



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



DEIVERSON ALEXANDRE ALVES MARCELO

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DOS ÍNDICES ÁREA DE SUPERFÍCIE
IMPERMEÁVEL E ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁREA URBANA DE
MARIANA – MG**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Ouro Preto, 2019

DEIVERSON ALEXANDRE ALVES MARCELO

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DOS ÍNDICES ÁREA DE SUPERFÍCIE
IMPERMEÁVEL E ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁREA URBANA DE
MARIANA – MG**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Lívia Cristina Pinto Dias

Ouro Preto, 2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M314a Marcelo, Deiverson Alexandre Alves .
Avaliação temporal dos índices área de superfície impermeável e escoamento superficial da área urbana de Mariana - MG. [manuscrito] / Deiverson Alexandre Alves Marcelo. - 2019.
86 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Livia Cristina Pinto Dias .
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Mapeamento do solo. 2. Precipitação (Meteorologia) - Precipitação Efetiva Total . 3. Solos - Permeabilidade. 4. Crescimento urbano. I. Dias , Livia Cristina Pinto. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 502/504

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas – Colegiado do Curso de
Engenharia Ambiental – CEAMB

Folha de Aprovação

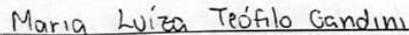
DEIVERSON ALEXANDRE ALVES MARCELO

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DOS ÍNDICES ÁREA DE SUPERFÍCIE IMPERMEÁVEL
E ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA ÁREA URBANA DE MARIANA – MG**

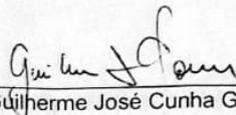
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 05/12/2019 pela
comissão avaliadora constituída pelos professores:



Livia Cristina Pinto Dias – DEAMB/UFOP



Maria Luiza Teófilo Gandini – DECIV/UFOP



Guilherme José Cunha Gomes – DEAMB/UFOP

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Vilda Maria Alves Marcelo e Florentino Geraldo Marcelo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me sustentou, fortificou e guardou desde o começo até o fim desta caminhada.

Aos meus pais, por todo o amor, apoio, dedicação, suporte e empenho para garantir que este sonho pudesse se tornar realidade.

À professora Dr. Lívia Cristina Dias Pinto, por todas as orientações e auxílios que tornaram possíveis a realização deste trabalho.

A todos os amigos que estiveram junto de mim durante esta etapa, nos momentos alegres, nos sofrimentos, pelas diversas horas que passamos estudando e dedicando todos os nossos esforços.

À Fundação Gorceix por todo auxílio e oportunidades de aperfeiçoamento profissional a mim concedidos.

À Universidade Federal de Ouro Preto pela oportunidade de formação e ensino de qualidade.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo a identificação e quantificação das alterações ambientais produzidas pela expansão da área urbana na permeabilidade do solo e no escoamento superficial do município de Mariana – MG por meio da comparação temporal de imagens de sensoriamento remoto e aplicação de técnicas de geoprocessamento. Foram selecionadas duas imagens de satélite com um intervalo temporal de aproximadamente 30 anos, as quais, passaram por um processo de tratamento de dados que envolveu a correção dos parâmetros de radiância e reflectância a fim de que eventuais interferências atmosféricas fossem desconsideradas na produção dos dados. Posteriormente, foi calculado o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), a área de superfície impermeável (ISA) e a precipitação efetiva total (PEFT) para as duas épocas de estudo, gerando assim mapas de caracterização da área urbana. Conforme os resultados obtidos, foi possível comprovar o impacto ambiental negativo, decorrente do processo de expansão urbana. Com base no índice NDVI, foi possível verificar a redução da cobertura vegetal na área de estudo, sobretudo nas regiões central e sul. Foi possível verificar também, a redução expressiva da permeabilidade do solo, já que a ISA quantificou que, ao longo 30 anos 255,901 hectares de área urbana tornaram-se totalmente impermeáveis. Além disso, foi possível verificar as alterações produzidas pela expansão urbana na precipitação efetiva total, já que as áreas onde ocorrem escoamento superficial total da precipitação aumentaram de 191,504 para 400,230 hectares entre os anos de 1989 e 2019, assinalando assim a perda total da capacidade de infiltração em 208,726 hectares.

Palavras-chave: alterações ambientais, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), área de superfície impermeável (ISA), permeabilidade do solo, precipitação efetiva total (PEFT) e geoprocessamento.

ABSTRACT

This work aimed to identify and quantify the environmental changes produced by the urban expansion in the reduction of vegetal coverage and the permeability of the soil on the urban areas of Mariana - MG city through the temporal comparison of remote sensing images and geoprocessing technics. The two satellite images were chosen to represent a 30 years temporal interval. After the selection, the images were treatment to remove possible atmosphere interferences on the final products, which involves the radiance and reflectance parameters correction. Posteriorly, were calculated the normalized difference vegetation index (NDVI), the impervious surface area (ISA) and the precipitation excess (PEFT) for the years studied, creating different urban characterization maps. According to the results, it was possible to demonstrate the negative environmental impact, associated with the urban expansion. Through the NDVI index, it was possible to show the reduction of the vegetal cover on the study area, especially at central south zones. And the ISA index identified the expressive increasing of soil permeability reduction, being possible quantify the total of 255,901 hectares of impermeabilized area, over the 30 years. Besides that, it was possible to verify the urban changes on surface runoff, once the areas where all the incident precipitation excess were completely transformed in surface runoff passed to 191,504 to 400,230 hectares between 1989 and 2019, characterizing an increasing of 208,726 hectares that completely lose it's capacitive of infiltration.

Keywords: environmental changes, normalized vegetation index (NDVI), impervious surface index (ISA), soil permeability, precipitation excess (PEFT) and geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Populações urbana e rural do Brasil nos censos demográficos de 1960 a 2010.	21
Figura 2: Alteração no volume das componentes do ciclo hidrológico devido a urbanização.	23
Figura 3: Aumento do limite da área de inundação e consequente enchente após o processo de urbanização as margens de um rio.....	24
Figura 4: Alterações hidrológicas relacionadas à perda de área de superfície permeável, aumento do escoamento superficial e a construção de redes e condutos durante o processo de urbanização.	25
Figura 5: Propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda.	27
Figura 6: Espectro eletromagnético.	28
Figura 7: Curvas características de reflectância espectral de objetos presentes na superfície terrestre.	29
Figura 8: Classificação dos sistemas sensores quanto à categoria, tipo de produto e de radiação.	30
Figura 9: Diferentes produtos gerados a partir da coleta de dados por sensores: a) imagem, b): gráfico e c) tabela.	31
Figura 10: Curva de reflectância característica das plantas.....	35
Figura 11: Localização do município de Mariana - MG em relação ao Brasil e Minas Gerais.	40
Figura 12: Principais etapas desenvolvidas no trabalho.	43
Figura 13: NDVI da área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).	48
Figura 14: Representação do perfil de extração dos dados (transecto A-B) e espacialização do Índice de vegetação, NDVI, da área urbana da cidade de Mariana para os anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).	50
Figura 15: ISA para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).	51
Figura 16: Índice ISA após reclassificação de valores para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).	53

Figura 17: Representação gráfica comparativa entre as classes de impermeabilidade para os anos de 1989 e 2019.	55
Figura 18: Arquivos rasters ISA para o ano de 1989 (figura a), 2019 (figura c) e arquivo vetorial (figura d) da área de estudo e a sobreposição dos arquivos vetorial e raster para os anos de 1989 (figura d) e 2019 (figura e).	56
Figura 19: Representação do perfil de extração de valores (transecto A-B) e espacialização do ISA para a área urbana do município de Mariana nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).	58
Figura 20: Precipitação efetiva total para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).	60
Figura 21: Precipitação efetiva total após reclassificação de valores para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).	62
Figura 22: Representação gráfica comparativa entre a precipitação efetiva total para os anos de 1989 e 2019.	64
Figura 23: Perfil de extração de valores e espacialização da precipitação efetiva total para a área urbana do município de Mariana.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das imagens selecionadas.....	42
Tabela 2: Parâmetros utilizados no processo de reclassificação do ISA.....	52
Tabela 3: Quantificação das classes de permeabilidade para o ano de 1989	54
Tabela 4: Quantificação das classes de permeabilidade para o ano de 2019	54
Tabela 5: Parâmetros utilizados no processo de reclassificação da precipitação efetiva total (PEFT).....	61
Tabela 6: Quantificação das classes de precipitação efetiva total (PEFT) para o ano de 1989	63
Tabela 7: Quantificação das classes de precipitação efetiva total (PEFT) para o ano de 2019	63

LISTA DE SIGLAS

CN – Curve number

ISA – Área de superfície impermeável

MG – Minas Gerais

NDVI – Índice de vegetação por diferença normalizada

PDM – Plano diretor municipal

PEFT - Precipitação efetiva total

PMSB – Plano municipal de saneamento básico de Mariana

REM – Radiação eletromagnética

SR – Sensoriamento remoto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1. Planejamento urbano.....	18
3.1.1. Estatuto da cidade e Plano diretor	19
3.2. Urbanização	20
3.2.1. Impactos ambientais negativos decorrentes do processo de urbanização	22
3.2.2. Urbanização e drenagem	23
3.3. Sensoriamento remoto	25
3.3.1. Conceito.....	25
3.3.2. Radiação eletromagnética.....	26
3.3.3. Interações da REM com objetos.....	28
3.3.4. Sensores remotos	30
3.3.5. Sensoriamento remoto e o planejamento de áreas urbanas	32
3.4. Índices utilizados no sensoriamento remoto.....	33
3.4.1. Comportamento espectral da vegetação	34
3.4.2. Índices de vegetação	37
3.4.2.1. <i>Ratio vegetation index</i> (RVI).....	37
3.4.2.2. <i>Normalized difference vegetation index</i> (NDVI).....	38
3.4.2.3. <i>Soil adjusted vegetation index</i> (SAVI)	38
3.4.2.4. <i>Enhanced vegetation index</i> (EVI).....	39
4. METODOLOGIA.....	40

