas para o Centro, e a rota IEN-C5, para Laranjeiras, infringiram três critérios de exclusão: fluidez, ocupação urbana e favelas. Esse trecho principal apresentou congestionamento em quase toda a extensão devido ao grande número de veículos e obras em vários segmentos das vias, somente em suas rotas alternativas apresentavam melhora na fluidez do trânsito, mas adotá-las significa ter que aumentar o tempo de deslocamento, a distância e desrespeitar outros critérios de exclusão. A rota IEN-C2, para o Leblon, infringiu todos os critérios de exclusão, o que pode comprometer a segurança ambiental e os tratamentos médicos. A rota IEN-C3, desobedeceu os seguintes critérios de exclusão: fluidez, hidrografia, ocupação urbana e favelas. Outro importante aspecto em relação a essa rota é a proibição de transporte de cargas perigosas pela Avenida Governador Carlos Lacerda, a Linha Amarela, forçando a transportadora a ter que usar rotas alternativas que aumentam a distância

e tempo de deslocamento entre a DIRA(IEN) e seu cliente. A rota IEN-C6, para Botafogo, viola três critérios de exclusão: fluidez, ocupação urbana e favelas. E a rota alternativa aumenta a distância, o tempo viagem e número de critérios de exclusão (geomorfologia, hidrografia e chuva). As rotas IEN-C7, IEN-C8 e IEN-C9 desrespeitam os critérios de exclusão fluidez, ocupação urbana e favelas, mas se optarmos pela rota alternativa apresentada, todos os critérios serão transgredidos e o tempo em trânsito e distância aumentaram muito, comprometendo os radiofármacos, principalmente o FDG (meia-vida curta), consequentemente o tratamento médico.

Principais Rotas	Distância (km)	Tempo (h)	Vm (km/h)	Radiofármacos Comprados			Critérios de Exclusão Infringidos
				I123	MIBG	FDG	
IEN-C1	12,1	0,83	14,6	SIM	SIM	NÃO	Fluidez, ocupação urbana e favela
IEN-C2	18,9	0,95	19,9	NÃO	SIM	SIM	Todos
IEN-C3	16,7	0,56	29,8	NÃO	NÃO	SIM	Fluidez, hidrografia, ocupação urbana e favelas
IEN-C4	10,6	0,61	17,4	SIM	SIM	SIM	Fluidez, ocupação urbana e favelas
IEN-C5	12,7	0,56	22,7	SIM	SIM	SIM	Fluidez, ocupação urbana e favelas
IEN-C6	14,9	0,78	19,1	SIM	SIM	NÃO	Fluidez, ocupação urbana e favelas
IEN-C7	28,2	0,81	34,8	SIM	SIM	NÃO	Fluidez, ocupação urbana e favelas
IEN-C8	28,9	0,91	31,8	SIM	SIM	SIM	Fluidez, ocupação urbana e favelas
IEN-C9	27,2	0,86	31,6	SIM	SIM	NÃO	Fluidez, ocupação urbana e favelas

Tabela 5: Principais rotas, tipos de radiofármacos comprados e critérios de exclusão

Fonte: Google Maps, Siurb-PCRJ, Inea e Área Comercial do Serviço Financeiro (IEN)

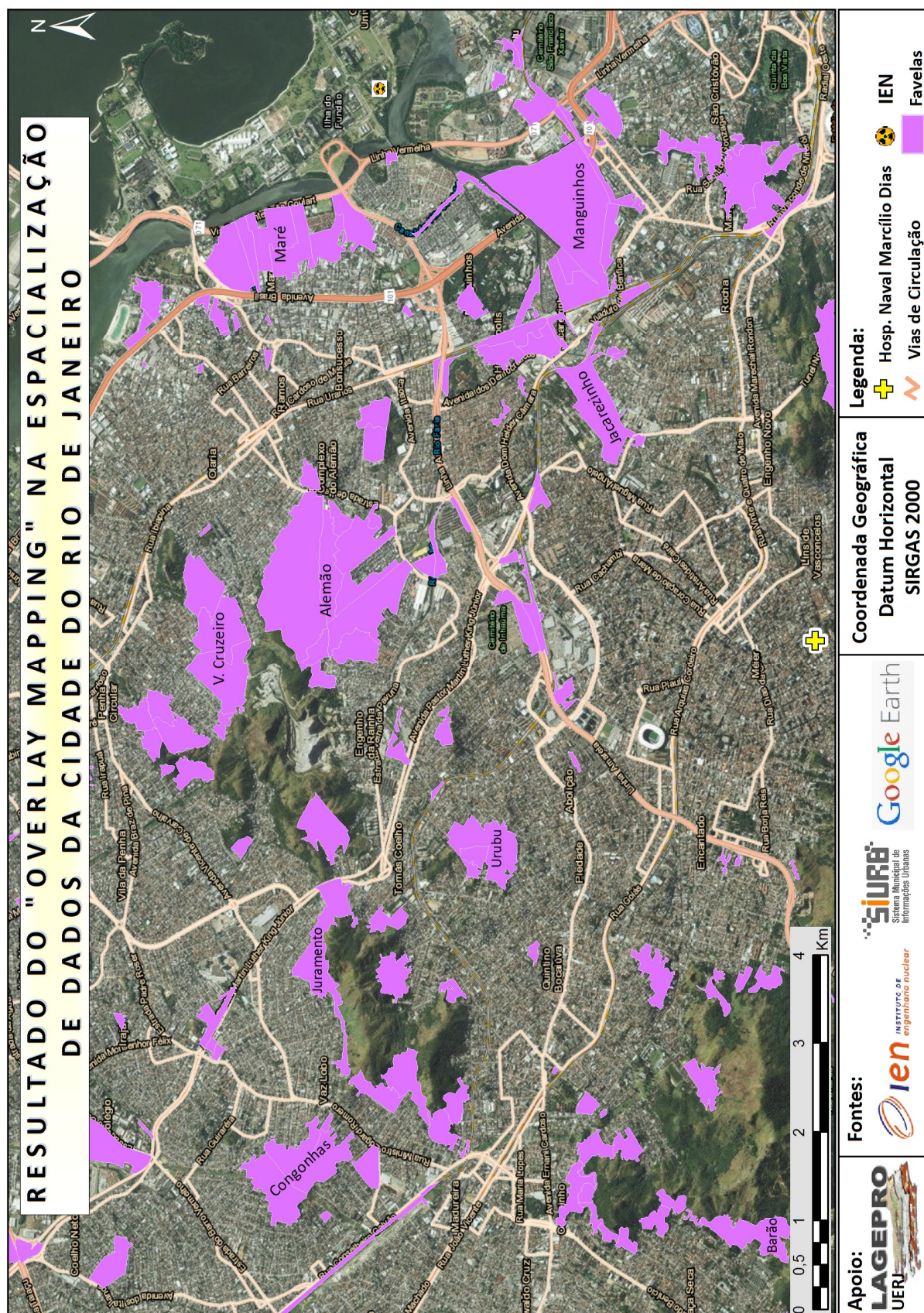


Figura 14: Mapa do Resultado do "Overlay Mapping" na espacialização de dados da cidade do Rio de Janeiro

Elaborado pelo autor (2016)

O mapa (figura 14) nos permite ter uma compreensão espacial da distribuição das nove unidades de saúde clientes (tabela 3) e suas distâncias da Divisão de Radiofármacos do IEN (tabela 4). Como todas as informações estão integradas no SIG permite ao gestor ter vários níveis de "zoom" (alterações na escala), aumentando a aproximação da realidade, ou seja, oferecendo mais detalhes espaciais, facilitando as tomadas de decisão.

O anexo III, Rotas entre a Divisão de Radiofármacos do IEN e os Clientes, apresenta as rotas ideais para o deslocamento dos radiofármacos e as vias apresentadas nos mapas são representadas por cores, onde a rota com melhor relação tempo/distância tem o seu fluxo destacado pelas cores azul (fluxo bom), amarela (fluxo regular) e vermelha (fluxo lento) e as rotas alternativas são destacadas em três escalas de cinza, o claro (fluxo bom), o médio (fluxo regular) e o escuro (fluxo lento).

Portanto, as melhores rotas para cada unidade de saúde deverá ser traçada levando-se em consideração cada atributo antes destacado. Caso haja uma situação de obstáculo causado por obras na via que reduza o número de faixas de rolamento os veículos devem ter trânsito livre e possuírem equipamentos sonoros (sirenes) e luminosos (giroscópios). Devido aos inúmeros atributos desfavoráveis o IEN deve buscar horários de expedição que não coincidam com os horários de maior movimentação de veículos pela vias da cidade, mas lembrando que esses horários devem estar em conformidade com os atendimentos dos pacientes das unidades de tratamento, o que nem sempre é fácil, daí a necessidade desses veículos possuírem os equipamentos supracitados. Quanto ao melhor e pior período do ano para se fazer as entregas, esse não existe, pois as entregas são feitas de acordo com a demanda de pacientes das unidades de saúde.

A partir do monitoramento das rotas ideais tem-se a compreensão em relação ao tempo de deslocamento para que não haja o comprometimento do uso final do radiofármaco, o que reduz o custo desse processo. Além disso, o surgimento de qualquer situação de risco pode ser visualizada e a rota ser mudada.

Contudo, por serem os radiofármacos vitais a vida dos pacientes e produtos dispersores de radionuclídeos, faz-se necessário a total integração entre o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, as unidades de saúde e as empresas transportadoras, pois o IEN é o centro produtor de radiofármacos, a prefeitura dispõe de um centro de operações que controla o tráfego da cidade, as unidades de saúde e pesquisa geram a demanda pelos radiofármacos e as empresas transportadoras realizam o deslocamento pela cidade. Dessa forma, a prefeitura através do Centro de Operações Rio (COR) pode monitorar e controlar o trânsito informando as melhores rotas do IEN e das

empresas de transporte. Logo, a parceria entre as partes supracitadas fará com que o transporte dos radiofármacos seja feito de forma rápida e segura.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Esta dissertação propôs a possibilidade do uso de um SIG na gestão da logística que envolve o transporte de radiofármacos, para servir de ferramenta nas tomadas de decisão pelos gestores e para difusão de conhecimento destinado ao propósito de construir conceitos favoráveis a segurança ambiental.

A partir dos resultados obtidos, dos estudos desenvolvidos e do material pesquisado concluiu-se que o SIG atendeu aos objetivos do presente trabalho. Conclui-se também que a utilização de simulações de rotas, pode cumprir satisfatoriamente os objetivos propostos, além de fornecer rotas alternativas, o que torna o SIG uma ferramenta de grande interesse, aproximando o usuário da realidade, e com isso facilitando as tomadas de decisão.

A aplicação do SIG viabilizou a criação de simulações de entrega dos radiofármacos em cada uma das unidades de saúde clientes da Divisão de Radiofármacos do IEN, disponibilizando conhecimento ao qual nem todos possuem acesso, de forma relativamente simples. A aplicação utilizou a plataforma do Google Maps, possibilitando a visualização em uma simulação de deslocamento do veículo até a unidade de saúde cliente. Em uma situação real, o gestor, em comunicação com veículo de transporte, pode alertá-lo sobre qualquer situação de risco, ou seja, interagir com o condutor para garantir a entrega do radiofármaco e a segurança ambiental.

Comprovou-se que a baixa velocidade desenvolvida pelos veículos entre os dois pontos em questão é resultado do grande número de veículos nas ruas e das inúmeras intervenções que o poder público realiza no espaço urbano, como as obras dos corredores expressos "BRT" e da Cedae. Tudo isso, contribui para o retardo da entrega dos radiofármacos nas unidades de saúde, comprometendo a qualidade do radiofármaco e do tratamento de saúde.

Outras situações de risco são as manifestações antrópicas violentas e as resultantes das associações entre as intervenções humanas e os fenômenos naturais, como deslizamentos de encostas e alagamentos de ruas que interrompem o tráfego e colocam em risco o material radioativo.

Seguindo os resultados obtidos, ficou claro a necessidade de uma parceria entre as partes envolvidas, IEN, transportadoras e os governos municipal e estadual, para que haja uma boa gestão da logística de radiofármacos e a sua segurança seja garantida. Com isso,

pode-se dizer que a contribuição de cada uma das partes viabiliza a gestão segura do transporte de radiofármaco pela cidade, facilitando o deslocamento dos veículos de transporte entre a Divisão de Radiofármacos do IEN e as unidades de saúde clientes.

Outro aspecto importante é a liberação de vias pelos seus gestores, como a Linha Amarela e os corredores "BRT", ao tráfego desses veículos por serem vias expressas. Além disso, é importante que haja uma legislação específica para a liberação do uso de sirenes e giroscópios nos veículos das transportadoras para abrir caminho pelas vias congestionadas devido a importância dos radiofármacos.

Portanto, após as análises feitas sobre as espacializações e simulações de roteamento concluiu-se que na cidade do Rio de Janeiro todas as rotas estão infringindo os critérios de exclusão, logo, não existe uma rota segura, o que nos revela a importância da união dos poderes no intuito de viabilizar o transporte de radiofármacos na cidade, garantindo a segurança ambiental e os tratamentos médicos.

5.1 – TRABALHOS FUTUROS

Como projetos futuros:

1. Monitorar e rastrear as fontes radioativas através de um Sistema de Informações Geográficas.
2. Reduzir o custo da aplicação de um Sistema de Informações Geográficas na gestão através do uso de *software* livres de alta capacidade de processamento de dados.
3. Implementar um sistema de gestão para o risco ambiental dos radiofármacos.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. **RBAC nº 175. Transporte de artigos perigosos em aeronaves civis.** Aprovado pelo Resolução nº 129, de 8 de dezembro de 2009. Disponível em: <<http://goo.gl/OScBql>>. Acesso em: 21 jun 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Resolução nº 1765, de 23 de julho de 2010.** Proposta de norma de procedimentos para o trânsito seguro de produtos perigosos por instalações portuárias situadas dentro ou fora da área do porto organizado. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdfSistema/publicacao/0000002675.pdf>>. Acesso em: 21 jun 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRE - ANTT. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. **Resolução nº 420, de 12 de fevereiro de 2004.** Disponível em: <<http://goo.gl/VYfxi5>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Portaria MT Nº 204, de 20 de maio de 1997.** Disponível em: <<http://goo.gl/HmCeC5>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Resolução nº 3.665, de 4 de maio de 2011.** Dispõe sobre o exercício da atividade de transporte rodoviário de produtos perigosos, realizado em vias públicas no território nacional. Disponível em: <<http://goo.gl/nYG22X>>. Acesso em: 09 jun 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Resolução-RDC nº 63, de 18 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre as Boas Práticas de Fabricação de Radiofármacos. Disponível em: <<http://goo.gl/nPNqlq>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Resolução-RDC nº 64, de 18 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre Registro de Radiofármacos. Disponível em: <<http://goo.gl/um1sJH>>. Acesso em 21 jun 2016.

ANDRETTA, E. R. et al. **Mapeamento das Áreas de Risco no Bairro Gilberto Mestrinho, zona leste de Manaus – Amazonas**. Estudos Geológicos. v. 23, n.1, 2013. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/art_andretta_mapeam.pdf>. Acesso em: 16 mar 2016.

ANEEL. **Capítulo 8 – Energia Nuclear**. Atlas da Energia Elétrica do Brasil. 3ª Edição. 2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap8.pdf>. Acesso em 04/03/2013.