4.1. Área de estudo	40
4.2. Obtenção dos dados	42
4.3. Etapas de trabalho	43
4.4. Cálculo da área superfície impermeável (ISA).....	44
4.5. Precipitação efetiva total (PEFT).....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1. Índice NDVI	48
5.2. Índice ISA	51
5.3. Precipitação efetiva total (PEFT).....	59
6. CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	68
ANEXO I - Características dos sensores a bordo dos satélites da série LANDSAT	78
ANEXO II - Formulações utilizadas no processo de correção atmosférica, produção do índice NDVI, da ISA e precipitação efetiva total.....	80
ANEXO III - Tabelas de valores para determinação do <i>curve number</i> (CN) pelo método tradicional	84

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento dos primeiros centros urbanos, o homem tem transformado o meio ambiente em que vive, utilizando-se dele e de seus recursos para o desenvolvimento de suas atividades. “A relação intrínseca que existe entre os assentamentos urbanos e o seu suporte físico sempre provocou impactos, negativos ou positivos. As mudanças nos padrões produtivos e nas dinâmicas populacionais alteram a natureza desses impactos e, conseqüentemente, as condições socioambientais das aglomerações urbanas.” (SILVA e TRAVASSOS 2008, p. 28)

Atualmente, fica cada vez mais evidente a relação existente entre as modificações irrestritas do ambiente natural e o surgimento de problemas ambientais. Boa parte destes problemas ambientais urbanos, decorrem da falta de atendimento dos critérios estabelecidos para utilização adequada do meio físico ou até mesmo em razão da ausência do estabelecimento dos mesmos no planejamento de uso e ocupação do meio urbano. Dentre os principais problemas decorrentes do uso inadequado dos recursos ambientais em meios urbanos pode-se citar a contaminação da água e ar, a impermeabilização dos solos, a redução do volume de água nos lençóis freáticos, o aumento excessivo do escoamento superficial, o assoreamento dos cursos d’água, a erosão, o aumento da temperatura nas regiões urbanas e até mesmo na redução de espécies da fauna e flora.

Porém, em contrapartida ao que se espera, mesmo após a constatação da relação entre os impactos ambientais produzidos ou acelerados em decorrência dos processos de expansão urbana desordenada, o que se observa, é que apesar da inclusão das questões ambientais urbanas nas políticas públicas urbanas, tanto no Brasil, como nos países em desenvolvimento os esforços destinados a solução de tais conflitos não produziram efeitos concretos nas cidades. Silva e Travassos (2008, p. 28) explicam que dentre as principais causas da distante relação entre o conhecimento dos impactos produzidos pela expansão urbana desenfreada e a tomada de decisões e ações voltadas para o enfrentamento destes problemas existe uma série de fatores:

“Há uma distância considerável entre o discurso contido nas agendas e documentos e a realidade socioambiental, que resulta, dentre outros, da incapacidade de conceber políticas públicas que levem em conta não somente o efeito de degradação ambiental, social e urbana, mas também suas causas, as formas de produção do espaço urbano. Esse distanciamento também decorre do imenso passivo socioambiental existente nessas cidades, onde os problemas de degradação socioambiental estão muito além da capacidade de seu equacionamento.” (SILVA e TRAVASSOS, 2008).

Assim, com a produção de tecnologias de quantificação de dados cada vez mais avançadas, técnicas como o Sensoriamento Remoto (SR), definido classicamente como sendo um conjunto de técnicas destinadas à obtenção de informação sobre objetos sem que haja contato físico com eles (NOVO e PONZONI, 2001, p. 6), têm auxiliado o desenvolvimento de políticas e a tomada de decisão, propiciando assim, aos agentes públicos ou privados, parâmetros para que desenvolvam estratégias eficazes de planejamento e gerenciamento ambiental em áreas urbanas.

Mascarenhas, Ferreira e Ferreira (2009, p. 12), descrevendo as facilidades produzidas com o desenvolvimento das técnicas de monitoramento terrestre para o segmento ambiental, relatam que:

“O avanço tecnológico das últimas décadas favoreceu o desenvolvimento de vários satélites de monitoramento terrestre-ambiental, os quais possibilitam, em escala global, regional ou local, a coleta de dados (quantitativos e qualitativos) sobre o grau de degradação ao meio ambiente, incluindo o acompanhamento de biomas ameaçados de extinção, alterações climáticas, níveis de poluição da água e da atmosfera, dentre outras medições possíveis.” (MASCARENHAS, FERREIRA e FERREIRA, 2009).

“As imagens obtidas por diversos sensores e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) servem como ferramentas para auxiliar esses processos, por meio de programação das ações integradas, adequadas para a tomada de decisão e capazes de articularem uma grande quantidade de informações georreferenciadas.” (ARONOFF, 1994; ESCADA e KURKDJIAN 1993, PAREDES, 1996, apud VASCONCELOS, 2010, p. 6).

Desse modo, a utilização de técnicas de SR constitui uma ferramenta de extrema importância para os agentes atuantes nos diversos segmentos de trabalho que visam a conservação dos recursos naturais, visto que, permite o acompanhamento e quantificação de dados ambientais com facilidade, de maneira remota e com relativa frequência. “O sensoriamento remoto, devido à rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre, constitui-se numa das formas mais eficazes de monitoramento ambiental em escalas locais e globais.” (JACINTO, 2003, p. 1).

Logo, o presente estudo destinou-se, por meio do uso exclusivo de técnicas de processamento digital de imagens de satélite obtidas por meio de sensoriamento remoto, realizar a caracterização e quantificação temporal das alterações na permeabilidade do solo e no escoamento superficial da área urbana do município de Mariana – MG. Até esse ponto do trabalho denominou-se escoamento superficial como sinônimo de precipitação efetiva

conforme também foi feito por Gutierrez et al.(2010). Como os dois termos não são sinônimos, foi feita a correção de nomenclatura do item denominado escoamento superficial por precipitação efetiva total desse ponto em diante do texto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Utilizar técnicas geoprocessamento de imagens de satélite digitais para avaliar as alterações produzidas pela expansão da área urbana do município de Mariana – MG na permeabilidade do solo e precipitação efetiva total.

2.2. Objetivos específicos

Dentro dos objetivos gerais, encontram-se os específicos que são:

- Determinar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para área de estudo;
- Determinar a área de superfície impermeável (ISA) para a área de estudo;
- Determinar a precipitação efetiva total (PEFT) para área de estudo;
- Comparar as estimativas obtidas para dois períodos distintos (1989 e 2019) no processo de urbanização da área de estudo;
- Verificar os impactos associados ao processo de urbanização pela variação temporal dos parâmetros analisados e
- Mostrar como técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento possuem um alto potencial para produção de dados por órgãos públicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Planejamento urbano

O Planejamento urbano pode ser entendido como um procedimento realizado no tempo presente, que busca o estabelecimento de um caminho a ser adotado, com vistas a se alcançar, num panorama futuro idealizado, um melhor bem estar aos residentes dos meios urbanos.

Kurkdjian (1993) pondera que o planejamento urbano, concebido como tal processo voltado para a consecução da realidade futura desejada, pressupõe a capacidade humana de conhecer e agir sobre a realidade alterando-a, pelo menos dentro de alguns limites, para alcançar os resultados desejados, evitando os efeitos colaterais indesejáveis.

De acordo com Accioly (2008), o conceito de urbanismo surge no século XIX, nos países centrais, em resposta à problemática esboçada no interior do conflito capital x trabalho, ao alimentar o conteúdo do discurso político desde o século XVIII, aprofundado com a industrialização.

Já no Brasil, as iniciativas voltadas para o planejamento urbano só tiveram partida anos mais tarde. Deák e Schiffer (1999, p. 12), ao discutir do assunto, explicam que:

“(...) Foi a partir do segundo quarto deste século que a escala alcançada pela urbanização começou a provocar iniciativas por parte do Estado e modificações na administração pública. Um dos resultados nesse sentido é o aparecimento de uma nova atividade governamental com a finalidade específica de tratar dessas novas entidades que estavam surgindo: as aglomerações urbanas. É o nascimento do planejamento e, particularmente, do planejamento urbano, cujos primórdios podem ser situados no Estado Novo.” (DEÁK E SCHIFFER, 1999).

Schmidt et al., (2018) esclarecem que o denominado “ato concreto” do ordenamento jurídico da questão urbana brasileira só ocorreu no ano de 1988, com a inclusão da função social da propriedade na Constituição Federal.

“Foi apenas na Assembleia Nacional Constituinte, em 1988, que houve um avanço concreto: a inclusão da função social da propriedade na Constituição Federal. O artigo 182 da Carta Magna foi o mecanismo formal para a transição de um conceito de propriedade privada tido como absoluto e incondicional para o direito público que privilegia os interesses coletivos – estabelecendo os Planos Diretores como instrumentos para cumpri-lo no âmbito municipal.” (SCHIMIDT et al., 2018).

Os autores esclarecem ainda que mesmo com a inclusão da chamada função social da propriedade, na Constituição Federal de 1988, se passaram anos para que outros avanços relacionados ao planejamento urbano tornassem a surgir. “Apenas em 2001, após mais de dez anos de tramitação, os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal foram regulamentados pelo Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001).” (SCHMIDT et al., 2018).

3.1.1. Estatuto da cidade e Plano diretor

A Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, “Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, e estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências” (BRASIL, 1988). Além de regular “O uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos” (BRASIL,1988), também busca o desenvolvimento do denominado “equilíbrio ambiental”, como pode ser verificado pelas diretrizes que possuem determinações voltadas a proteção ambiental, presentes no Art. 2º, das quais, pode-se citar:

- i. a garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;
- ii. o planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente e
- iii. a ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:
 - a. a poluição e a degradação ambiental;
 - b. a exposição da população a riscos de desastres;
 - c. o estímulo à utilização, nos parcelamentos do solo e nas edificações urbanas, de sistemas operacionais, padrões construtivos e aportes tecnológicos que objetivem a redução de impactos ambientais e a economia de recursos naturais.

Assim, para que o equilíbrio ambiental seja alcançado, foram criados três instrumentos de planejamento criados em forma de planos, subdivididos nas escalas:

- i. planos nacionais, regionais e estaduais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social;
- ii. planejamento das regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões e
- iii. planejamento municipal.

Dentro desta perspectiva o Plano Diretor Municipal (PDM), possui grande importância para o planejamento urbano a nível municipal. Para Rezende e Ultramarini (2007, p. 257),

“O plano diretor municipal e o planejamento estratégico municipal são instrumentos de planejamento e gestão de municípios e prefeituras, considerados, atualmente, de importância inquestionável. A realização de tais instrumentos deve mesmo ser compatibilizada com regulamentos de ordem superior, tais como a própria Constituição Federal, a Lei de Responsabilidade Fiscal e o Estatuto da Cidade.” (RESENDE e ULTRAMARINI, 2007).

A lei nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade), além de estabelecer, no Art. 42, o conteúdo mínimo para o PDM, determina também que os PDMs dos municípios incluídos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos devam conter alguns itens posteriormente incluídos pela Lei nº 12.608 de 2012, relacionados nos Art. 42º-A e 42º-B. Alguns destes itens são:

- i. mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;
- ii. medidas de drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres e
- iii. identificação e diretrizes para a preservação e ocupação das áreas verdes municipais, quando for o caso, com vistas à redução da impermeabilização das cidades.

3.2. Urbanização

Para Silva (1997), a urbanização consiste em toda atividade deliberada de beneficiamento ou de rebeneficiamento do solo para fins urbanos, quer criando áreas urbanas

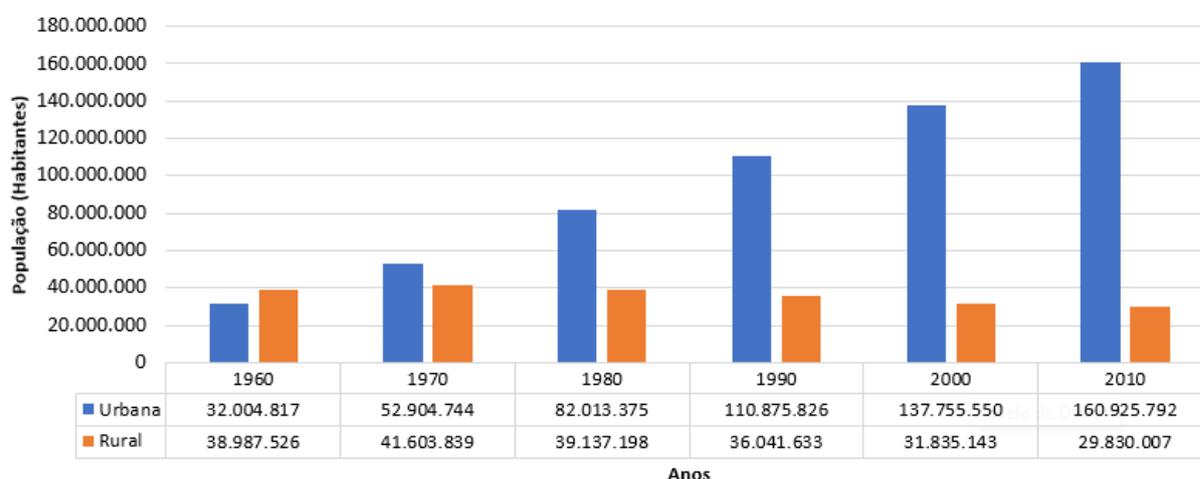
novas, pelo beneficiamento de solo ainda não urbanificado, quer modificando solo já urbanificado.

Ugeda Junior (2014, p. 101), ao tratar de aspectos históricos da urbanização e dos fatores que a fizeram sair de uma escala local, lembra que:

“A urbanização em sua acepção tradicional, e enquanto um fenômeno de escala local e localizado é bastante antiga. As primeiras cidades surgiram no Oriente Médio aproximadamente entre 3500 e 3000 a.C., porém até o final do século XVIII esse fenômeno permaneceu limitado a uma baixa porcentagem da população e a algumas regiões. Foi a partir da revolução industrial, da revolução agrícola e dos transportes que a sucederam que a urbanização ultrapassa a escala local e deixa de ser localizada, passa a realizar-se em um ritmo acelerado, tendendo a generalização”. (UGEDA JUNIOR, 2014).

Segundo Kauffmann (2003), o processo de ocupação urbana no Brasil evoluiu lentamente até o século XVIII e XIX, só se desenvolvendo de forma acelerada principalmente a partir da década de 1930. A migração das populações de áreas rurais para centros urbanos, teve efeito contínuo no Brasil a partir da década de 70 e tem aumentado constantemente por cerca de cinquenta anos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2015), “Entre as décadas de 1970 e 1980 o Brasil sofreu um intenso processo de êxodo rural. A mecanização da produção agrícola expulsou trabalhadores do campo que se deslocaram para as cidades em busca de oportunidades de trabalho”. A Figura 1, produzida a partir de dados censos do IBGE entre os anos 1960 e 2010, evidencia tal fato e mostra o aumento contínuo da diferença entre as populações urbana e rural brasileira a partir de 1970.

Figura 1: Populações urbana e rural do Brasil nos censos demográficos de 1960 a 2010.



Fonte: O autor, a partir de dados do IBGE (2019).

Tal tendência de crescimento urbano continua até os dias de hoje. Dados fornecidos pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) mostram que 84,72% da população brasileira já vivia em áreas urbanas em 2015. Este crescimento acelerado, produz uma série de efeitos adversos, pois em grande parte dos casos, a administração pública não consegue aplicar as ferramentas estabelecidas pelas diretrizes gerais das políticas urbanas, com a mesma rapidez em que ocorrem as expansões, modificações e alterações econômicas, sociais e ambientais nos centros urbanos.

“O planejamento urbano, embora envolva fundamentos interdisciplinares, na prática é realizado dentro de um âmbito mais restrito do conhecimento. O planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil, não tem considerado aspectos fundamentais, que trazem grandes transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente.” (TUCCI, 1997, p.3).

3.2.1. Impactos ambientais negativos decorrentes do processo de urbanização

“A urbanização gera enormes problemas, deteriora o ambiente urbano, provoca a desorganização social, com carência de habitação, desemprego, problemas de higiene e de saneamento básico. Modifica a utilização do solo e transforma a paisagem urbana.” (SILVA, 1997, p.21).

Jatobá (2011, p. 1141), ao discorrer sobre a relação entre a urbanização e a degradação socioambiental, escreve que:

“Urbanização e meio ambiente têm uma relação direta. A urbanização, por implicar a concentração de pessoas e atividades produtivas sobre um espaço restrito, gera, necessariamente, impactos degradadores do meio ambiente com efeitos sinérgicos e persistentes. Embora outras atividades, como a agricultura, a pecuária, a mineração e a geração de energia, provoquem igualmente grandes impactos negativos sobre o meio ambiente, a urbanização, por gerar de forma concentrada seus impactos ambientais e difundi-los além dos limites urbanos merece uma análise especial”. (JATOBÁ, 2011).

Santos et al., (2015) elencam os impactos ambientais negativos gerados pela ocupação do solo urbano sem o devido planejamento, da seguinte forma:

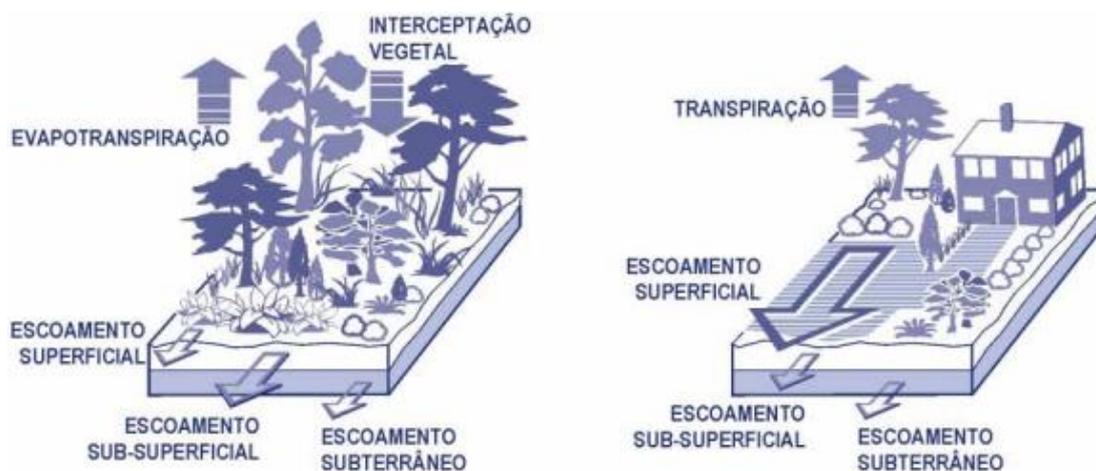
- i. impactos produzidos pela sobrecarga no sistema de drenagem urbana por meio do aumento da impermeabilização do solo e da diminuição da infiltração;

- ii. impactos produzidos pela perda da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, diminuindo a infiltração da água no solo e aumentando a sua quantidade e a sua velocidade de escoamento;
- iii. impactos relacionados a escassez e a diminuição da qualidade dos recursos hídricos e
- iv. impactos relacionados ao acúmulo de resíduos sólidos nos elementos do sistema de drenagem (canais, bueiros, bocas de lobo, etc.), obstruindo-os e, com isso, ocasionando seus transbordamentos em períodos de chuva.

3.2.2. Urbanização e drenagem

Conforme Fontes e Barbosa (2003), o processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração, o que tem como consequência direta a ocorrência de inundações urbanas (Figura 2).

Figura 2: Alteração no volume das componentes do ciclo hidrológico devido a urbanização.



Fonte: SCHUELER (1987).