ANTENUCCI, J. C et al. **Geographic information systems: a guide to technology**. New York: Chapman and Hall. 1991.

BARCELLOS, C.; BASTOS, F. I. **Geoprocessamento, Ambiente e Saúde: uma união possível?** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.12, n.3, jul/set 1996. p. 389-397. Disponível em: <<http://goo.gl/EHDd03>>. Acesso em 10 nov. 2014.

BECQUEREL, H. **Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents**. Comptes Rendus, v. 122, p. 559-564, 1896. In: MARTINS, R. A. **Como Becquerel não descobriu a radioatividade**. Caderno Catarinense de Ensino de Física., Florianópolis, 7 (Número Especial), p: 27-45, jun. 1990. Disponível em: <<https://goo.gl/66l1mR>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

BLUMGART, H.L.; YENS, O.C. **Studies on the velocity of blood flow: I. The method utilized**. J. Clin. Invest. v.4, n.1, p.1-13, 1926. In: OLIVEIRA, R. S. e LEÃO, A. M. A. C. **História da radiofarmácia e as implicações da Emenda Constitucional N. 49**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, vol. 44, n. 3, jul./set., 2008, p.377. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v44n3/a06v44n3>>. Acesso em: 21 jun 2016.

BRASIL. **Decreto de 15 de fevereiro de 1991**. Mantém concessões, permissões e autorizações nos casos que menciona e dá outras providencias. Disponível em: <<https://goo.gl/ex8FfU>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

_____. **Decreto N° 4.097, de 23 de janeiro de 2002.** Altera a redação dos arts. 7º e 19 dos Regulamentos para os transportes rodoviário e ferroviário de produtos perigosos, aprovados pelos Decretos n^{os} 96.044, de 18 de maio de 1988, e 98.973, de 21 de fevereiro de 1990, respectivamente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4097.htm>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Decreto nº 8.421, de 20 março de 2015,** que regulamenta a concessão da Gratificação Específica de Produção de Radioisótopos e Radiofármacos - GEPR, instituída pela Lei no 11.907, de 2 de fevereiro de 2009. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: Poder Executivo, Brasília, DF, 20 março 2015. Seção 1, p. 1. Disponível em: <<http://goo.gl/guRZyX>>. Acesso em: 15 jul 2015.

_____. **Decreto N° 96.044, de 15 de agosto de 1988.** Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d96044.htm>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Decreto N° 98.973, de 21 de fevereiro de 1990.** Aprova o Regulamento do Transporte Ferroviário de Produtos Perigosos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d98973.htm>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Lei Complementar 140, de 08 de dezembro de 2011.** Publicada no Diário Oficial da União em 09 de dezembro de 2011. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Lei federal 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: 03 fev 2015.

_____. **Portaria MT N° 101, de 30 de março de 1998.** Dispõe sobre alterações na Regulamentação para os Transportes Rodoviário e Ferroviário de Produtos Perigosos. Disponível em: <<http://goo.gl/nDRCjk>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Portaria MT N° 204, de 20 de maio de 1997.** Aprova as Anexas Instruções Complementares ao Regulamento dos Transportes Rodoviário e Ferroviário de Produtos Perigosos. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/12641/Portaria_MT_n__204.html>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Portaria MT N° 254, de 10 de julho de 2001.** Altera as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos, anexas à Portaria nº 204/MT, de 20/5/97. Disponível em: <<http://goo.gl/9N6RU1>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Portaria MT N° 261, de 11 de abril de 1989.** Promove ajustamentos técnico-operacionais no Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/12636/Portaria_MT_n__261.html>. Acesso em: 21 jun 2016.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, São Paulo. 1996. Disponível em: <http://goo.gl/ixvEjz>>. Acesso em: 28 jan. 2015.

CATALÃO, D. F. A. **O contributo dos SIG com recurso a ferramentas de código aberto e programação em Python para o planeamento do transporte coletivo: O caso da cidade do Porto.** 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território). Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto. 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/80892>>. Acesso em: 16 mar 2016.

CECIERJ. Geologia e Hidrografia da cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: <<http://goo.gl/IAih1h>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CHEN, Yuh-Wen, WANG, Chi-Hwang, LIN, Sain-Ju. **A multi-objective geographic information system for route selection of nuclearwaste transport.** Journal Omega. vol. 36, n.3, p. 363-372, jun. 2008. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048306001204>>. Acesso em: 16 mar 2016.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN. **Norma NE-5.01, de 01 de agosto de 1988.** Transporte de Materiais Radioativos (Resolução CNEN 013/88). Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=501>>. Acesso em: 07 jan. 2015.

_____. **Norma NE-5.01/001, de 20 de setembro de 2006.** Transporte de material radioativo por motocicletas em todo o território nacional. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr501_01.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2015.

_____. **Norma NE-5.04, de 25 de março de 2013.** Rastreamento de veículos de transporte de materiais radioativos (Resolução CNEN 148/13). Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm504.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2015.

_____. **Produção de Radiofármacos.** 2015. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/radiofarmacos>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Posição Regulatória 5.01/001.** Transporte de material radioativo por motocicletas em todo território nacional. Disponível em: <<http://goo.gl/0Mp54v>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

EARLY, J. P; LANDA, E. R. **Use of therapeutic radionuclides in medicine, 1995.** In: OLIVEIRA, R. S. e LEÃO, A. M. A. C. **História da radiofarmácia e as implicações da Emenda Constitucional N. 49.** Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, vol. 44, n. 3, jul./set., 2008, p.377. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v44n3/a06v44n3>>. Acesso em: 21 jun 2016.

ELETROBRAS/ELETRONUCLEAR. **Panorama da Energia Nuclear no Mundo.** Gerência de Planejamento Estratégico. Nov. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/jhFfjD>>. Acesso em: 04/03/2013.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_gps.php>. Acesso em: 28 jan. 2015.

FILHO, J. M. **China lança GPS próprio e avança como potência espacial**. Agência Espacial Brasileira. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2012. Disponível em: <<http://goo.gl/DwHf19>>. Acesso em: 06 out. 2014.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Há 50 anos, Brasil inaugurava primeiro reator nuclear da América Latina**. Folha Online. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/U9uf9A>>. Acesso em: 21 jun 2016.

FONTES, L. C. A. A. **Técnicas de Geomensura**. Escola Politécnica. Departamento de Transportes. UFBA. 2005. Disponível em: <<http://www.topografia.ufba.br/montagem.pdf>>. Acesso em: 05 jan 2015.

HERTZ, S.; ROBERT, A.; EVANS, R.D. **Radioactive iodine as an indicator in the study of thyroid physiology**. Proc. Soc. Exptl. Biol.Med., v.38, p.510-513, 1938. In: OLIVEIRA, R. S. e LEÃO, A. M. A. C. **História da radiofarmácia e as implicações da Emenda Constitucional N. 49**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, vol. 44, n. 3, jul./set., 2008, p.377. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v44n3/a06v44n3>>. Acesso em: 21 jun 2016.

HOLGADO, F. L.; ROSA, K. K. **Olhares sobre a paisagem – a utilização de imagens de satélite e fotografias aéreas no ensino de Geografia**. Geografia Ensino & Pesquisa, Cascavel. v. 15, n.3, set./dez. 2011, p. 129-138. Disponível em: <<http://goo.gl/J8CIfm>>. Acesso em: 06 out. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Controle Ambiental do Transporte de Produtos Perigosos**. 28 de Junho de 2013. Disponível em:

<http://ibama.gov.br/phocadownload/consulta_publica/sntpp_28junho2013_final.pdf>.

Acesso em: 07 jan. 2016.

_____. **Diplomas Legais referentes ao Licenciamento Ambiental - Instruções Normativas.** Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/servicos/instrucoes-normativas>>.

Acesso em: 07 jan. 2016.

INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR - IEN. **Radiofármacos.** 2016. Disponível em: <<http://www.ien.gov.br/produtos/radiof.php>>. Acesso em: 17 jun 2016.

_____. **Progress Report 2001–2002: Radiopharmaceuticals.** Rio de Janeiro, RJ. 2002.

Disponível em: <<http://www.ien.gov.br/public/progreport/progressreport20012002.pdf>>.

Acesso em: 21 jun 2016.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS - IPP. **Áreas da cidade passíveis de alagamento pela elevação do nível do mar.** Coleção Estudos Cariocas. Rio de Janeiro. Set. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/91qztm>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

_____. **Escala Grande.** Disponível em:

<http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mapa_digital_rio/?config=config/ipp/cartografia.xml>. Acesso em 11/03/2015.

_____. **Escala Pequena.** Disponível em:

<http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mapa_digital_rio/?config=config/ipp/cartografia.xml>. Acesso em 11/03/2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Tempo e Clima.** Disponível em: <<http://goo.gl/sl5HwA>>. Acesso em: 22 jun 2014.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Transporte de materiais radioativos.** Disponível em: <<http://goo.gl/jOWzDg>>. Acesso em: 07 jan. 2015.

_____. **Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials**, Vienna: IAEA, 1961. (Safety Series nº 6). Disponível em: <<https://goo.gl/N6mXJ6>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

_____. **Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials**, Vienna: IAEA, 2005. (Safety Requirements Nº TS-R-1). Disponível em: <<http://goo.gl/1g6CZy>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

_____. **Safe Transport of Radioactive Material, Training Course Series**, Fourth Edition, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-01_4th_web.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2015.

_____. **Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials**, Vienna: IAEA, 2012. (Specific Safety Requirements Nº SSR-6). Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1570_web.pdf>. Acesso em: 05 jan 2015.

_____. **Safe Transport of Radioactive Material, Training Course Series**, Vienna: IAEA, 2006. (Specific Safety Requirements Nº SSR-6). Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-01_4th_web.pdf>. Acesso em: 05 jan 2015.

KHAN, D., SAMADDER, S. R. **Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods: A mini review**. Waste Management & Research. vol. 32, n.11, p. 1049-1062, nov. 2014. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/content/32/11/1049.full.pdf+html>>. Acesso em: 16 mar 2016.

KINS - KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY. **Successful Korean Initiatives for Strengthening Safety and Security of Radioactive Sources**. Abu Dhabi Conference. 28 October 2013. Disponível em: <<http://gnssn.iaea.org/CSN/Abu%20Dhabi%20Conference/Shared%20Documents/Session%2003%20presentations/INV-09%20Cho%20Lee.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

LAROCHE, Matt. Como o Google Maps calcula o tempo para o destino? Depoimento [1 de janeiro de 2014]. Google Discovery. Entrevista concedida a Renê Fraga. Disponível em: <<https://goo.gl/NMn09q>>. Acesso em: 12 jun 2016.

LI, R., LEUNG, Y. **Multi-objective route planning for dangerous goods using compromise programming**. Journal of Geographical Systems. vol. 13, n.3, p. 249-271, sept. 2011. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10109-010-0124-6>>. Acesso em: 16 mar 2016.

LORENA, L.A.N. **Problemas de Localização e Transportes Integrados a Sistemas de Informação Geográfica**. Revista Comciência, nº 53, 2004. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/200404/reportagens/10.shtml>>. Acesso em: 11 jun 2016.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. Maritime Authority Standards for Transportation of Dangerous Goods. **NORMAM 29**. Disponível em: <<https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam29.pdf>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto. **NORMAM 01**. Disponível em: <<https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam01.pdf>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior. **NORMAM 02**. Disponível em: <https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam02_1.pdf>. Acesso em: 21 jun 2016.

MARTINS, R. A. **A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v.20, n.4, p.373-391. 1998. Disponível em: <<http://goo.gl/0mSVtF>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

MARTINS, R. A. **Como Becquerel não descobriu a radioatividade**. Caderno Catarinense de Ensino de Física., Florianópolis, 7 (Número Especial), p: 27-45, jun. 1990. Disponível em: <<https://goo.gl/6611mR>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

MEYERS, J. et al. Applications. In: LONGLEY, P. A. et al., editors. **Geographical Information Systems**. 2 edition. John Wiley and Sons, 2005. v.2. p. 791-1021. Disponível em: <http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/>. Acesso em: 28 jan. 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção à Saúde. Portaria N° 741, de 19 de dezembro de 2005. Disponível em: <<http://goo.gl/TQDZ0u>>. Acesso em: 26 fev. 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente - (CONAMA). Atividades ou Empreendimentos Sujeitas ao Licenciamento Ambiental. **Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997**. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/transporte/documentos/Resolucao-CONAMA-237.pdf>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Instrução Normativa IBAMA nº 5, de 09 de maio de 2012**. Publicada no Diário Oficial da União em 10 de maio de 2012. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/transporte/documentos/Instru%C3%A7%C3%A3o-Normativa-IBAMA-No5.pdf>>. Acesso em: 21 jun 2016.

_____. **Portaria N° 245, de 11 de julho de 2011**. Reconhecer o Mosáico Carioca de Unidades de Conservação. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/legislacao/areas-protegidas>>. Acesso em: 03 fev 2015.

MISTRETTA, L. F., JÚNIOR, O. D. **Implantação de sistema de rastreamento e monitoramento de frota e simulação de rota de uma empresa de bebidas**. Tékhne e Lógos, Botucatu, SP, v.3, n.2, Jul. 2012. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/viewFile/133/121>>. Acesso em: 16 mar 2016.

MORGAN, M.; ESS, D. **The Precision Farming Guide for Agriculturalists**. John Deere Publishing, Moline, IL. 1997. p.117.

MOULD, Richard Francis. **A century of X-rays and radioactivity in medicine**. Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1995. In: NAVARRO, M. V. T. et al. **Controle**

de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica. História, Ciências, Saúde-Manguinhos, v.15, nº.4. Rio de Janeiro. Oct./Dec. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/v3zg5A>>. Acesso em: 25 fev. 2015.

NAVARRO, M. V. T. et al. **Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica.** História, Ciências, Saúde-Manguinhos. Rio de Janeiro, vol.15, nº4, Out./Dez. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/706sBo>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

O GLOBO. **Manifestação violenta na avenida Ministro Edgar Romero (corredor expresso - Transcarioca) próximo a Estação BRT - Otaviano, Madureira.** Disponível em: <http://oglobo.globo.com/rio/pelo-menos-sete-pessoas-sao-detidas-em-protesto-em-madureira-18967298>. Acesso em: 31 mar 2016

OLIVEIRA, R. S.; ANTUNES, L. J. **Radiopharmaceutical Research and Production in Brazil: A 30-Year History of Participation in the Nuclear Medicine Scenario.** Journal of Nuclear Medicine Technology, v. 39, n.3, september 1, 2011. p. 237-239. Disponível em: <<http://tech.snmjournals.org/content/39/3/237.full>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

PCRJ - PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **DataRio - O Rio em números.** Disponível em: <<http://goo.gl/VjoU78>>. Acesso em: 11 mar. 2015.

PEITER, P. C. et al. Espaço Geográfico e Epidemiologia: Representação dos processos espaciais em mapas. In: BARCELLOS, C.; SANTOS, S. M. Org(s). **Abordagens Espaciais em Saúde Pública.** Brasília, DF. Ministério da Saúde, 2006. p. 13-43. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/serie_geoproc_vol_1.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2015.

PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados a Saúde.** OPAS/MS. 2000.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO - PCRJ. **História do Rio.** Rio de Janeiro. Set. 2009. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/guest/exibeconteudo?article-id=87129>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

_____. Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMAC. **Mapeamento da Cobertura Vegetal e o Uso das Terras do Município do Rio de Janeiro**. 2011. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/exibeconteudo?article-id=2367969>>. Acesso em: 15 jan 2015.

RIBEIRO, G.; CÂMARA, G. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G., DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. Org(s). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 06 out 2016.

RIBEIRO, V., Remoaldo, P., GUTIÉRREZ, J., RIBEIRO, J. C. **Acessibilidade e SIG no planejamento em saúde: uma abordagem baseada em modelos de alocação-localização**. Revista Portuguesa de Estudos Regionais, n.38, 1.º Quadrimestre. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/qTX7ds>>. Acesso em: 16 mar 2016.

SANTOS, G.R.; BRAGHIROLI, A.M.; SUITA, J.C. IEN's RDS-111 Cyclotron and PET Technology. In: INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR (IEN). **Progress Report 2001–2002: Radiopharmaceuticals**. Rio de Janeiro, RJ. 2002. Disponível em: <<http://www.ien.gov.br/public/progreport/progressreport20012002.pdf>>. Acesso em: 21 jun 2016.

SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo: Nobel. 1988.

SHANMUGASUNDARAM, J.; SOULALAY, V.; CHETTIYAPPAN, V. **Geographic information system-based healthcare waste management planning for treatment site location and optimal transportation routeing**. Waste Management & Research. vol. 30, n.6, p. 587–595, jun. 2012. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/content/30/6/587.full.pdf+html>>. Acesso em: 16 mar 2016.

SHELDON, F. T. et al. **Tracking Radioactive Sources in Commerce**. WM'05 Conference. Tucson, Arizona (EUA). 27 fev - 3 mar. Disponível em:

<<https://swap.stanford.edu/20110602062951/http://www.epa.gov/radiation/docs/source-management/rad-i-ncommerce-0305.pdf>>. Acesso em: 22 jun 2014.

SILVA, A. S. **Efeitos da Morfologia Continental sobre a Distribuição dos Ventos Locais no Litoral entre o Cabo São Tomé e a Baía de Guanabara**. Março de 1997. 97 f. Dissertação. UFRJ, Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <<http://goo.gl/3IGcLn>>. Acesso em: 15 jan 2015.

SILVA, J. X. **O que é Geoprocessamento**. Revista do Crea-RJ, out/nov 2009, p. 42-44. Disponível em: <<http://goo.gl/YHu0Ym>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

SKB, 1995. **General Siting Study 95 – Siting of a deep repository for spent nuclear fuel**, (Technical Report 95-34) Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

STAIGER, C. **Zur Geschichte der Radiopharmazie**. Pharmazie Unserer Zeit. v. 34, n. 6, p. 454-459. 2005. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16320632>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

STOCKER, Laura; BURKE, Gary. **Overlay Mapping - A Methodology for Place-Based Sustainability Education**. Proceedings of the 2006 Conference of the Australian Association of Environmental Education. Disponível em: <http://aaee.org.au/docs/2006%20conference/25_Stocker_Burke.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2015.

TERRA. **Deslizamento da encosta na entrada do túnel Rebouças**. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/fotos/0,,OI54355-EI306,00-Rio+deslizamento+de+terra+fecha+tunel+Reboucas.html>>. Acesso em: 31 mar 2016.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC. **Uses of Radiation**. USA: USNRC, Friday, October 17, 2014. Disponível em: <<http://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/uses-radiation.html>>. Acesso em: 28 fev. 2015.

UOL NOTÍCIAS. **Alagamento da avenida Prof. Manoel de Abreu com rua Prof. Eurico Rabêlo.** Disponível em: <<http://noticias.bol.uol.com.br/fotos/imagens-do-dia/2013/12/11/forte-chuva-provoca-alagamentos-em-ruas-do-rio.htm?fotoNav=58>>. Acesso em: 31 mar 2016.

VILAS BÔAS, P. I. G. **Utilização de SIG na sistematização de ocorrências de trauma do samu-192 das cidades de Feira de Santana (BA) e de Rio Claro (SP).** TCC (Bacharel em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/136646>>. Acesso em: 16 mar 2016.

XAVIER, A. M.; MORO, J. T.; HEILBRON, P. F. Cap. 6 - Transporte de Materiais Radioativos. In: _____. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica.** 3ª Edição. Rio Grande do Sul: UFRGS, setembro, 2006. p. 121. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/spr-cadastro/SegurancaProtRad.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

ANEXO I

Mapas dos Fatores de Classificação

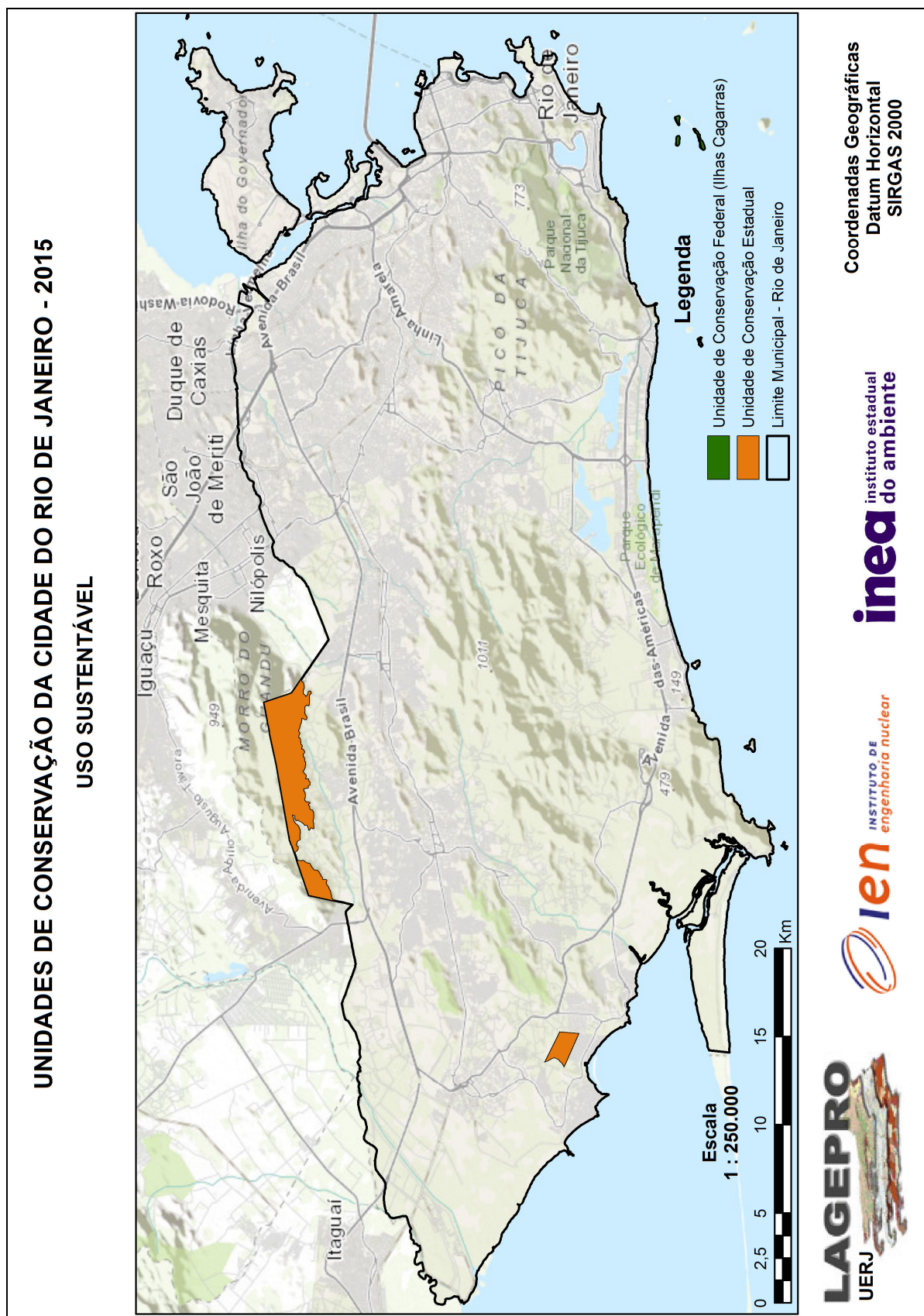
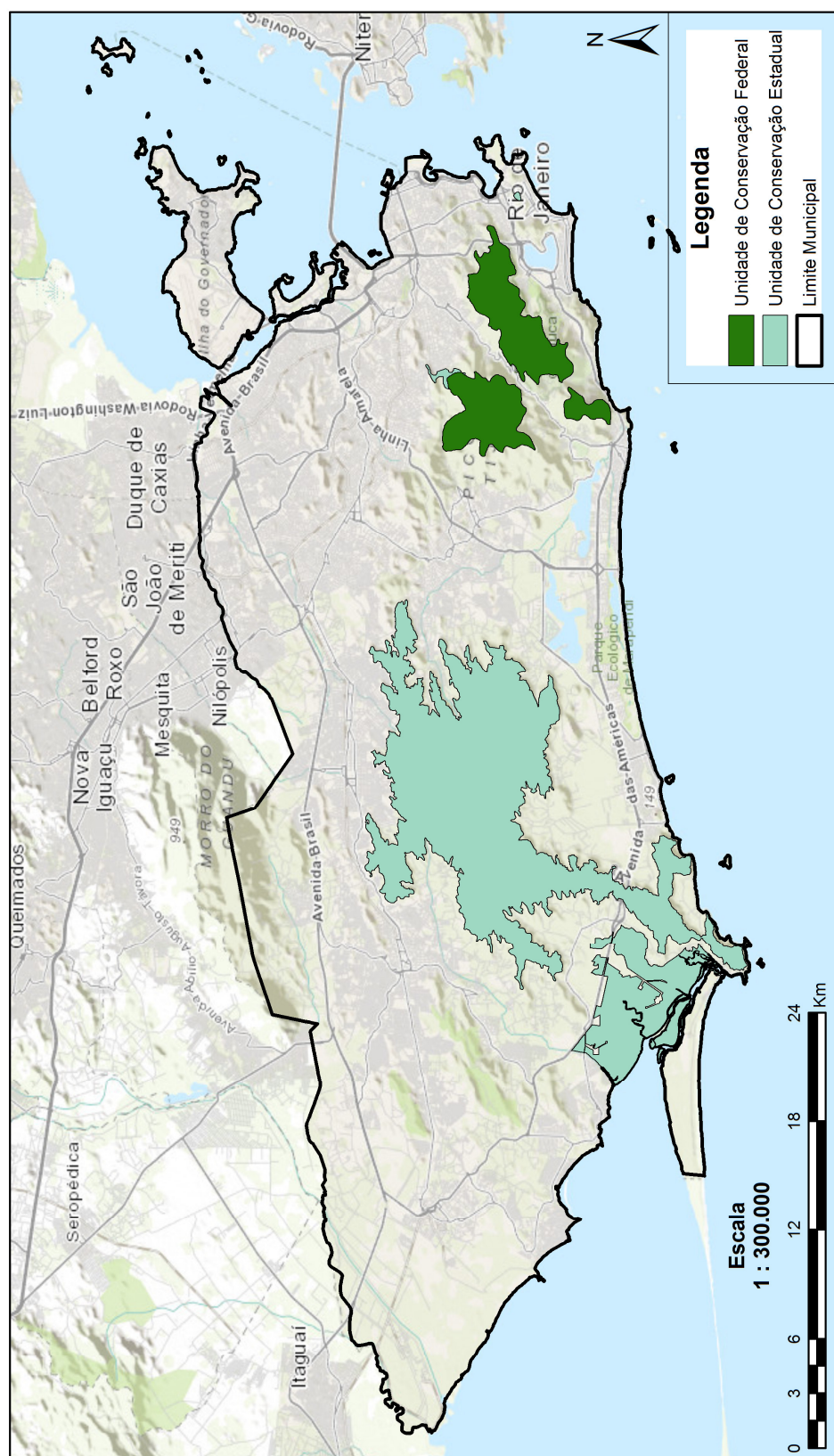


Figura 15: Mapa de Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro (Uso Sustentável), 2015.

Elaborado pelo autor (2015)

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

PROTEÇÃO INTEGRAL



Coordenadas Geográficas
Datum Horizontal - SIRGAS 2000

Figura 16: Mapa de Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro (Proteção Integral), 2015.

Elaborado pelo autor (2015).

USO E COBERTURA DO SOLO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

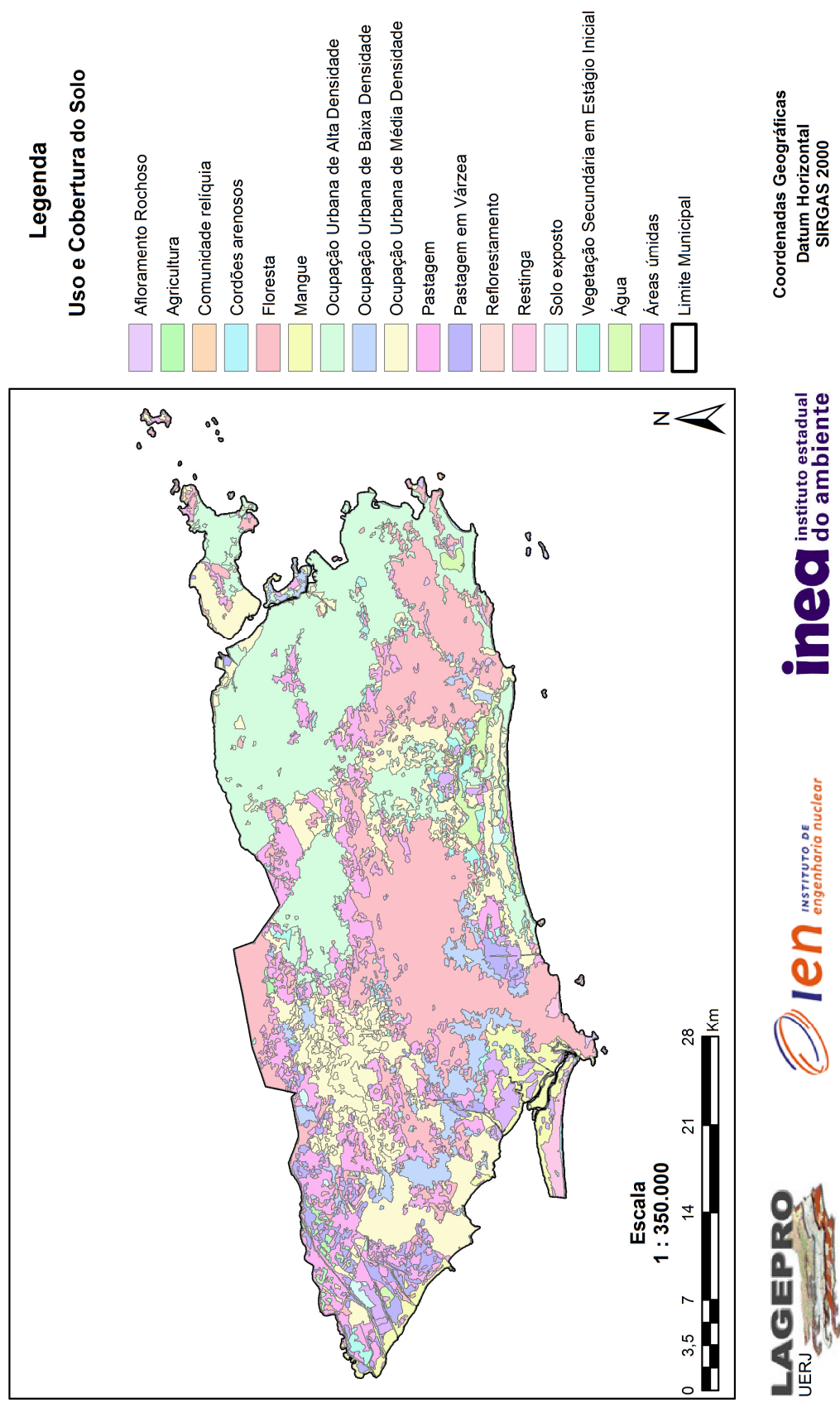


Figura 17: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Cidade do Rio de Janeiro.