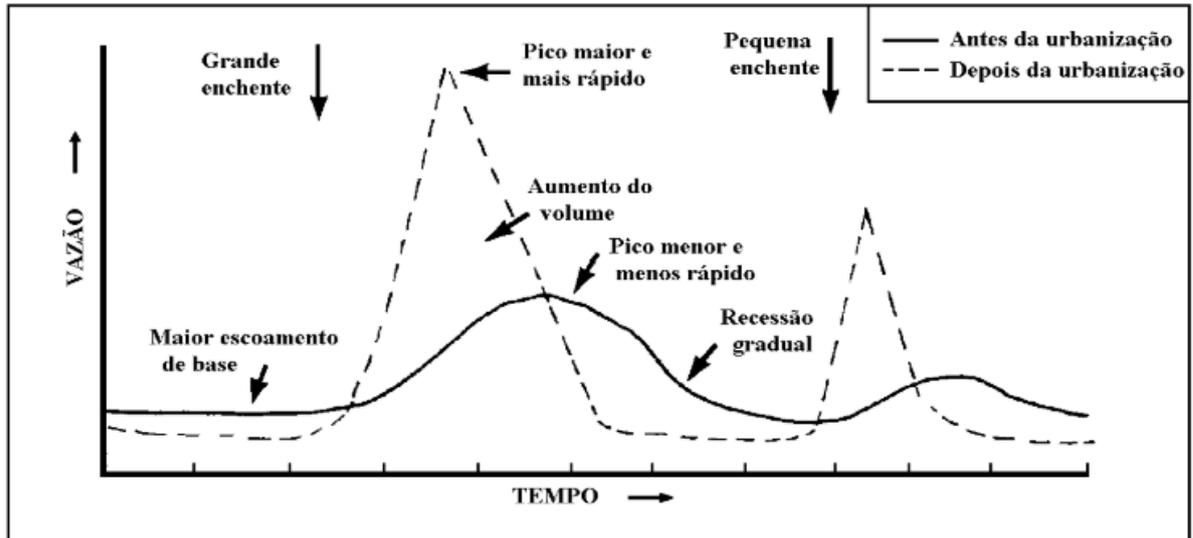
Tucci (1997) caracteriza as enchentes urbanas em decorrência de dois processos que, segundo o autor, podem ocorrer isoladamente ou de forma integrada. São eles: as enchentes em áreas ribeirinhas e as enchentes de áreas urbanizadas. As enchentes de áreas ribeirinhas são caracterizadas pela ocupação populacional nas margens dos rios devido à falta de controle e planejamento de uso e ordenação do solo, e ocorrem quando, de forma natural, há o aumento da vazão no leito dos rios – geralmente ocasionada por chuvas mais intensas que ocorrem de tempos em tempos associadas as alterações produzidas pela ocupação do solo (Figura 3a). E as enchentes ocasionadas pela perda de áreas de superfícies permeáveis, pela ocupação do solo, e também pela construção de redes de condutos e escoamento (Figura 3b).

Figura 3: Aumento do limite da área de inundação e conseqüente enchente após o processo de urbanização as margens de um rio.



Fonte: SCHUELER (1987).

Figura 4: Alterações hidrológicas relacionadas à perda de área de superfície permeável, aumento do escoamento superficial e a construção de redes e condutos durante o processo de urbanização.



Fonte: TUCCI (1997)

Assim, “a condição de escoamento de uma bacia hidrográfica sofre grande alteração, quando se transforma um solo, outrora permeável numa superfície impermeabilizada, ou mesmo que haja alteração da declividade de terrenos e fundo de corpos d’água, por meio da construção de edificações, pela execução de pavimento ou pela realização de outras obras. O que se observa, nesta nova situação, é que precipitações, mesmo de pequenas ou médias intensidades, têm provocado problemas de inundações, principalmente nas grandes cidades”. (MOTTA, 2006).

3.3. Sensoriamento remoto

3.3.1. Conceito

Segundo Novo & Ponzoni (2001, p. 4), o Sensoriamento Remoto (SR) apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960. Os autores definem o SR como sendo:

“Utilização conjunta de sensores, equipamentos para transmissão e processamento de dados, sendo estes equipamentos colocados em aeronaves, espaçonaves, ou outras

plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõe em suas mais diversas manifestações”. (NOVO E PONZONI, 2001).

Lillesand e Kiefer (1994) definem o SR como sendo: a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno por meio da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação.

Já Meneses et al., (2012), buscando uma exposição mais científica, definem o SR como

“Uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”. Para os autores, tal definição expressa de forma clara que o registro obtido pelo sensor é realizado com base em medições de Radiação Eletromagnética (REM) que é refletida da superfície de qualquer objeto”. (MENESES et al., 2012).

Ao discorrer sobre a forma de obtenção de imagens por SR, Meneses et al., (2012, p. 3), afirmam que:

“Nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto. A confusão mais comum é feita com os sensores geofísicos aerotransportados, tais como os magnetômetros, que geram uma imagem a partir medições de campos de força do campo magnético da superfície terrestre, portanto sem nenhuma relação com a energia eletromagnética”. (MENESES et al., 2012).

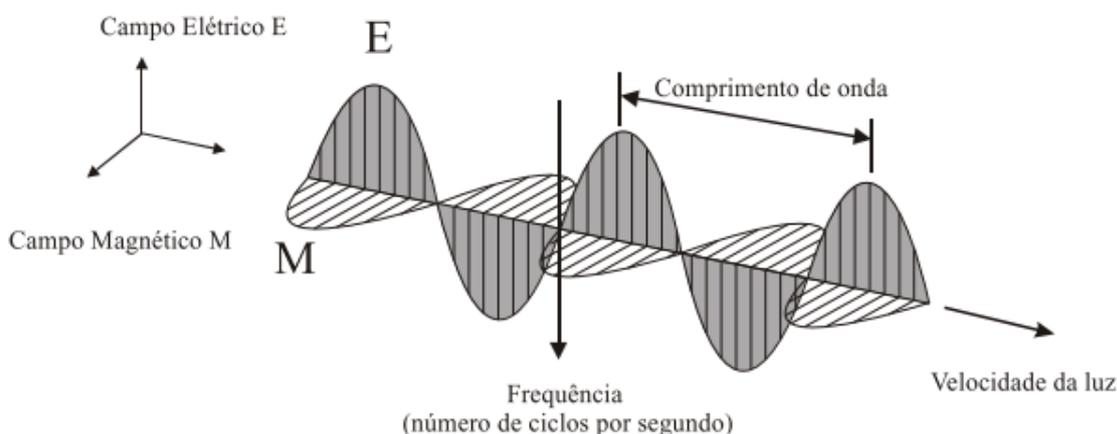
“O sensor remoto é um dispositivo capaz de responder a REM de determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para a interpretação do usuário.” (STEFFEN et al., 1981). Deste modo, para que se possa entender com maior clareza como ocorre o processo de obtenção de imagens pelo SR, deve-se primeiro entender o que é a REM.

3.3.2. Radiação eletromagnética

“As Radiações Eletromagnéticas são ondas provenientes de campos elétricos e magnéticos variantes no tempo, que não estão confinadas ou guiadas e se propagam no espaço”. (RIBEIRO e PESSOA, 2007, p. 20) (Figura 5). Segundo Meneses et al., (2012, p. 4):

“A REM pode ser explicada como uma forma de onda senoidal e harmônica. De acordo com as formulações de Maxwell, uma partícula carregada eletricamente gera um campo elétrico em torno de si e o movimento dessa partícula gera, por sua vez, um campo magnético. Ambos os campos, elétrico e magnético, atuam vibrando ortogonalmente entre si e possuem as mesmas amplitudes, isso é, alcançam os seus máximos ao mesmo tempo. As variações do campo são causadas pelas vibrações da partícula. Quando essa partícula é acelerada, as perturbações entre os dois campos se propagam repetitivamente no vácuo em uma direção ortogonal à direção dos campos elétricos e magnéticos”. (MENESES et al., 2012).

Figura 5: Propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda.



Fonte: MENESES (2002).

“A energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz ($c = 300.000 \text{ km/s}$, onde “c” é a velocidade da luz).” (MORAES, 2002, p. 7).

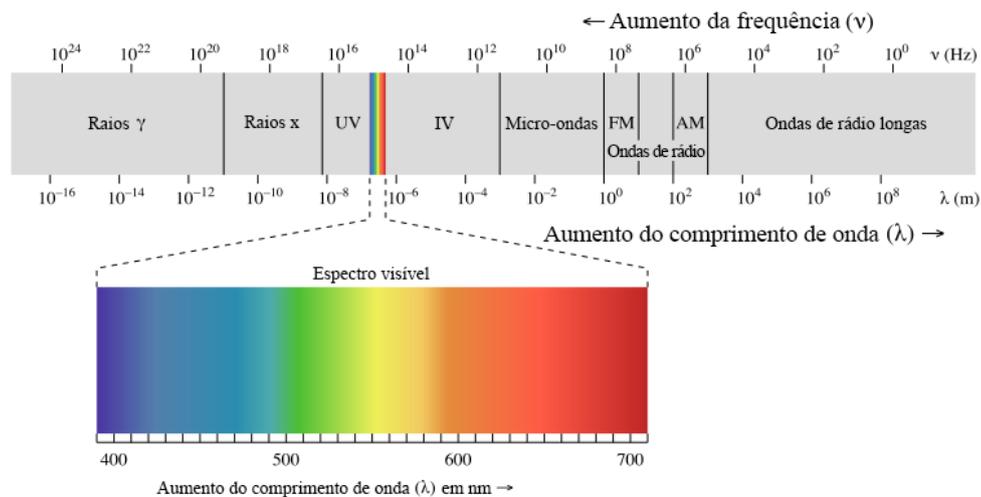
A REM possui propriedades do movimento ondulatório, como difração e interferência. A velocidade de propagação da onda (c), o seu comprimento de onda (λ) e a sua frequência (f), são importantes variáveis que permitem a determinação da energia da REM, tais parâmetros possuem relação direta, uma vez que, a velocidade é diretamente proporcional aos outros dois e esta relação pode ser expressa pela Equação 1:

$$c = \lambda * f \text{ (Eq. 1)}$$

onde, c é a velocidade de propagação da onda (m/s), λ é o comprimento de onda (m), e f é a frequência (ciclos/s ou Hz).

“A energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético [...]. O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda”. (MORAES, 2002, p. 9) (Figura 6).

Figura 6: Espectro eletromagnético.



Fonte: KHAN ACADEMY(2019).

3.3.3. Interações da REM com objetos

“O processo de interação da REM e do alvo está intrinsicamente ligado à radiação incidente, absorvida, refletida e transmitida, sofrendo alterações de acordo com o material que a compõe”. (MORAES, 2002, p. 15).