Elaborado pelo O autor (2015)

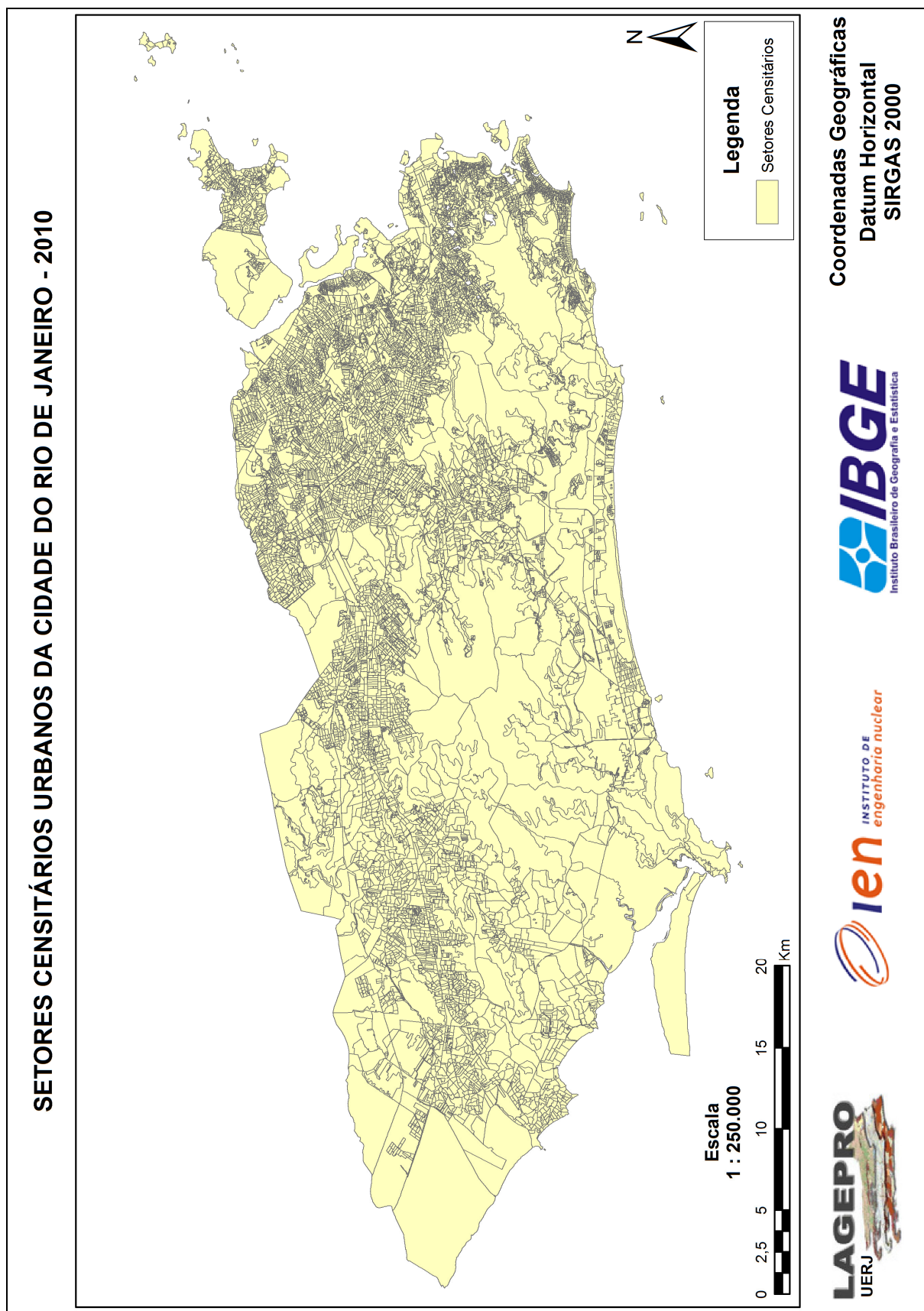


Figura 18: Mapa de Setores Censitários Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro - 2010.

Elaborado pelo autor (2015).



Figura 19: Mapa das Principais Vias de Circulação da Cidade do Rio de Janeiro

Elaborado pelo O autor (2015)

ANEXO II

Mapas dos Fatores de Exclusão

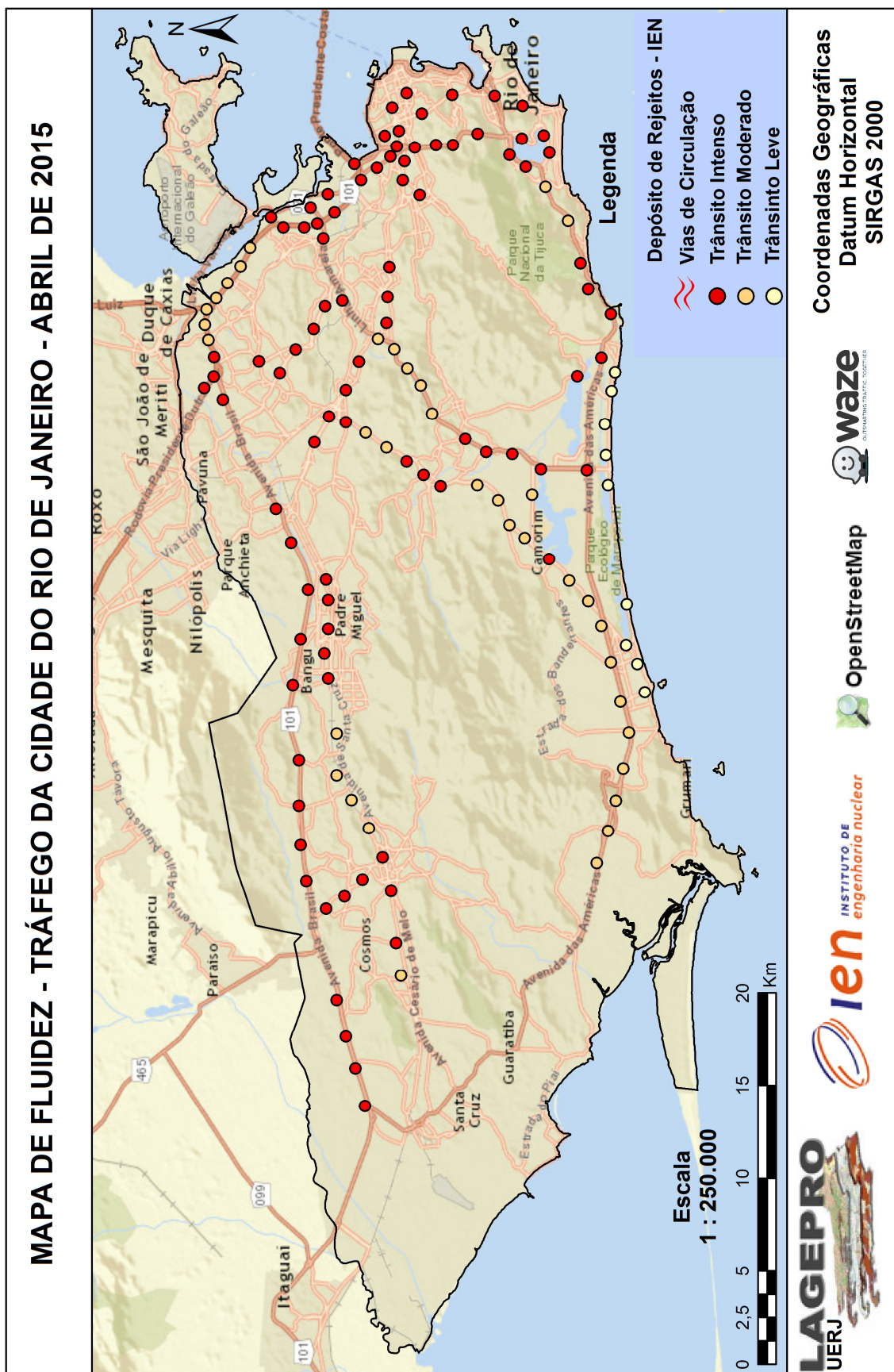


Figura 20: Mapa de Fluidez - Tráfego da Cidade do Rio de Janeiro - Abril de 2015.

Elaborado pelo autor (2015).

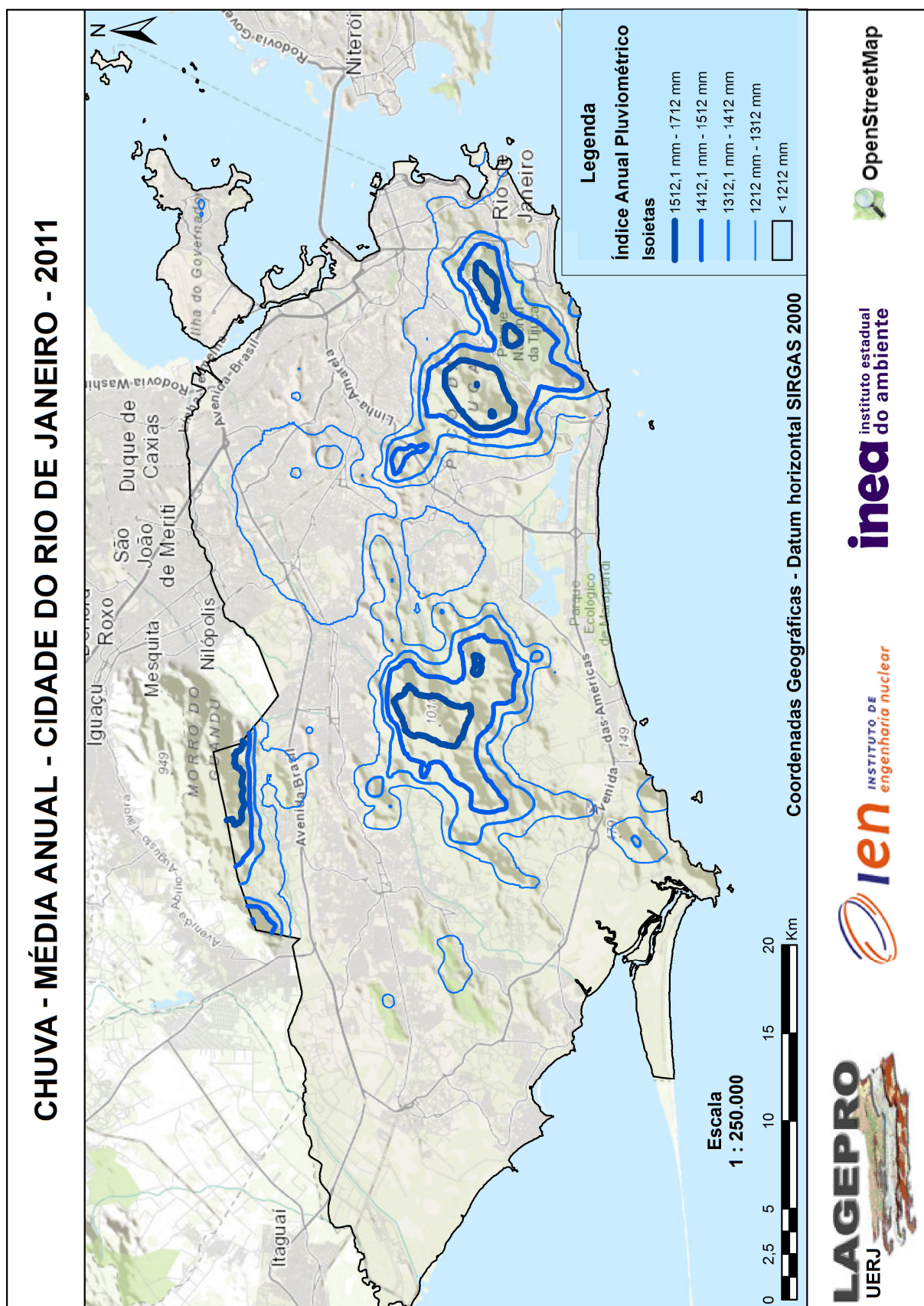


Figura 21: Mapa de Chuva - Média Anual - Cidade do Rio de Janeiro - 2011.

Elaborado pelo autor (2015).

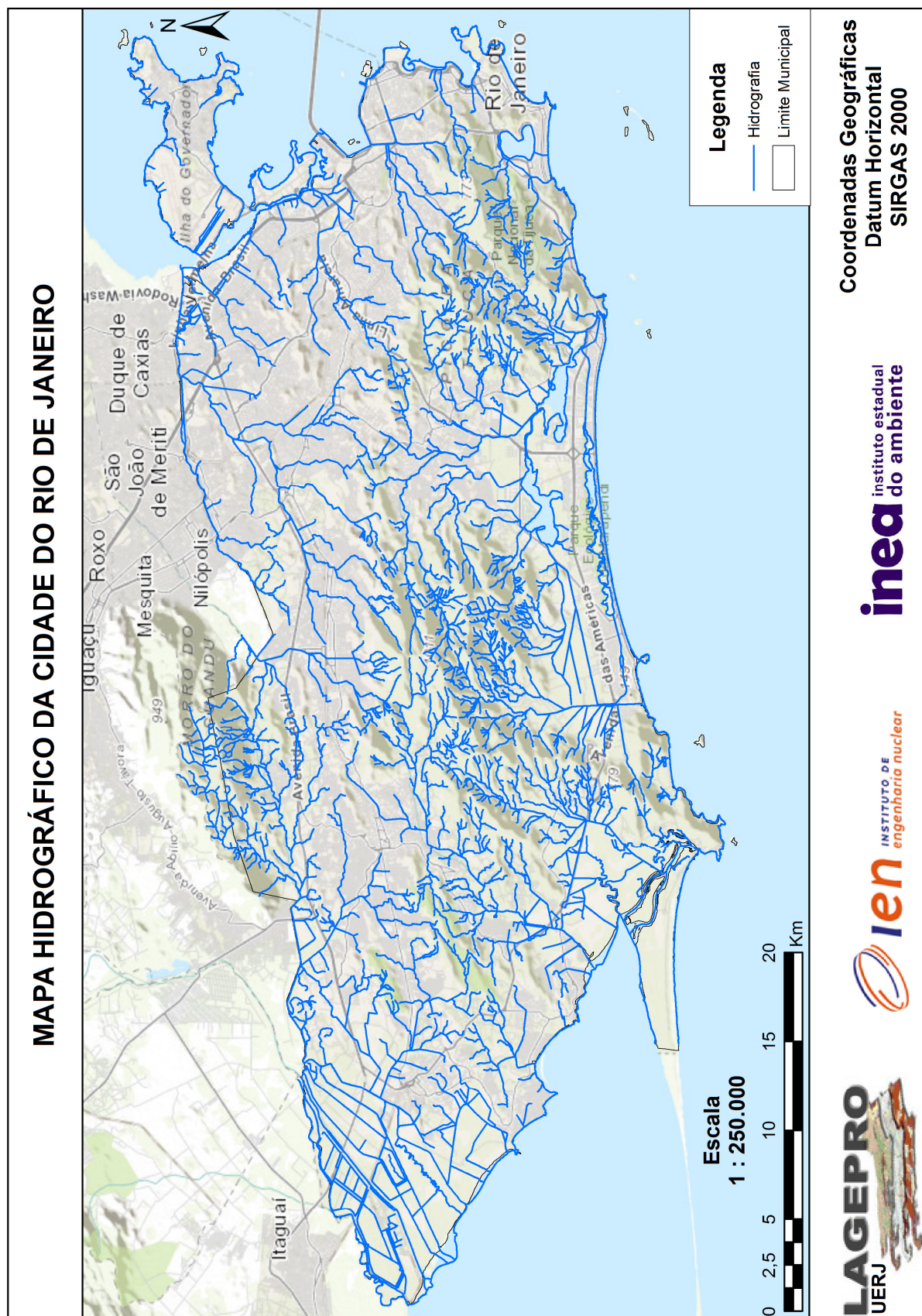


Figura 22: Mapa Hidrográfico da Cidade do Rio de Janeiro.

Elaborado pelo autor (2015).

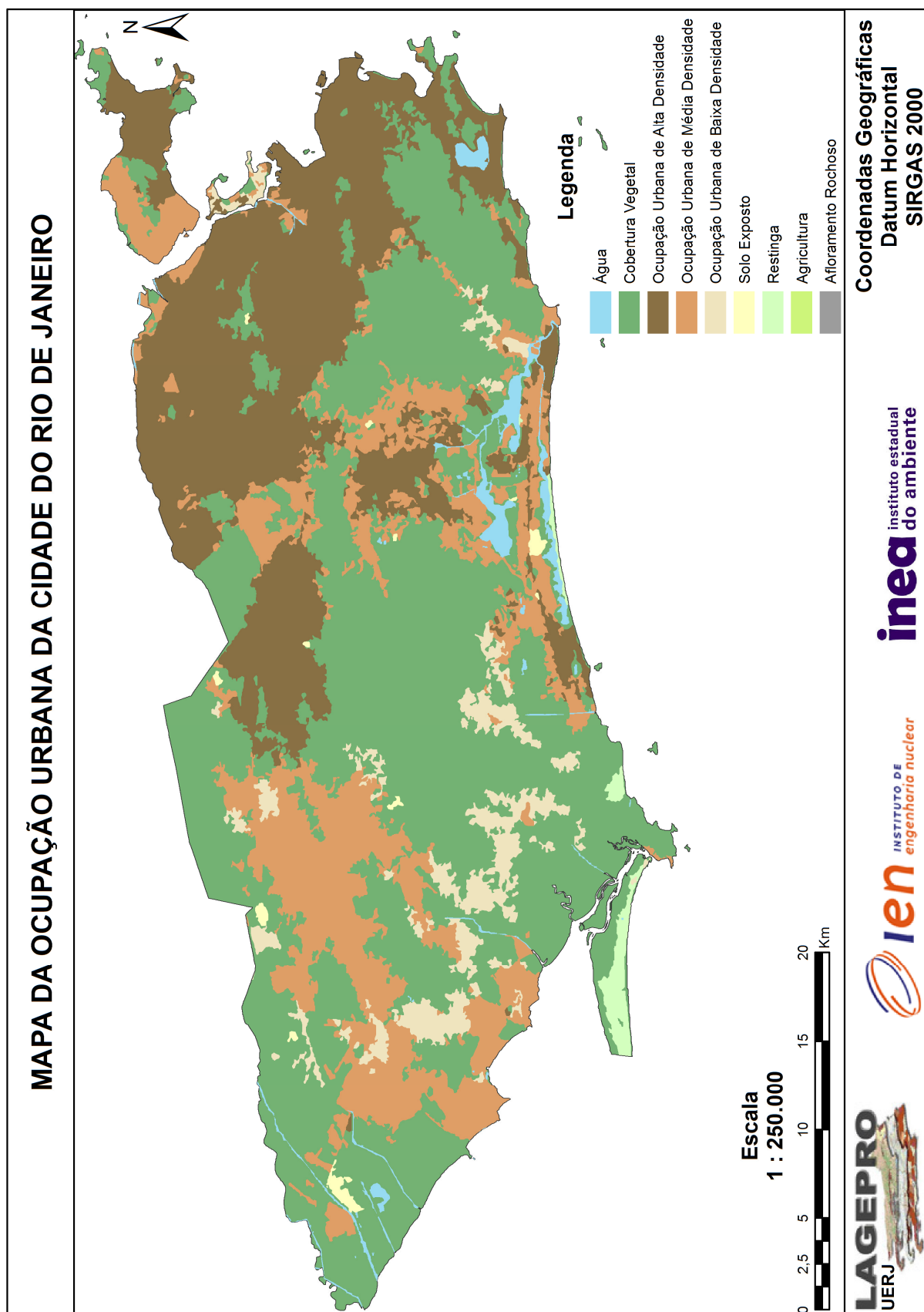


Figura 23: Mapa da Ocupação Urbana (Densidade Demográfica) da Cidade do Rio de Janeiro.
Elaborado pelo autor (2015).

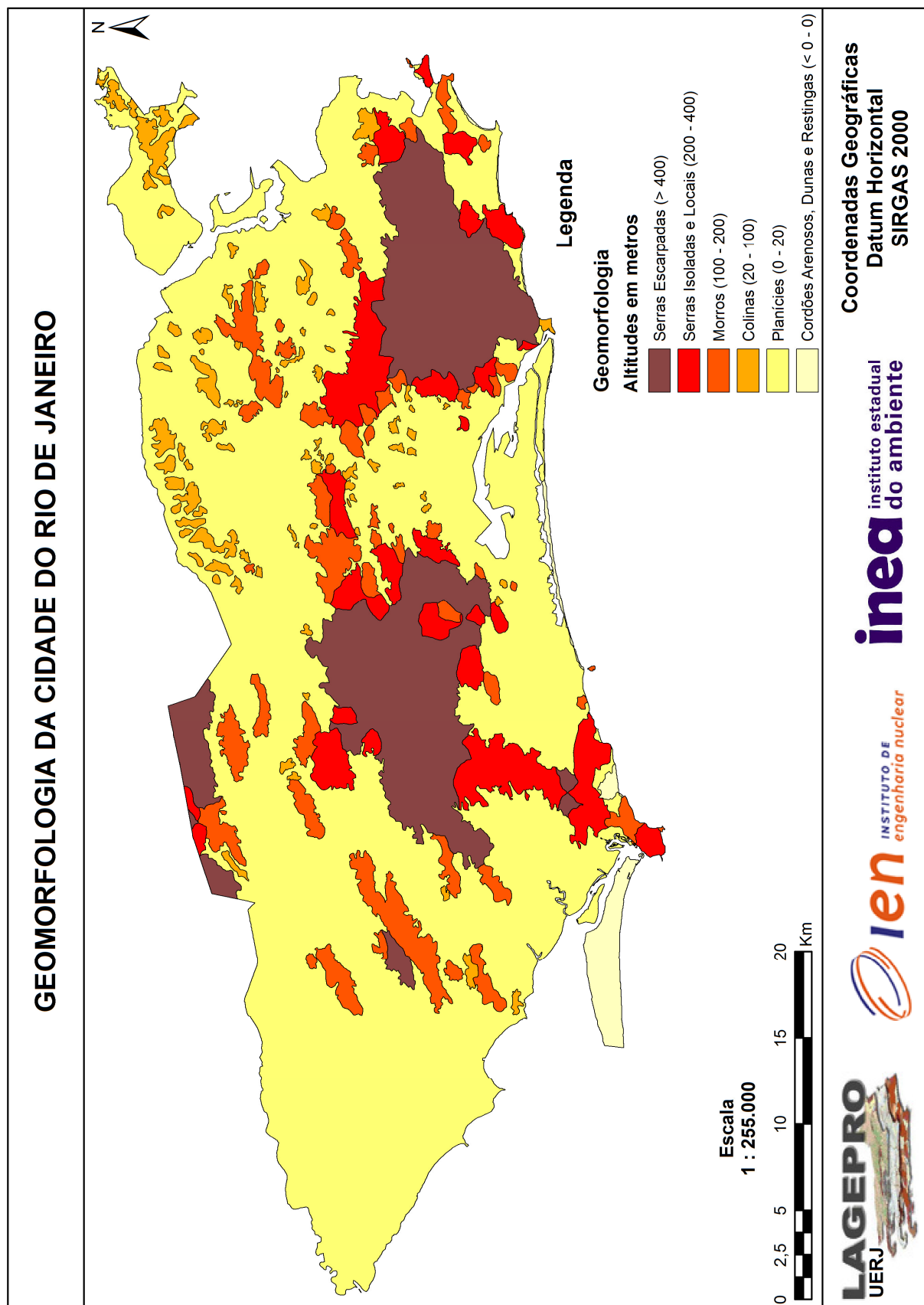


Figura 24: Mapa Geomorfológico da Cidade do Rio de Janeiro.

Elaborado pelo autor (2015).

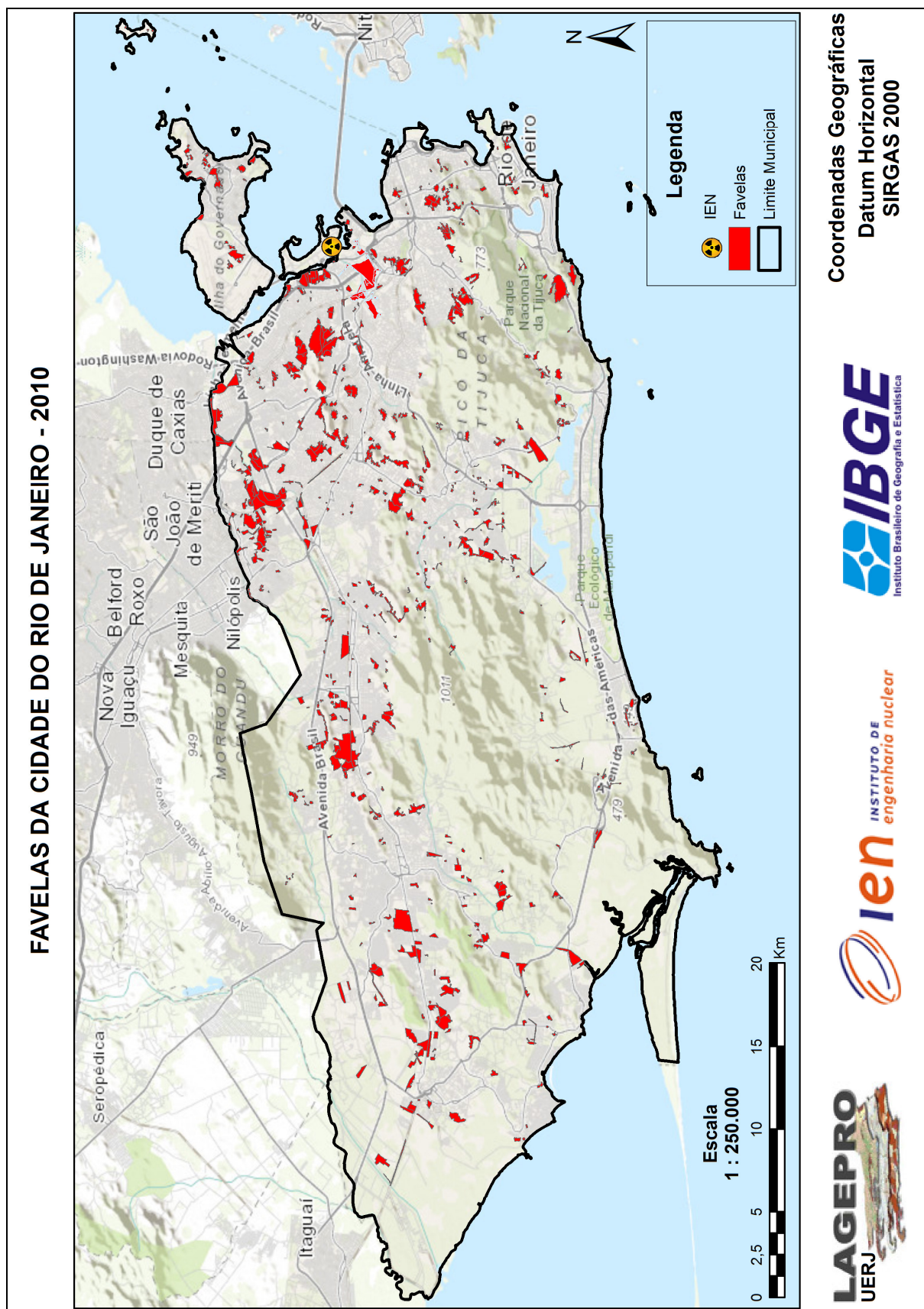


Figura 25: Mapa de Favelas da Cidade do Rio de Janeiro - 2010.

Elaborado pelo autor (2015).

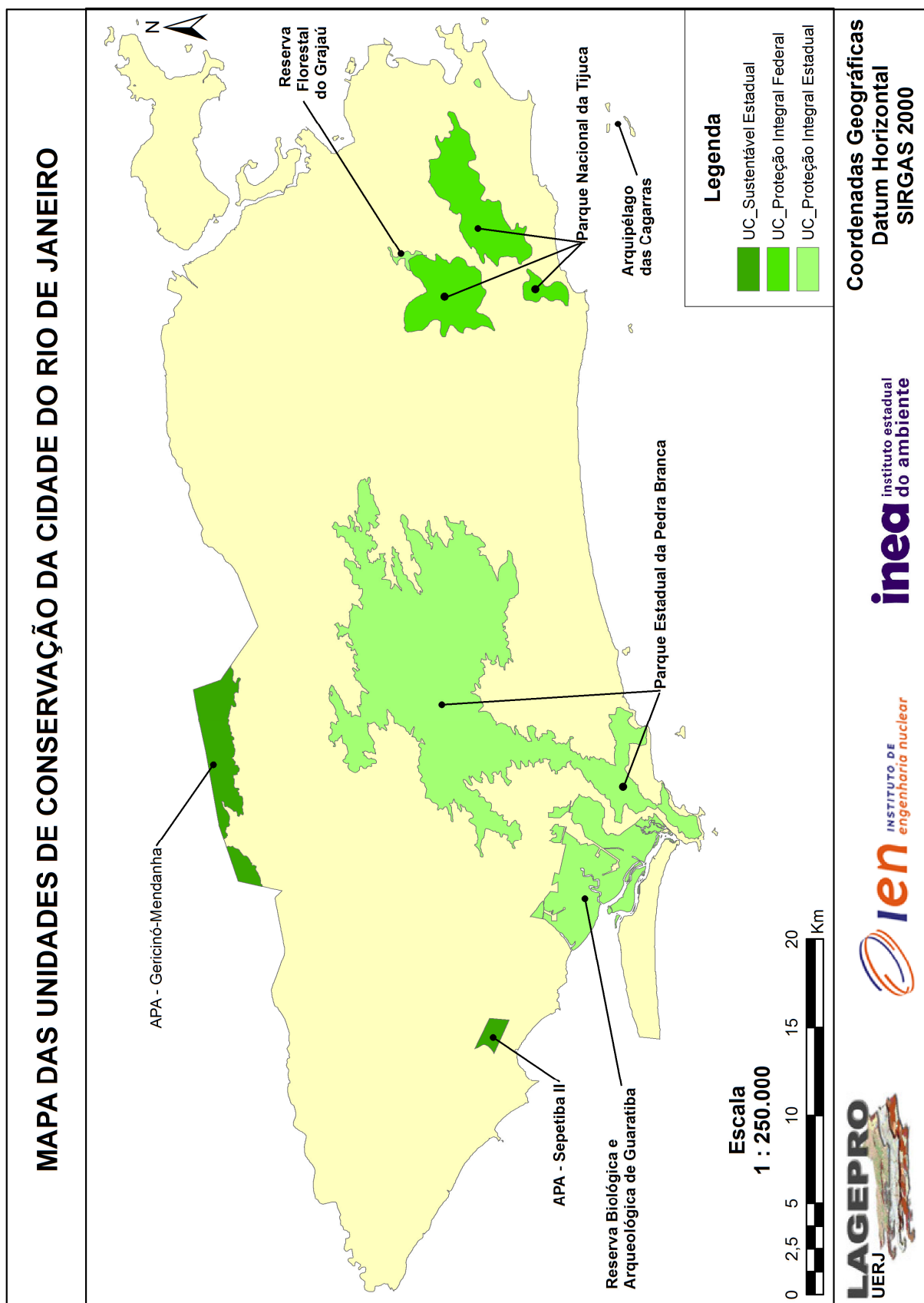


Figura 26: Mapa das Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro.