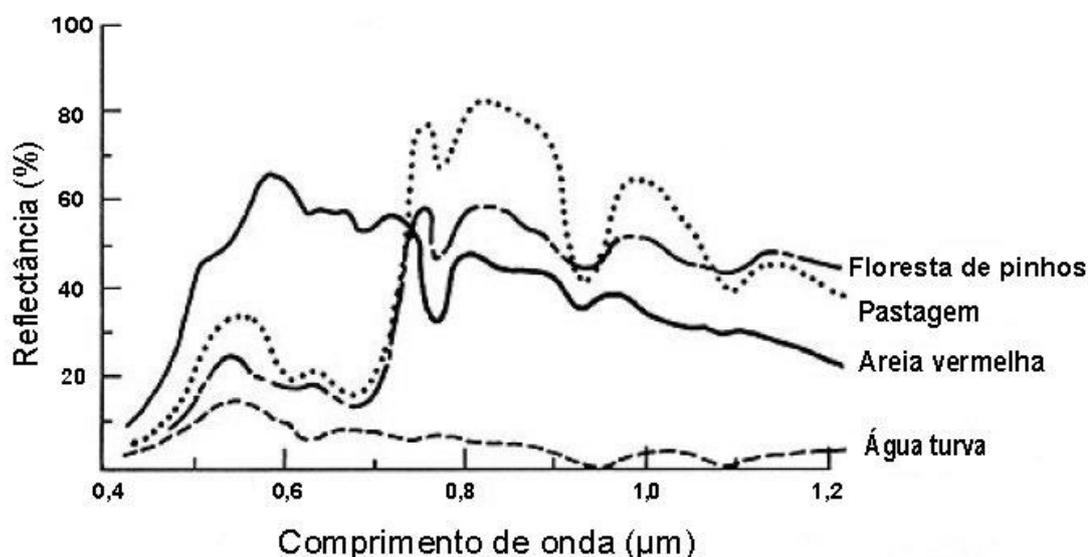
De acordo com Steffen (2001), o fator que mede a capacidade de um objeto de refletir a energia radiante indica a sua refletância, enquanto que a capacidade de absorver energia radiante é indicada pela sua absorbância e, da mesma forma, a capacidade de transmitir energia radiante é indicada pela sua transmitância. De maneira que a refletância, absorbância e a transmitância costumam ser expressas em porcentagem (ou por um número entre 0 e 1).

“O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto”. (MORAES et al., 2008).

“Podemos medir a reflectância de um objeto para cada tipo de radiação que compõe o espectro eletromagnético e então perceber, através dessa experiência, que a reflectância de um mesmo objeto pode ser diferente para cada tipo de radiação que o atinge.” (STEFFEN, 2001). “Desta forma, a assinatura espectral do objeto define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracteriza o objeto.” (MORAES et al., 2008).

“Vale ressaltar que para um mesmo objeto, as proporções de absorção, reflexão e transmissão são diferentes em relação ao comprimento da onda, assim, um objeto pode ser diferenciado em relação a outro em diferentes comprimentos de onda.” (ANTUNES, 2011,13. p). A Figura 7 ilustra as diferentes assinaturas espectrais da água turva, areia vermelha, pastagem e floresta de pinhos a partir da medição da reflectância da REM.

Figura 7: Curvas características de reflectância espectral de objetos presentes na superfície terrestre.



Fonte: Adaptado de NASA, (2003)¹.

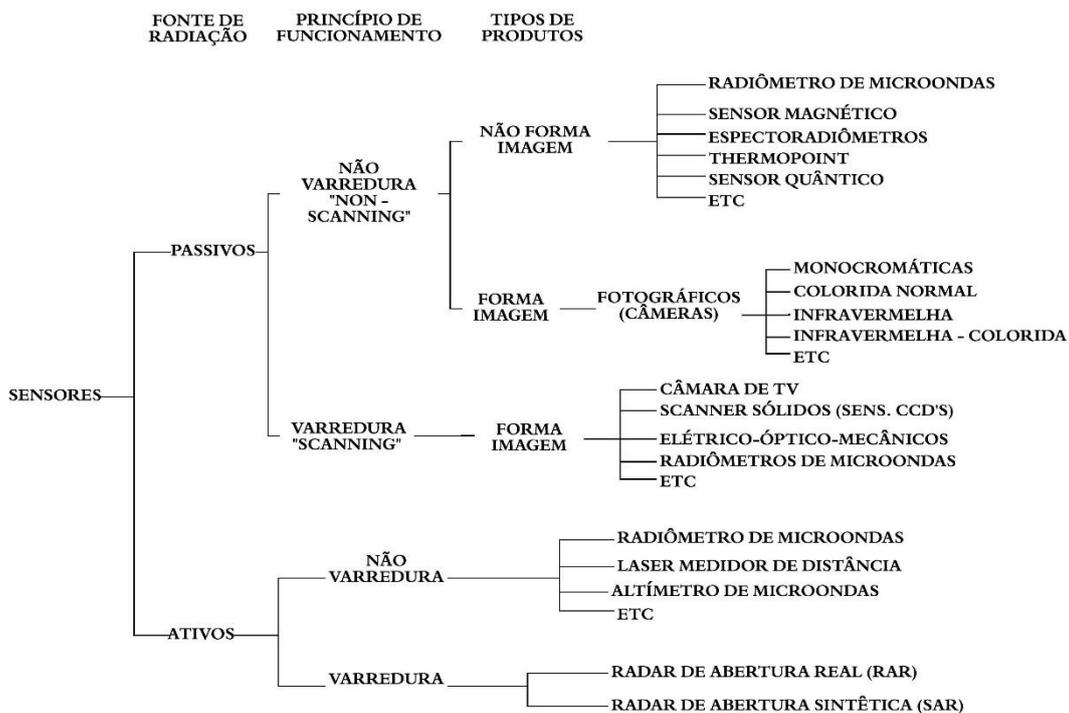
¹ Disponível em: < https://www.researchgate.net/figure/Spectral-Reflectance-Curves-of-Four-Different-Targets-from-NASA-2013_fig1_277075873 > Acesso em: 15 de dez. 2019.

3.3.4. Sensores remotos

“Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a energia eletromagnética (em determinadas faixas do espectro eletromagnético) proveniente de um objeto, transformá-las em um sinal elétrico e registrá-las, de tal forma que este possa ser armazenado ou transmitido em tempo real para posteriormente ser convertido em informações que descrevem as feições dos objetos que compõem a superfície terrestre.” (MORAES, 2002, p. 18).

“Os sistemas sensores podem ser classificados quanto: à fonte de radiação, ao princípio de funcionamento e ao tipo de produto.” (MOREIRA, 2001, p. 104) (Figura 8).

Figura 8: Classificação dos sistemas sensores quanto à categoria, tipo de produto e de radiação.



Fonte: Adaptado MOREIRA (2001).

Segundo Moreira (2001), os resultados das medições realizados pelos sistemas sensores, são passíveis de interpretação em três formas, são elas: as imagens, a forma gráfica ou na forma de tabelas (Figura 9).

Figura 9: Diferentes produtos gerados a partir da coleta de dados por sensores: a) imagem, b): gráfico e c) tabela.

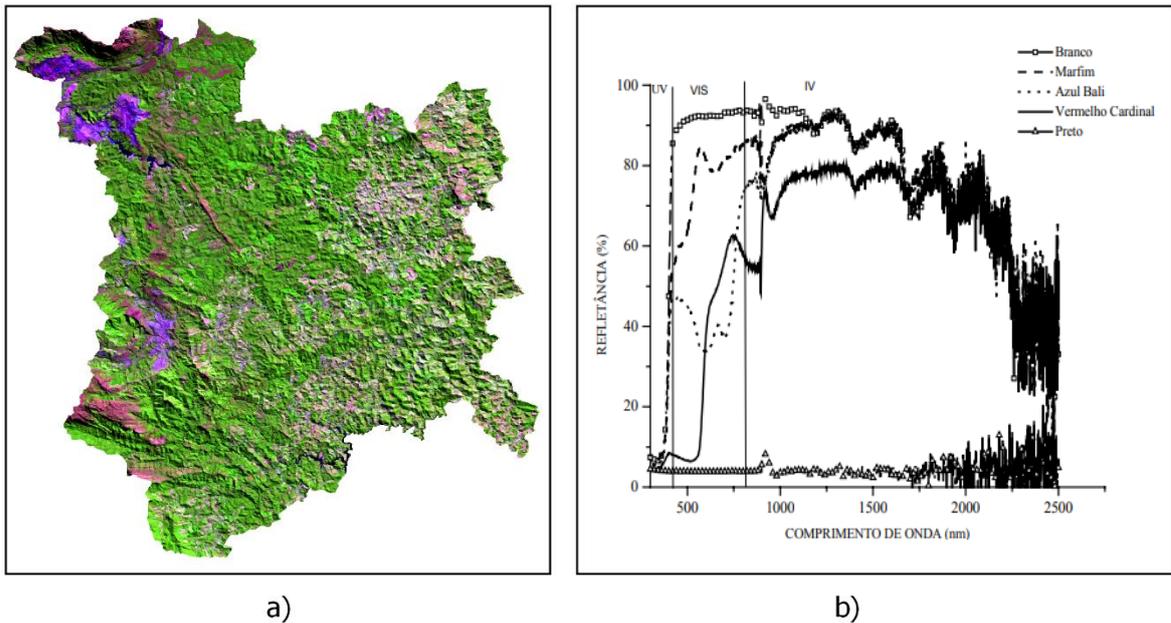


TABELA	
N	Nível de cinza
1	47
2	50
3	52
4	45

c)

Fontes: Figura a) Própria, (2019); figura b) CASTRO et al., (2003) e figura c): Moreira (2001).

“As plataformas de sensoriamento remoto definem o nível de aquisição dos dados. Esses níveis podem ser orbitais (representados pelas plataformas espaciais), aéreo (representados pelas aeronaves e helicópteros) e terrestre (representados por torres, e sistemas radiométricos de campo).” (NOVO et al., 2001, p.13).

Segundo Morais et al. (2002), o desenvolvimento de satélites artificiais teve início na década de 1950. Atualmente, satélites são os meios mais utilizados para produção de imagens

por plataformas de sensoriamento, diversos sistemas sensores foram desenvolvidos, cada um com uma determinada finalidade. As imagens utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho foram produzidas pelos sistemas sensores a bordo dos satélites da série *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT).

A série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 1960, sendo denominada inicialmente *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), sendo posteriormente renomeada para LANDSAT. Atualmente, dois satélites da série (LANDSAT 7 e LANDSAT 8) encontram-se em atividade de captura de dados. No ANEXO I estão descritas as principais características destes satélites.