Elaborado pelo autor (2015).

ANEXO III

Tabela 2: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos do IEN de 2000 a 2016

Tabela 2: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos do IEN de 2000 a 2016.

Razão Social	Bairro	Cidade	UF	FDG	I123	MIBG
DIAGNOSON - Ultrassonografia e Densitometria Óssea	Pituba	Salvador	BA	1	0	0
GMN - Grupo de Medicina Nuclear S/C Ltda	Itaigara	Salvador	BA	0	0	1
Monte Tabor Centro Ítalo Brasileiro de Promoção Sanitária - Hospital São Rafael	São Marcos	Salvador	BA	1	0	0
Instituto de Medicina Nuclear Ltda	Aldeota	Fortaleza	CE	0	1	1
IMEB - Instituto de Medicina Nuclear e Endocrinologia de Brasília	W3 Sul	Brasília	DF	1	1	1
Clínica Villas Boas S.A.	Asa Sul	Brasília	DF	0	1	1
Medinuclear Clínica de Medicina Nuclear Gamatografia S/C Ltda	Asa Sul	Brasília	DF	0	0	1
Secretaria Estadual de Saúde - Distrito Federal - Hospital de Base - (Cli. IPEN)	Asa Sul	Brasília	DF	0	1	1
Centro Diagnóstico de Medicina Nuclear Vila Velha S/C Ltda	Santa Helena	Vitória	ES	1	0	0
Mais Diagnostica	Enseada do Sul	Vitória	ES	1	0	0
Clínica Radiológica de Anápolis S/C Ltda	Centro	Anápolis	GO	0	0	1
IMEN - Instituto de Medicina Nuclear	Centro	Goiania	GO	0	0	1
Nuclear CDI Sociedade Ltda	Setor Oeste	Goiânia	GO	0	0	1
Nucleocor Sociedade Simples	Centro	Rio Verde	GO	0	1	1
Nuclear Medical Image Ltda.	Centro	São Luiz	MA	0	1	1
Hospital Mater Dei	Santo Agostinho	Belo Horizonte	MG	0	1	0
Instituto Hermes Pardini Ltda	Funcionários	Belo Horizonte	MG	0	1	1
ECOAR Medicina Diagnóstica Ltda	Santo Antônio	Belo Horizonte	MG	0	0	1
FUNDEP - Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa	Pampulha	Belo Horizonte	MG	0	0	1
Hospital Mater Dei - Unidade Diagnóstico Medicina Nuclear	Santo Agostinho	Belo Horizonte	MG	0	1	1
Santa Casa Misericórdia - Belo Horizonte	Santa Efigênia	Belo Horizonte	MG	0	0	1
CNEN-CDTN Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear	Pampulha	Belo Horizonte	MG	1	0	0
Instituto das Pequenas Missionárias de Maria Imaculada - Hospital Madre Teresa	Gutierrez	Belo Horizonte	MG	0	0	1
CEU - Centro Especializado em Ultrassonografia Ltda	Santa Efigenia	Belo Horizonte	MG	0	0	1
Hospital Mater Dei S.A.	Barro Preto	Belo Horizonte	MG	1	0	1
Centro de Imagens Diagnosticos Ltda	Cascatinha	Juiz de Fora	MG	1	0	0

Razão Social	Bairro	Cidade	UF	FDG	I123	MIBG
Biocor - Hospital de Doenças Cardiovasculares Ltda	Vila da Serra	Nova Lima	MG	0	1	1
Instituto Materno Infantil de Minas Gerais S.A.	Vila da Serra	Nova Lima	MG	0	0	1
MedPhoton Diagnosticos e Terapias SS Ltda	Martins	Uberlândia	MG	0	1	0
CDC NUCLEAR S/S	Chácara Cachoeira	Campo Grande	MS	0	0	1
Instituto de Medicina Integral Professor Fernando Figueira	Boa Vista	Recife	PE	0	0	1
DILAB Medicina Nuclear	Graças	Recife	PE	0	0	1
Pronto Socorro Cardiológico de Pernambuco	Santo Amaro	Recife	PE	0	0	1
Hospital das Clínicas - Universidade Federal de Pernambuco	Cidade Universitária	Recife	PE	0	0	1
Real Hospital Português de Beneficência em Pernambuco	Paissandu	Recife	PE	0	0	1
CIMED - Centro Imagens Médicas de Curitiba	Água Verde	Curitiba	PR	0	1	0
Medicina Nuclear Alto da XV Ltda	Alto da XV	Curitiba	PR	0	1	1
CETAC - Centro de Tomografia Computadorizada Ltda	Batel	Curitiba	PR	1	0	0
UFF Hospital Antônio Pedro - Projeto FAPERJ - Claudio Tinoco/Aline Sterque	Centro	Niterói	RJ	0	0	1
Centro de Ressonância Magnética de Niterói	Icaraí	Niterói	RJ	0	1	0
Universidade Federal Fluminense - Instituto de Química	Centro	Niterói	RJ	0	1	0
Universidade Federal Fluminense - HUAP Projeto FAPERJ - Claudio Tinoco Mesquita	Centro	Niterói	RJ	0	0	1
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Centro Radiológico da Lagoa Ltda	Jardim Botânico	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Centro de Diagnósticos Avançados Ltda	Jacarepaguá	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras	Centro	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Hospital São Vicente de Paulo	Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
INCA - Instituto Nacional do Câncer	Centro	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Pro Echo Cardiodata Laboratório de Exames Médicos Ltda	Madureira	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
Hospital Universitário Clementino Fraga Filho	Ilha do Fundão	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Nuclear Diagnósticos Ltda - Hospital São Lucas	Copacabana	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	1	1	1

Continuação da Tabela 2: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos do IEN de

2000 a 2016.

Fonte: Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN.

Razão Social	Bairro	Cidade	UF	FDG	I123	MIBG
Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras	Leblon	Rio de Janeiro	RJ	1	0	1
Centro de Medicina Nuclear da Guanabara	Centro	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Hospital de Força Aérea do Galeão - HFAG	Galeão	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
MEDILABS S.A.	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
MEDISE - Medicina Diagnóstico e Serviços - Hospital Barra D'Or	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
Pró-Cardíaco Pronto Socorro Cardiológico	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	1	1	1
Hospital Naval Marcílio Dias	Lins de Vasconcelos	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Diagnósticos da América	Jardim Botânico	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Fundação Pró Coração - FUNDACOR-H	Laranjeiras	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
Lea Mirian B. da Fonseca/Faperj	Ilha do Fundão	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
INCA - Instituto Nacional do Câncer	Centro	Rio de Janeiro	RJ	1	1	1
Instituto Nacional de Cardiologia Laranjeiras	Laranjeiras	Rio de Janeiro	RJ	1	1	1
Pró-Cardíaco - UFF - Hospital Antônio Pedro - Pesquisa	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
Centro de Medicina Nuclear da Guanabara	Copacabana	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Multimagem Pet S.A. - Pesquisa INCA - Tese: Michel P. Carneiro	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Multimagem Pet - Pesquisa HUCFF - Dra. Raquel Benedetto	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Centro Medicina Nuclear da Guanabara - Pesquisa SPC/INCA	Copacabana	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
INCA Convênio - Guanabara	Copacabana	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
INCA Convênio - Pró Cardíaco	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho	Cidade Universitária	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Labs Cardiolab Exames Complementares S.A.	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	1	1	0
Fleury S.A.- Labs D Or	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Esho Empresa de Serviços Hospitalares S.A.	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Esho Empresa de Serviços Hospitalares S.A. - Projeto Faperj	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
Fleury S. A. - Labs a+ Medicina Diagnóstica	Madureira	Rio de Janeiro	RJ	0	0	1
Unimed Rio Empreendimentos Medicos e Hospitalares	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1

Continuação da Tabela 2: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos do IEN de

2000 a 2016.

Fonte: Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN.

Razão Social	Bairro	Cidade	UF	FDG	I123	MIBG
ESHO - Empresa de Serviços Hospitalares S.A. - Hospital Samaritano	Botafogo	Rio de Janeiro	RJ	1	1	1
Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho - Pesquisa Tanira Mello	Cidade Universitária - Ilha do Fundão	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Diagnósticos da América S.A. - Barra da Tijuca	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	1	0	0
Hospital Alvorada Taquatinga Ltda	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Diagnósticos da América S.A.	Barra da Tijuca	Rio de Janeiro	RJ	0	1	1
Centro Medico Nuclear Volta Redonda CINTIMED Ltda	Vila Santa Cecilia	Volta Redonda	RJ	0	0	1
Cardio Nuclear Natal Ltda	Tirol	Natal	RN	0	1	0
Pio Sodalicio Damas de Caridade Mant. Hospital Nossa Senhora do Pompeia	Centro	Caxias do Sul	RS	0	0	1
Medicina Nuclear de Novo Hamburgo S/C Ltda	Hamburgo Velho	Novo Hamburgo	RS	0	0	1
NUCLIMAGEM - Clínica de Medicina Nuclear Ltda	Azenha	Porto Alegre	RS	0	1	1
Neonuclear Radioisotopia Ltda	Moinhos de Vento	Porto Alegre	RS	0	1	1
Cardionuclear S/C Ltda	Santana	Porto Alegre	RS	0	0	1
Associação Educadora São Carlos - Hospital Mãe de Deus	Menino Deus	Porto Alegre	RS	0	1	1
União Brasileira de Educação e Assistência - Hospital São Lucas - PUCRS	Jardim Botânico	Porto Alegre	RS	0	0	1
Associação Hospitalar Moinhos de Vento	Moinhos de Vento	Porto Alegre	RS	0	1	1
Hospital Nossa Senhora da Conceição	Cristo Redentor	Porto Alegre	RS	0	1	1
Bionuclear - Serviço de Medicina Nuclear S/C Ltda	Centro	Florianópolis	SC	0	0	1
CLIMEDI - Clínica de Medicina Nuclear Endocrinologia e Diabetes Ltda	Centro	Aracaju	SE	0	0	1
Instituto de Medicina Nuclear de Piracicaba S/C Ltda	Alto	Piracicaba	SP	0	0	1
Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Assistência do Hospital das Clínicas FMRP-USP (IPEN)	Monte Alegre	Ribeirão Preto	SP	0	0	1
Fundação Faculdade Regional de Medicina de São José do Rio Preto	São Manoel	São José do Rio Preto	SP	0	0	1
Núcleo Medicina Nuclear Diagnóstico e Tratamento Ltda	Perpétuo Socorro	São João da Boa Vista	SP	0	0	1
Fleury S.A.	Bela Vista	São Paulo	SP	0	1	1
Sociedade Beneficente Israelita Brasileira - Hospital Albert Einstein	Morumbi	São Paulo	SP	0	1	1
Diagnóstcos da América S.A.	Tatuapé	São Paulo	SP	0	1	0
URP - Unidade Radiológica Paulista Clínica Diagnóstico Por Imagem	Ibirapuera	São Paulo	SP	0	1	1

Continuação da Tabela 2: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos do IEN de

2000 a 2016.

Fonte: Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN.

Razão Social	Bairro	Cidade	UF	FDG	I123	MIBG
UDDO - Unidade Diagnósticos Densitometria Óssea Ltda	Higienópolis	São Paulo	SP	0	0	1
Sociedade Beneficente Senhoras - Hospital Sirio Libanes	Cerqueira Cesar	São Paulo	SP	1	0	0
Fleury S.A.	Ibirapuera	São Paulo	SP	0	1	0
Diagnóstico da América Ltda	Vila Olímpia	São Paulo	SP	0	1	0
IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Butantã	São Paulo	SP	1	1	0
Diagnósticos da América S/A	Tatuapé	São Paulo	SP	0	1	0
Laboratório Delboni Auriemo	Vila Andrade	São Paulo	SP	0	1	0
Fundação Adib Jatene	Ibirapuera	São Paulo	SP	0	0	1
Hospital Santa Paula S.A.	Vila Olímpia	São Paulo	SP	0	1	0
Diagnósticos da América S.A.	Tatuapé	São Paulo	SP	0	1	0
Real e Benemerita Associação Portuguesa de Beneficência - Hospital São José	Paraíso	São Paulo	SP	1	0	0
Associação do Sanatório Sirio Hospital do Coração	Paraíso	São Paulo	SP	1	0	0
A+ Medicina Diagnóstica	Sumarezinho	São Paulo	SP	0	1	1

Continuação da Tabela 2: Unidades de Saúde Compradoras de Radiofármacos do IEN de 2000 a 2016. 1 = Sim e 2 = Não.

Fonte: Área Comercial do Serviço Financeiro do IEN.