“Assim, com o surgimento de novos sensores, proporcionando imagens com uma resolução espacial cada vez melhor, somada ao desenvolvimento de novas técnicas computacionais de extração de dados na forma digital, diversas informações da superfície terrestre foram coletadas, aumentando o interesse de vários ramos da pesquisa ambiental que, relacionadas com o planejamento ambiental, passaram a desenvolver ferramentas para o manejo e conservação dos recursos naturais”. (TONIAL et al., 2000, apud KURIYAMA, 2009, p. 15).

3.3.5. Sensoriamento remoto e o planejamento de áreas urbanas

Para Kurkdijan (1993), o uso de SR aplicado ao planejamento urbano segue duas linhas distintas de trabalho. A autora entende que a primeira seja voltada ao conhecimento e ação sobre o sistema urbano em geral em sua relação com os espaços municipal e regional mais amplos; e a segunda, voltada aos estudos intra-urbano, sendo esta última, mais sujeita a restrições da resolução espacial dos produtos orbitais.

Almeida (2010, p. 102-105), ao produzir um breve histórico sobre o uso do sensoriamento remoto em estudos urbanos, destaca três épocas distintas, nomeadas de “gerações”. De acordo com a autora, cada geração é profundamente marcada pela resolução espacial das imagens de satélites produzidas de acordo com a disponibilidade tecnológica existente em cada uma delas:

“A primeira geração de satélites estende-se do começo da década de 1970, com o lançamento do LANDSAT 1 em 1972, até meados da década de 1980. Essa geração é marcada por uma limitação inerente aos satélites, que apresentavam baixa resolução espacial – em torno de 80 m.” [...]. A geração subsequente tem início em meados da década de 1980 e prolonga-se praticamente até o final da última década. Essa geração possibilitou-nos importantes avanços; os satélites americanos passam a ter sua

resolução espacial bastante refinada, saltando de 80 m para 30 m. Surgem os satélites franceses da série SPOT, com resolução de 20 m nas bandas multiespectrais e de 10 m na banda pancromática. [...]. Finalmente, encontramos hoje no que se convencionou denominar a Terceira Geração de Satélites Imaginadores, que vai do final da década passada até a atualidade. Ela representa um marco em termos de revolução na resolução espacial. Os satélites americanos QuickBird, IKONOS e ORBVVIEW, bem como o satélite israelense EROS e o francês SPOT têm as suas resoluções espaciais oscilando entre 67 cm, com o QuickBird; 1 m, com o ORBVVIEW; 1,8 m, com o EROS, e 2,5 m, com o SPOT 5. Esses avanços representam novos caminhos para explorar o espaço intraurbano”. (ALMEIDA, 2010).

Dentre as principais aplicações do uso do sensoriamento remoto em ambientes urbanos, listadas por Almeida (2010), pode-se citar:

- | | |
|--|--|
| i. Análises de aptidão do uso do solo; | vi. estudos de mobilidade regional e dispersão urbana; |
| ii. classificações de cobertura e uso do solo urbano; | vii. estudos de microclima e qualidade de vida urbana; |
| iii. estudos socioeconômicos urbanos; | viii. estudos desastres naturais e vulnerabilidade ambiental; |
| iv. estudos de inferência populacional urbana; | ix. estudos de modelagem e dinâmica espacial de uso do solo urbano e |
| v. estudos planejamento e gestão de transporte urbano; | x. estudos epidemiológicos e de saúde pública em áreas urbanas. |

“No que concerne ao sistema urbano geral, sua relação com o meio físico que o sustenta e com os espaços municipal e regional mais amplos, a utilidade do Sensoriamento Remoto Orbital associado a trabalhos planejados de levantamento em superfície é extremamente grande.” (KURKDIJAN 1993, p. 5).

3.4. Índices utilizados no sensoriamento remoto

A partir do conhecimento da particularidade com que cada objeto interage com a REM, técnicas, como a produção de índices, foram desenvolvidas com o objetivo de ressaltar as características dos objetos de interesse e assim, facilitar a sua identificação em dados

produzidos por técnicas de sensoriamento remoto. Para o desenvolvimento de um índice, deve-se conhecer de forma clara a resposta produzida pela interação (objeto / REM) de forma que uma expressão matemática possa ser construída para realização desta caracterização.

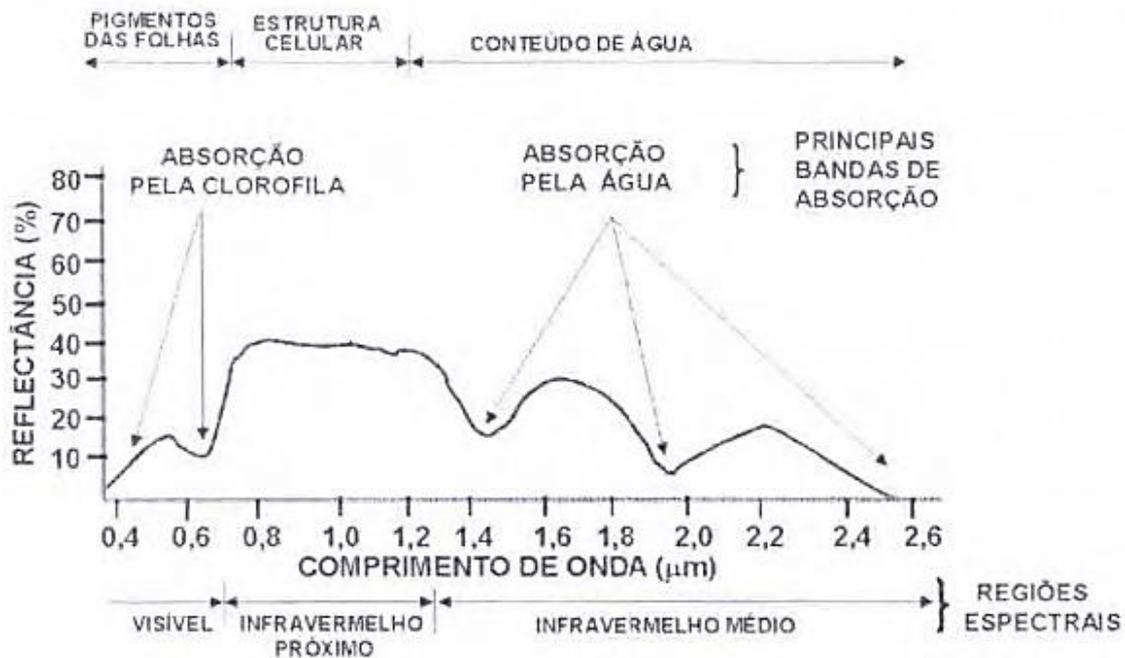
3.4.1. Comportamento espectral da vegetação

Assim como todos os objetos presentes na superfície terrestre, a vegetação possui uma assinatura espectral própria, produzida pela interação de seus constituintes com a REM incidente. Segundo Novo e Ponzoni (2001, p. 53), a principal motivação dos estudos em vegetação envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, fundamenta-se na compreensão da “aparência” que uma dada cobertura vegetal assume em um determinado produto de sensoriamento remoto, a qual é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. A REM incidente interage com diversos elementos que constituem a própria planta – como as folhas, galhos, frutos, tronco e flores. Novo e Ponzoni (2001) explicam que:

“Um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um destes elementos estará sujeito a dois processos: espalhamento e absorção. O processo de espalhamento, por sua vez, pode ser dividido em dois subprocessos: reflexão e transmissão através do elemento. O destino do fluxo radiante incidente sobre um destes elementos é então dependente das características do fluxo (comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização) e das características físico-químicas destes mesmos elementos”. (NOVO E PONZONI, 2001)

Na Figura 10 está ilustrada a curva característica de reflectância de REM de uma planta para os comprimentos entre a região visível e o infravermelho médio e as variações de reflectância em função da estrutura da planta.

Figura 10: Curva de reflectância característica das plantas.



Fonte: Moreira (2001) em adaptação de Hoffer (1978).

A observação da Figura 10 permite verificar que a região abrangida entre 400 a 2,600 nanômetros é usualmente dividida em três grupos. Sendo cada um deles:

- i. região do visível (comprimentos de onda de 400 a 700 nm);
- ii. região do infravermelho próximo (comprimentos de onda de 700 a 1,300 nm) e
- iii. região do infravermelho médio (comprimentos de onda de 1,300 a 2,600 nm).

Moreira (2001), em análise do comportamento espectral da folha em cada um destas regiões, escreve que:

- i. **Região do visível:** Nesta região os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral. Estes pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Os valores percentuais destes pigmentos existentes nas folhas podem variar grandemente de espécie para espécie. A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e é convertida em calor ou

fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos por meio da fotossíntese;

- ii. **Região do infravermelho próximo:** Nesta região existe uma absorção pequena da REM e considerável espalhamento interno na folha. A absorção da água é geralmente baixa nessa região. A reflectância espectral é quase constante nessa região. Gates et al. (1965) determinaram que a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância e
- iii. **Região do infravermelho médio:** A absorção devido à água líquida predomina na reflectância espectral das folhas na região do infravermelho próximo. Considerando a água líquida, esta apresenta na região em torno de 2000 nm, uma reflectância geralmente pequena, sendo menor do que 10% para um ângulo de incidência de 65° e menor do que 5% para um ângulo de incidência de 20°. A água absorve consideravelmente a REM incidente na região espectral compreendida entre 1300 nm e 2000 nm. Em termos mais pontuais, a absorção da água se dá em 1100 nm; 1450 nm; 1950 nm; 2700 nm e 6300 nm.

Outro item que deve ser levado em consideração em análises da interação REM e vegetação refere-se ao fato de que, as aplicações técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação, na maioria dos casos, deverão trabalhar a existência de diversas espécies vegetais de diferentes composições fisionômicas presentes numa determinada área. Segundo Moreira (2001, p. 55):

“A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação, inclui a necessidade de compreender o processo de interação entre a REM e os diversos tipos fisionômicos de dosséis (florestas, culturas agrícolas, formações de porte herbáceo, etc.). Uma vez que a folha é o principal elemento da vegetação sob o ponto de vista do processo de interação com a REM, espera-se que muito do que foi exposto referente às características de reflectância das folhas, também seja válido para os dosséis [...]. De fato, quando comparadas as curvas de reflectância de uma folha verde sadia com as medições espectrais de dosséis, estas apresentam formas muito semelhantes. Essa semelhança permite que os padrões de reflectância apresentados pelos dosséis vegetais em imagens multiespectrais possam ser previstos”. (MOREIRA, 2001).

3.4.2. Índices de vegetação

De acordo com Moreira (2001), os índices de vegetação foram criados, entre outras coisas, para tentar diminuir o trabalho de análise de dados orbitais, por meio de uma maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores. Eles foram criados no intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (realçar o contraste espectral existente entre a vegetação e o solo). Assim sendo, estes índices de vegetação podem ser obtidos tanto de dados coletados por satélites como de dados obtidos por equipamentos próximos ao alvo de interesse, como é o caso dos espectroradiômetros.

“Os índices de vegetação resultam de transformações lineares da reflectância, obtida em duas ou mais bandas espectrais do espectro eletromagnético, por meio de soma, de razão entre bandas, da diferença ou de qualquer outra combinação” (WIEGAND et al., 1991, apud MOREIRA, 2001, p. 159).

A seguir são apresentados alguns índices de vegetação utilizados em análises de sensoriamento remoto.

3.4.2.1. *Ratio vegetation index (RVI)*

De acordo com Meneses et al., (2012), o *ratio vegetation index* (RVI) ou Índice de vegetação por razão (livre tradução) consiste na divisão da banda situada no infravermelho próximo - *near infrared* (NIR), região em que a vegetação mostra a mais intensa reflectância, pela banda situada no vermelho (RED), onde a vegetação possui a mais alta absorção da luz solar visível devido à presença em sua constituição do pigmento verde clorofila. Sua fórmula matemática pode ser expressa conforme a Equação 2.

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (\text{Eq. 2})$$

O resultado é uma imagem monocromática, com a gradação de tons de cinza indicando a variação da biomassa ou o índice de área foliar. Quanto mais claro o tom de cinza, maior a densidade de vegetação. Tons de cinzas médios indicam pouca vegetação e tons de cinza

totalmente escuros indicam ausência de vegetação, o que só pode ocorrer nas áreas de corpos de água, de solos expostos, áreas cobertas por neve, ou nuvens. (MENESES et al., 2012, p.148).

3.4.2.2. *Normalized difference vegetation index (NDVI)*

O *normalized difference vegetation index* (NDVI) ou índice de vegetação por diferença normalizada (livre tradução) envolve a diferença e a soma entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), segundo a razão (Equação 3):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Os valores de NDVI variam de -1 a +1. Segundo Meneses et al., (2012), os valores obtidos para o NDVI são mais indicativos para quantificar o valor numérico de índice para vegetação, que se aproxima de +1 em áreas de densa vegetação, valores negativos para áreas com total ausência de vegetação (água) e solos expostos ficando com valores que se aproximam de zero.

“A vantagem do NDVI sobre o RVI é que ele tende a ser linearmente mais proporcional à biomassa. Também é mais apropriado quando se pretende fazer comparações ao longo do tempo de uma mesma área, pois é esperado de ser menos influenciado pelas variações das condições atmosféricas. É um índice preferido ao RVI, e amplamente utilizado numa escala continental ou global.” (MENESES et al., 2012, p.148).

3.4.2.3. *Soil adjusted vegetation index (SAVI)*

O *soil adjusted vegetation index* (SAVI) ou índice de vegetação ajustado para solo (livre tradução) foi proposto por Huete (1988) a partir de constatações de que o índice NDVI “não confirma ser um bom indicador de biomassa de vegetação se o terreno tiver uma pobre cobertura de vegetação” (MENESES et al., 2012, p. 150). O cálculo do SAVI segue a Equação 4:

$$\text{SAVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED} + L} * (1 + L) \quad (\text{Eq. 4})$$

onde: L = constante utilizada para minimizar a sensibilidade do índice de vegetação às variações de reflectância dos tipos de solo e que pode variar entre 0 e 1.

“O fator L varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar.” (ROSENDO, 2005, p.42). Sendo estabelecido como:

- L = 1 (baixas densidades de vegetação);
- L = 0,5 (densidades médias de vegetação) e
- L = 0,25 (altas densidades de vegetação);

3.4.2.4. *Enhanced vegetation index (EVI)*

Já o *enhanced vegetation index (EVI)* ou índice de vegetação aprimorado (livre tradução) “foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação em regiões de alta biomassa, além de apresentar melhor capacidade de monitoramento através de uma quebra do sinal do substrato do dossel vegetal e de redução das influências atmosféricas”. (ROSENDO, 2005, p.44). O índice EVI pode ser calculado pela da Equação 5:

$$EVI = \frac{G (NIR - RED)}{(L_1 + NIR + C_1 * RED - C_2 * BLUE)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde, L_1 é o fator de correção para o solo; G é o fator de ganho; C_1 é o coeficiente de ajuste para os efeitos de aerossóis atmosféricos para banda vermelha; RED corresponde a banda situada no vermelho; C_2 é o coeficiente de ajuste para os efeitos de aerossóis atmosféricos para banda azul e BLUE corresponde a banda situada no azul.

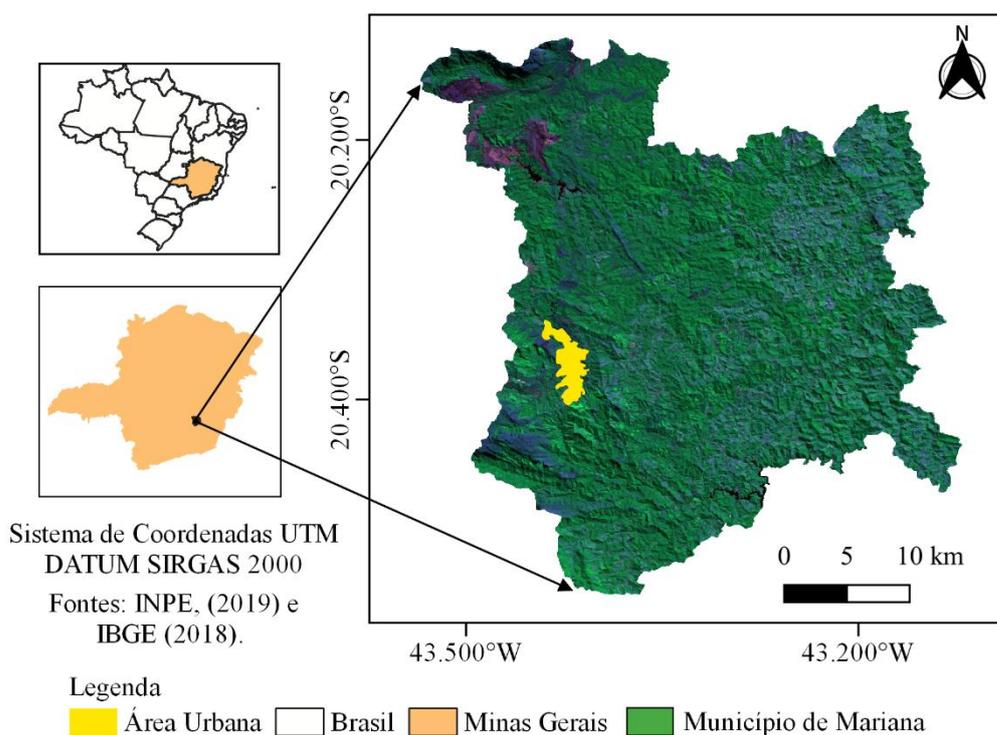
Os coeficientes G, C_1 e C_2 variam de acordo com a área de estudo na qual o índice EVI está sendo aplicado.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

O município de Mariana está localizado na zona centro-sul do estado de Minas Gerais, com área total em unidade territorial de 1.194,208 km² (IBGE 2018; Figura 11). Dados do Censo Demográfico (IBGE 2010) mostram que o município possui uma densidade populacional de 45,40 hab/km². Atualmente a cidade é próspera, com atividade industrial concentrada principalmente na extração do minério de ferro, grande geradora de empregos e receita pública. O setor de serviços, com destaque para o turismo, também apresenta importância para o município, seguido pelo setor agropecuário, em menor escala (Plano municipal de saneamento básico de Mariana - PMSB, 2014).

Figura 11: Localização do município de Mariana - MG em relação ao Brasil e Minas Gerais.



Fonte: O autor, 2019.

No município de Mariana, os solos mais recorrentes são os Latossolos, os Cambissolos e os Argissolos. Dados do PMSB (2014) afirmam que os Latossolos ocupam quase 70% do território de Mariana, sendo os Cambissolos o segundo maior grupo (ocupando cerca de 21% da área do município), seguidos pelos Argilosolos (que estão presentes em 5% da porção territorial), e que outros 4% da área do município são afloramentos rochosos.

O clima local está totalmente inserido na faixa de clima tropical, sendo normalmente caracterizada por uma não conformidade climática, ditada pelas peculiaridades do relevo, que condicionam, entre outras coisas, o fluxo das massas de ar (PMSB, 2014). Segundo Correa (2006), em análise da classificação climática de Köppen (1931), ocorrem na região dois tipos climáticos: clima tropical de altitude com verões quentes (Cwa) e tropical de altitude com verões brandos (Cwb). O primeiro predomina nas partes menos elevadas e se caracteriza como um clima tropical de altitude, com chuvas de verão e verões quentes com pluviosidade média anual de 1,100 a 1,500 mm e a temperatura média anual oscilando entre 19,5 e 21,8°C.

O município de Mariana está dividido entre a bacia hidrográfica do rio Piracicaba (DO1) e a bacia hidrográfica do rio Piranga (DO2), duas das seis Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) da Bacia do Rio Doce. “Os principais rios que cruzam o município são os rios do Carmo, Gualaxo do Sul e Gualaxo do Norte – todos com curso geral orientado para sudeste e pertencentes à bacia do rio Piranga” (PMSB, 2014, p. 28).

A cobertura vegetal, segundo o PMSB (2014, p. 32) é representada pela Floresta Estacional Semidecidual, que é pertencente ao bioma Mata Atlântica, ela tem ocorrência fortemente condicionada ao clima da região e aos aspectos morfológicos encontrados.