Anexo IV

Rotas entre a Divisão de Radiofármacos do IEN e as Unidades de Saúde Clientes

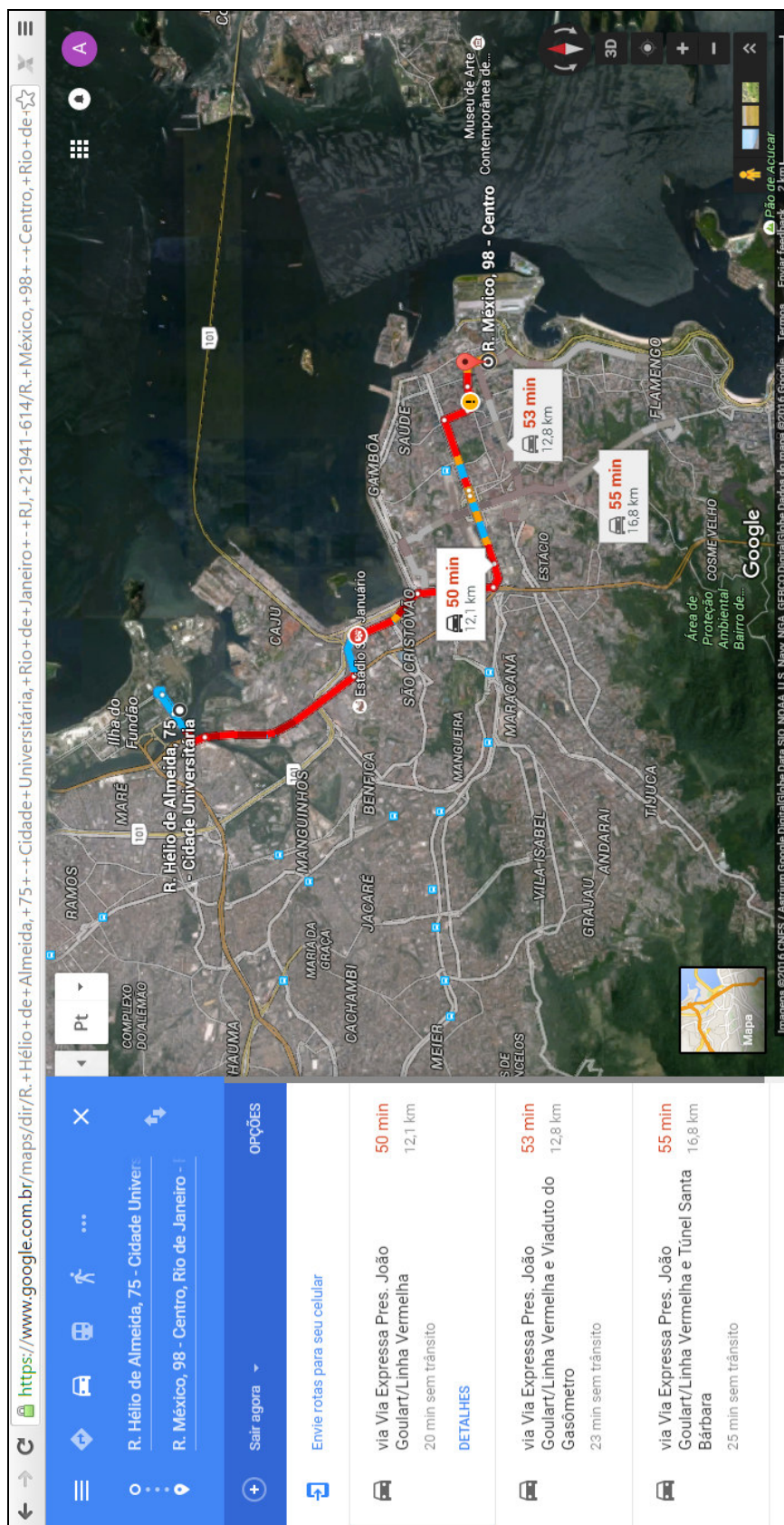


Figura 27: Mapa da rota IEN-C1 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras (Centro)

Disponível em: < <https://goo.gl/GUGNqr>>. Acesso em: 16 jun 2016.

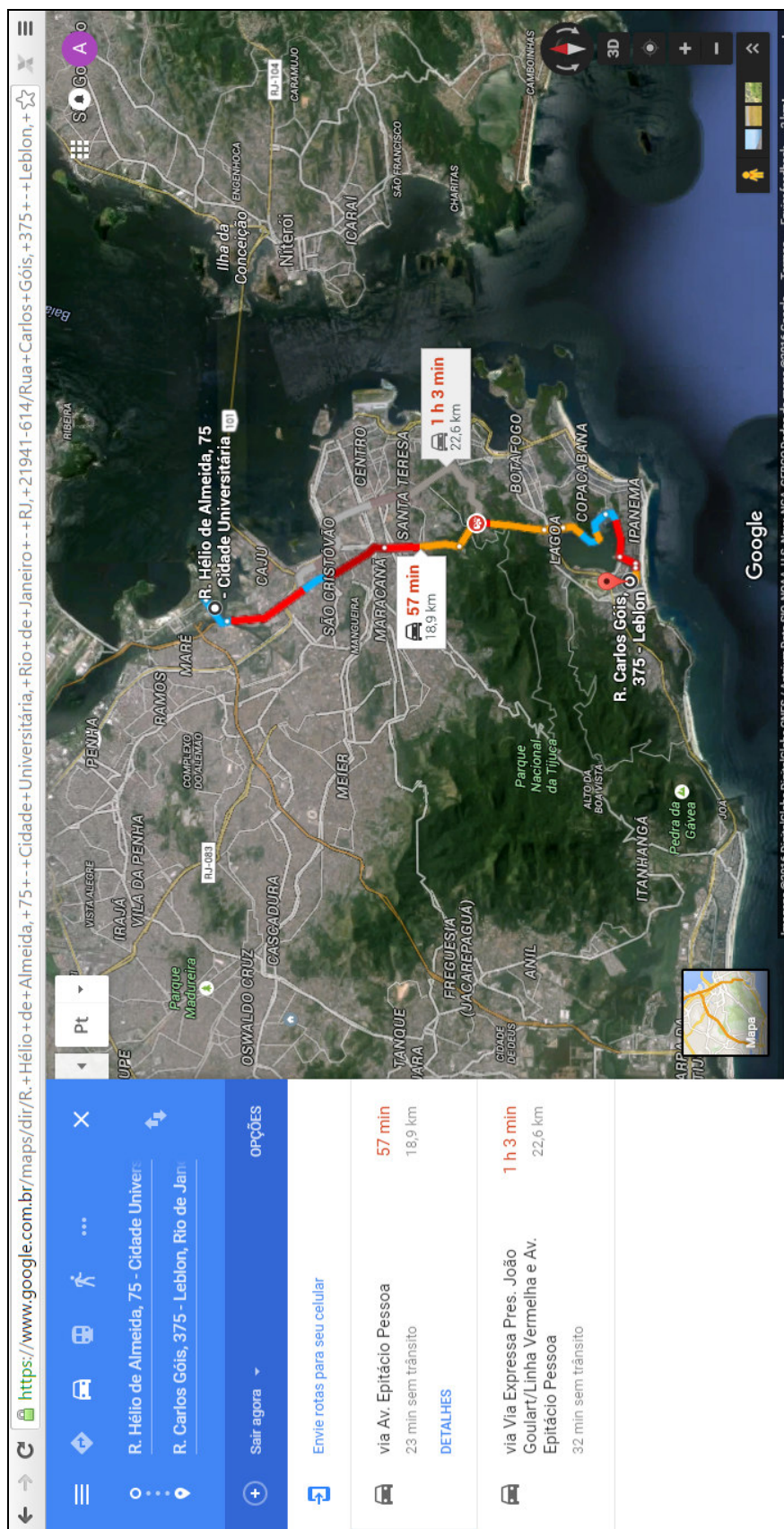


Figura 28: Mapa da rota IEN-C2 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Clínica de Medicina Nuclear Villela Pedras (Leblon)

Disponível em: <<https://goo.gl/lCwHxA>>. Acesso em: 16 jun 2016.

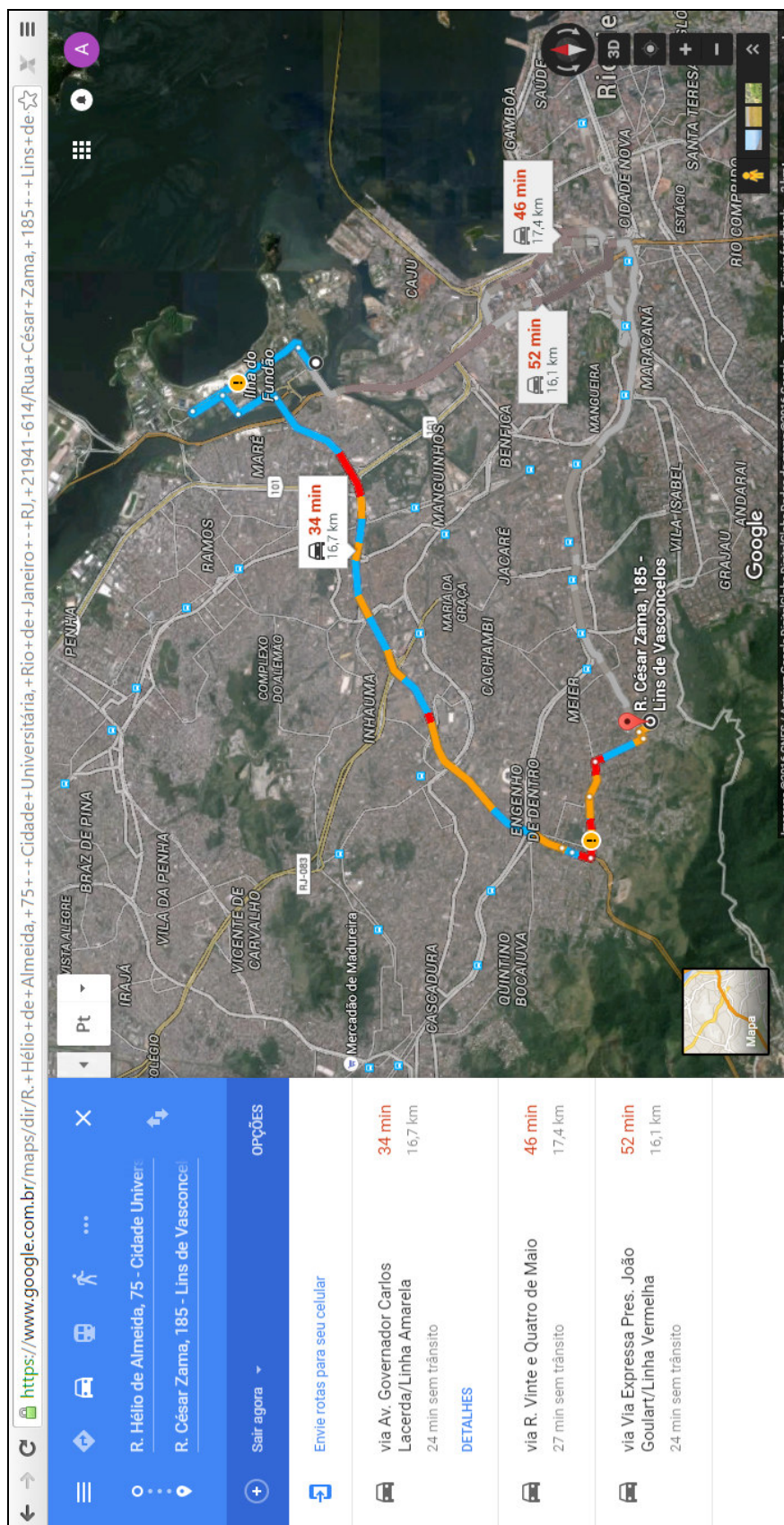


Figura 29: Mapa da rota IEN-C3 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Hospital Naval Marcílio Dias (Lins de Vasconcelos)

Disponível em: <<https://goo.gl/oGa9as>>. Acesso em: 16 jun 2016

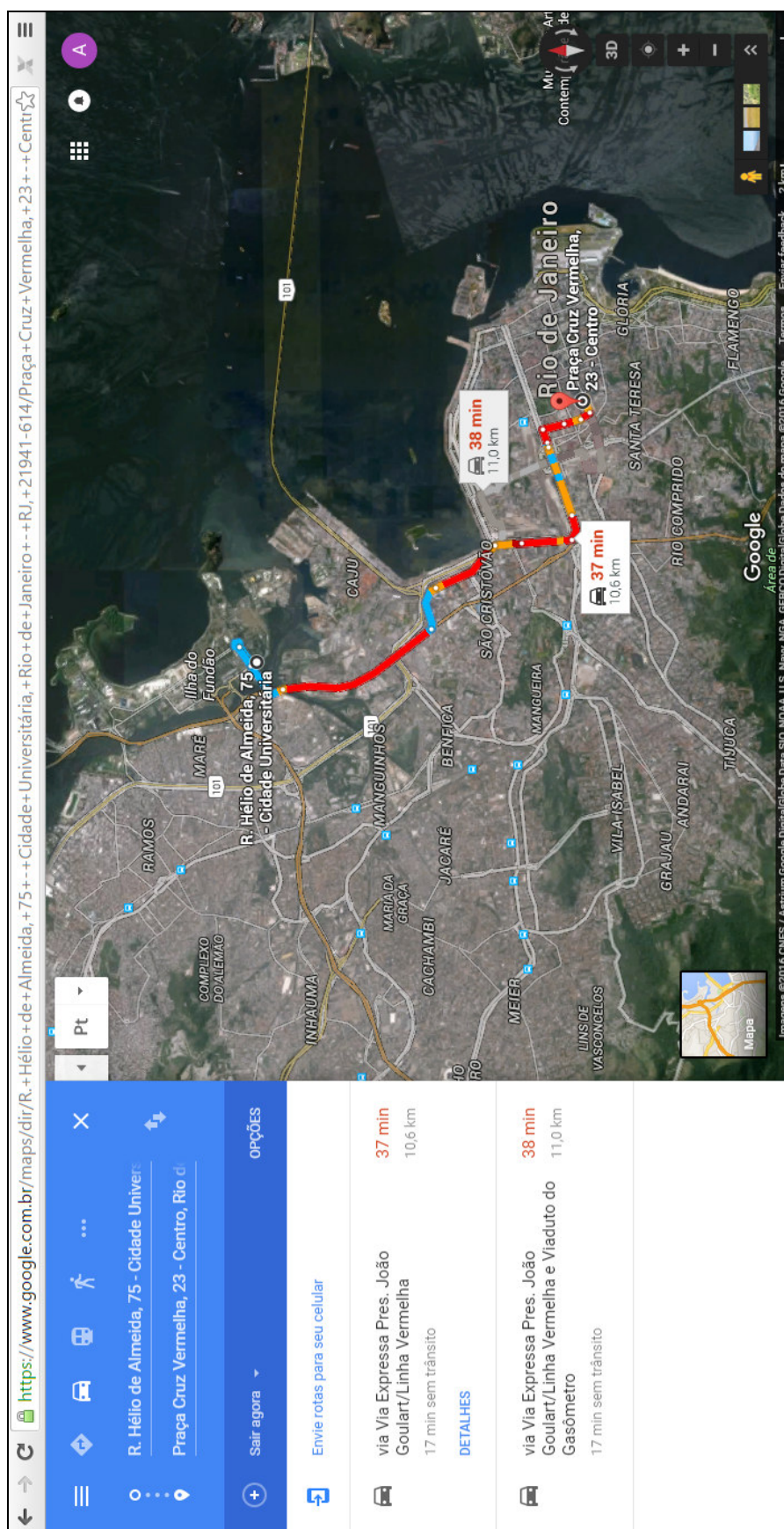


Figura 30: Mapa da rota IEN-C4 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para INCA (Centro)

Disponível em: <<https://goo.gl/ggzPqU>>. Acesso em: 16 jun 2016.

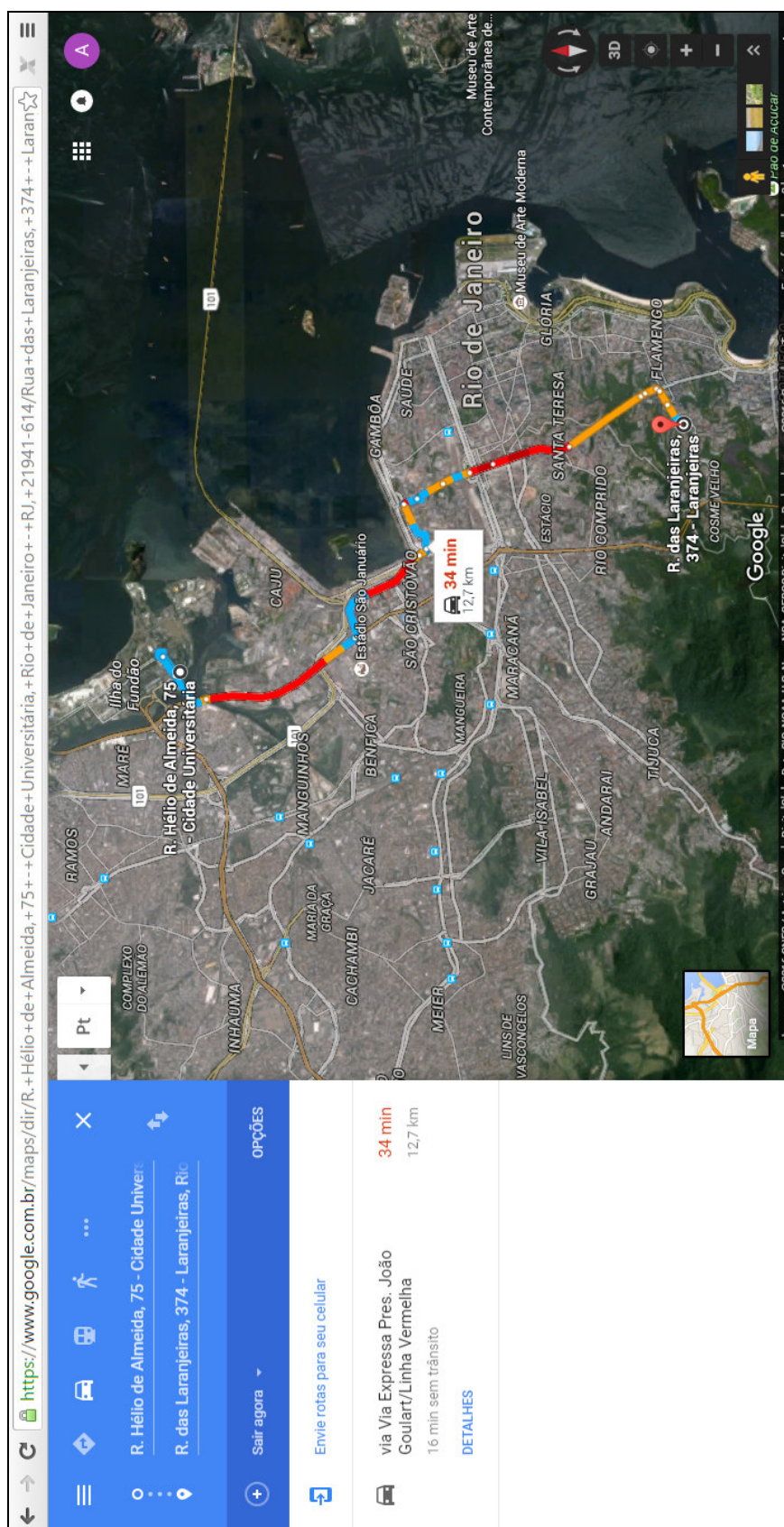


Figura 31: Mapa da rota IEN-C5 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Instituto Nacional de Cardiologia Laranjeiras (Laranjeiras)

Disponível em: <<https://goo.gl/MBsXIC>>. Acesso em: 16 jun 2016.



Figura 32: Mapa da rota IEN-C6 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Esho Empresa de Serviços Hospitalares S.A. (Botafogo)

Disponível em: <<https://goo.gl/Nhom2i>>. Acesso em: 16 jun 2016.

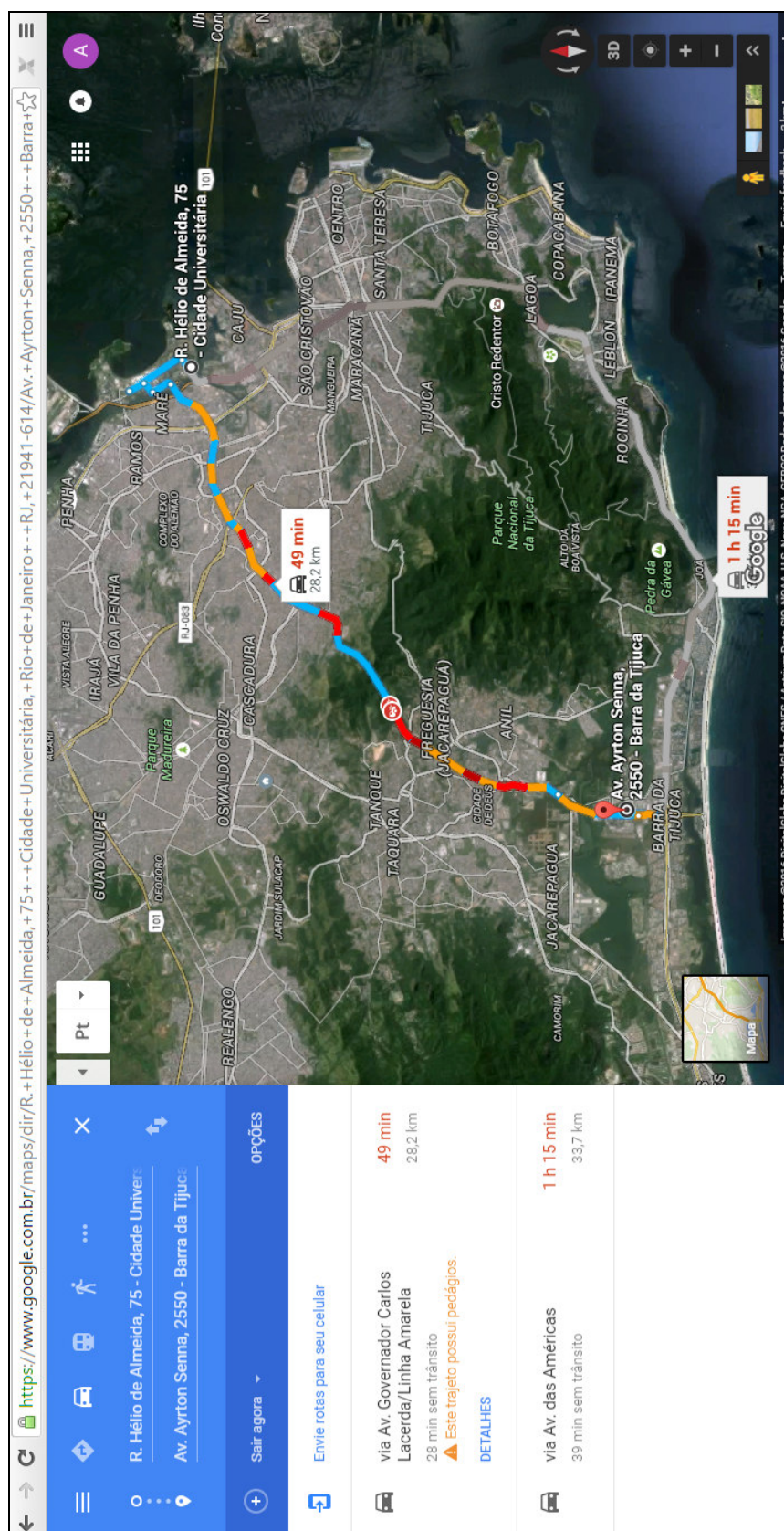


Figura 33: Mapa da rota IEN-C7 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Unimed Rio Empreendimentos Médicos e Hospitalares (Barra da Tijuca)

Disponível em: <<https://goo.gl/hmCOLF>>. Acesso em: 16 jun 2016.

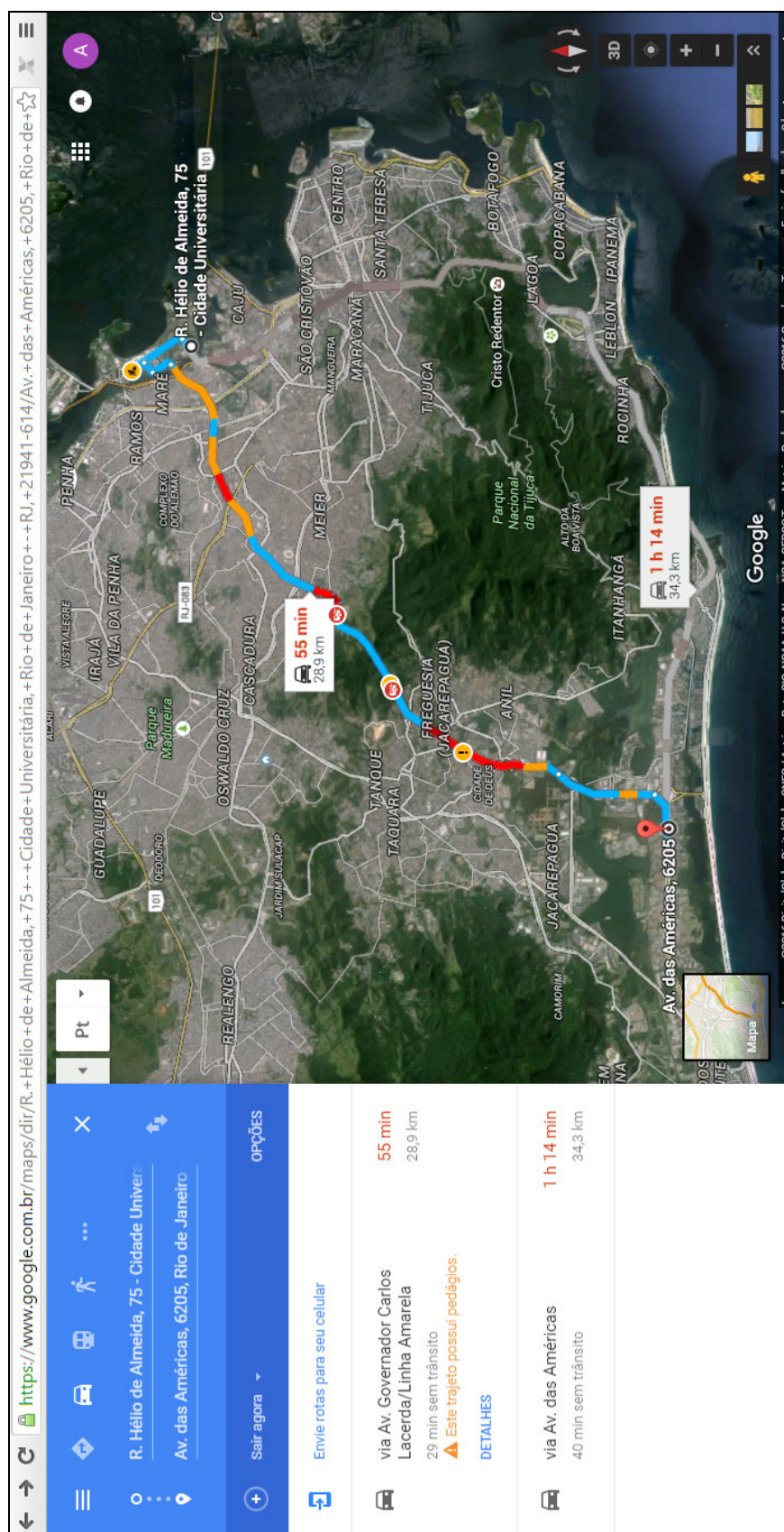


Figura 34: Mapa da rota IEN-C8 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Diagnósticos da América S.A. (Barra da Tijuca).

Disponível em: <<https://goo.gl/qphRRH>>. Acesso em: 16 jun 2016.

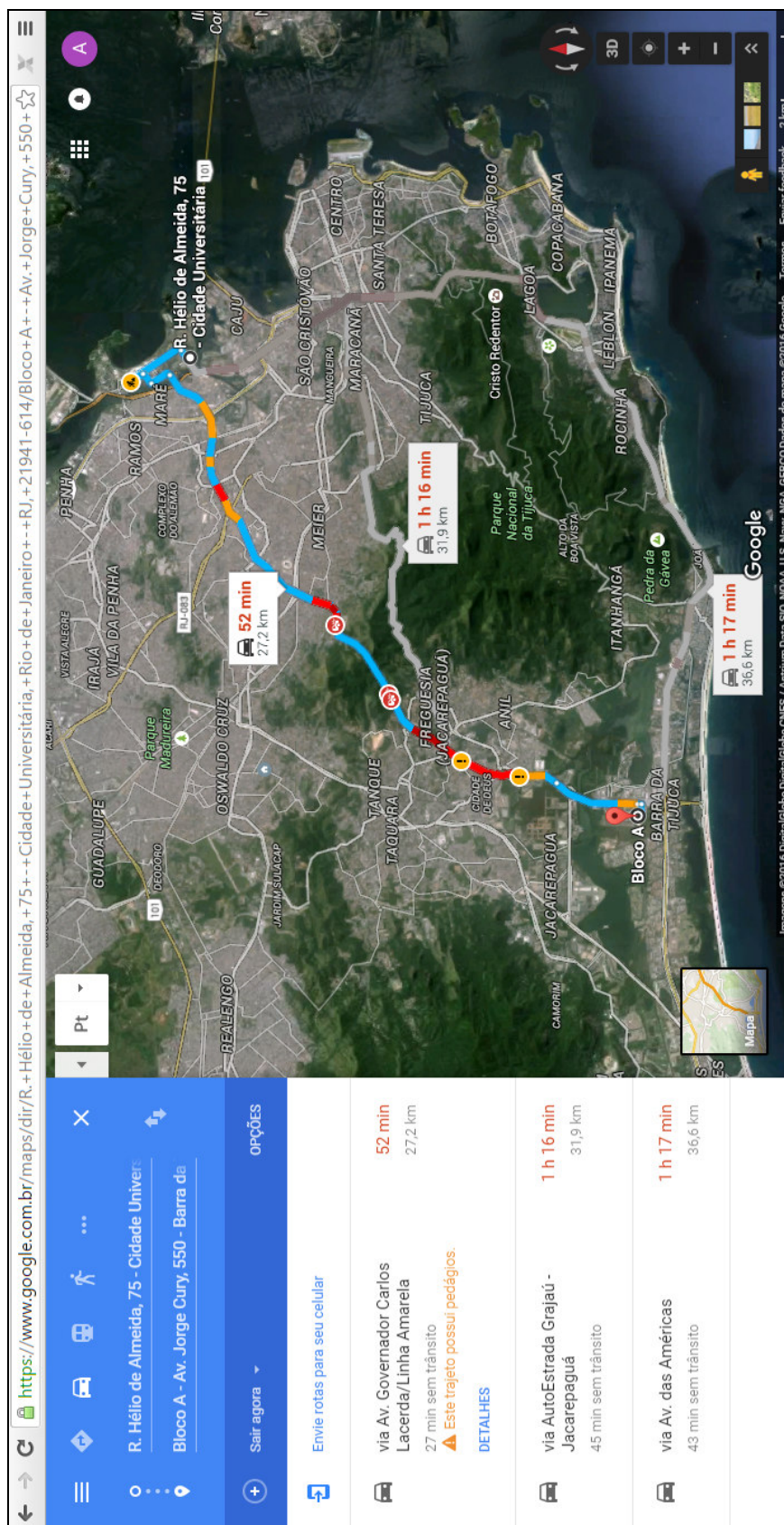


Figura 35: Mapa da rota IEN-C9 - DIRA-IEN (Ilha do Fundão) para Hospital Alvorada Taquatinga Ltda (Barra da Tijuca).

Disponível em: <<https://goo.gl/wvodbB>>. Acesso em: 16 jun 2016.