“As formações vegetais nativas vêm sofrendo um intenso processo de alterações ao longo do tempo, observando-se a perda da biodiversidade em seus biomas, tanto como resultado do processo de fragmentação como pela supressão direta da vegetação e sua substituição por outras formas de uso alternativo do solo. As áreas originalmente recobertas com vegetação compõem hoje um conjunto de fragmentos florestais que perfazem 46,3% da área territorial de Mariana, concentrados predominantemente na porção oeste do município, com fragmentos menores localizados de forma dispersa no trecho leste, concentrados nas áreas de maior declividade, principalmente nas nascentes dos cursos d’água”. (PMSB, 2014).

4.2. Obtenção dos dados

Para este trabalho foram utilizadas duas imagens de satélite: uma imagem obtida pelo LANDSAT 5 de 15/07/1989 e uma imagem obtida pelo LANDSAT 8 de 02/07/2019. Ambas imagens possuem resolução espacial de 30 m. Essas imagens foram escolhidas de forma que representassem a variação temporal determinada para a observação da variação dos índices de superfície impermeável e estimativa da precipitação efetiva total.

As imagens foram obtidas de forma gratuita no Catálogo de Imagens disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>), sendo que a menor cobertura de nuvens foi o único critério de escolha. Na Tabela 1 são fornecidos maiores em detalhes das características das imagens escolhidas.

Tabela 1: Características das imagens selecionadas.

Imagem	Banda	Faixa Espectral (μm)	Resolução Espacial
LANDSAT 5 Data de Aquisição: 29/09/2019 Data do Imageamento: 15/07/1989 Instrumento Sensor: TM - (Thematic Mapper) Órbita / ponto: 217/074 Projeção: UTM WGS 84	(B1) AZUL	0,45 – 0,52 μm	30 m
	(B2) VERDE	0,52 – 0,60 μm	
	(B3) VERMELHO	0,63 – 0,69 μm	
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,76 – 0,90 μm	
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1,55 – 1,75 μm	120 m
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10,4 – 12,5 μm	30 m
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2,08 – 2,35 μm	
LANDSAT 8 Data de Aquisição: 19/08/2019 Data do Imageamento: 02/07/2019 Instrumento Sensor: OLI - (Operational Land Imager) Órbita / ponto: 217/074 Projeção: UTM Zona 23 SIRGAS 2000	(B1) COSTAL	0,433 – 0,453 μm	30 m
	(B2) AZUL	0,450 – 0,515 μm	
	(B3) VERDE	0,525 – 0,600 μm	
	(B4) VERMELHO	0,630 – 0,680 μm	
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,845 – 0,885 μm	
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1,560 – 1,660 μm	
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2,100 – 2,300 μm	
	(B8) PANCROMÁTICO	0,500 – 0,680 μm	15 m
	(B8) Cirrus	1,360 – 1,390 μm	30 m

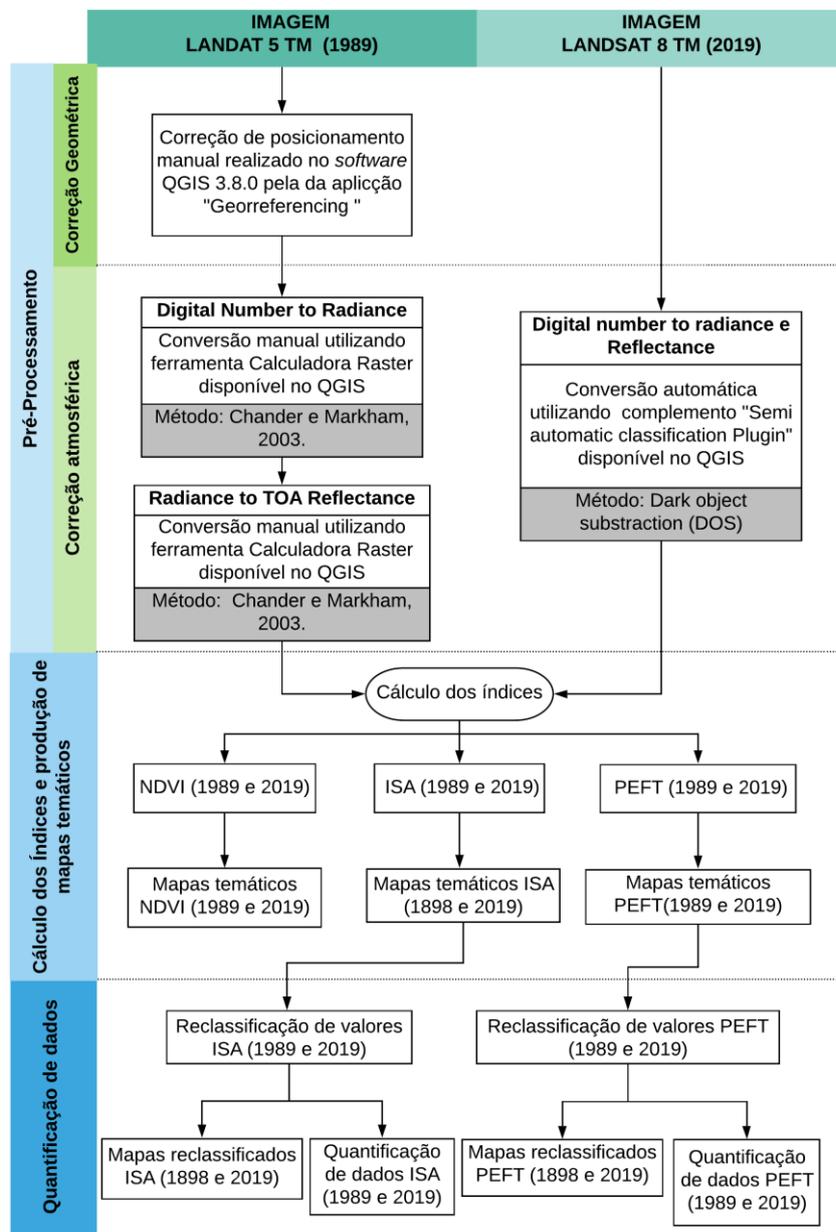
Fonte: o autor, 2019.

O *software* utilizado para o armazenamento, organização, quantificação, e produção dos mapas, dados e resultados dos estudos desenvolvidos para a área urbana foi o Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre *Quantum Gis (QGIS) Desktop 3.8.0. with GRASS 7.6.1.*

4.3. Etapas de trabalho

O desenvolvimento deste trabalho, foi realizado em três etapas distintas. A primeira refere-se à obtenção de dados complementares e pré-processamento das imagens de satélite, a segunda refere-se ao cálculo dos índices propostos e a produção dos mapas temáticos e a terceira a produção de dados quantitativos e extração de valores dos arquivos gerados. A Figura 12, apresenta as etapas de trabalho.

Figura 12: Principais etapas desenvolvidas no trabalho.



Fonte: o autor, 2019.

4.4. Cálculo da área superfície impermeável (ISA)

“Áreas de superfície impermeáveis podem ser definidas como qualquer material que impeça a infiltração de água no solo. Enquanto estradas e telhados são os tipos de superfície impermeáveis mais prevalentes e facilmente identificados, outros tipos incluem calçadas, pátios, afloramentos rochosos e solo compactado. À medida que o desenvolvimento altera a paisagem natural, a porcentagem da terra coberta por superfícies impermeáveis aumenta”. (ARNOLD e GIBBONS, 1996, p. 244). Segundo os autores, as superfícies impermeáveis, além de indicar o grau de urbanização, são também os maiores contribuintes dos impactos ambientais associados à urbanização.

“À medida que a cobertura natural é pavimentada, tem início uma cadeia de eventos que normalmente termina com degradação dos recursos hídricos. Esta cadeia começa com as alterações no ciclo hidrológico, na maneira como a água é transportada e armazenada. Assim que a cobertura impermeável aumenta, a velocidade e o volume do escoamento superficial aumentam, e ocorre uma diminuição correspondente da infiltração. O grande volume de escoamento superficial aliado a ineficiência do transporte de água por de canos, calhas e canais artificiais resulta no aumento da severidade das inundações, que tem fluxos de tempestades que aumentam o volume e atingem picos mais rápidos do que nas zonas rurais.” (ARNOLD e GIBBONS, 1996, p. 244-245).

Assim, pode-se compreender a importância dos estudos que buscam identificar o processo de impermeabilização de áreas naturais relacionados aos processos de urbanização, uma vez que, a identificação e quantificação destas áreas, constituem uma importante orientação para elaboração de ações que visem à mitigação ou correção deste fenômeno. Um dos métodos utilizados para esta quantificação da impermeabilidade de áreas urbanas com base em técnicas de sensoriamento remoto é a criação do *Impervius Surface Area* (ISA) ou área de superfície impermeável.

Desenvolvido por Carlson e Arthur (2000), a partir de análise de três estudos que comprovavam a relação do índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI) e da fração de cobertura vegetal (Fr), o ISA representa a fração de um pixel para qual a superfície não pode evaporar nem permitir a penetração da água da chuva. Sendo a relação que representa a fração de cobertura vegetal (Fr) expressa pela Equação 6, em que N^* é definido pela Equação 7:

$$Fr = (N^*)^2 \text{ (Eq. 6)}$$

$$N^* = \frac{(NDVI - NDVI_o)}{(NDVI_s - NDVI_o)} \text{ (Eq. 7)}$$

Na qual o subíndice “S” representa valores para vegetação densa e o subíndice “O” representa valores para solo exposto. De acordo com Carlson e Arthur (2000), uma definição para o ISA que pode ser razoavelmente desenvolvida para análises de satélites é dada pela Equação 8:

$$ISA = (1 - Fr)_{dev} \text{ (Eq. 8)}$$

Substituindo-se os itens das Equações 6 e 7 na Equação 8, tem-se que:

$$ISA = \left[1 - \left(\frac{NDVI - NDVI_o}{NDVI_s - NDVI_o} \right)^2 \right]_{dev} \text{ (Eq. 9)}$$

O subíndice “dev” indica que a fórmula deve ser utilizada apenas para regiões classificadas como urbanas. Deste modo, o cálculo do ISA para este trabalho será aplicado somente para a área considerada urbanizada do município de Mariana, sendo esta entendida como a área do entorno da sede municipal.

“A fração ISA assim como a cobertura vegetal fracionária variam inversamente em áreas urbanas.” (RIDD, 1995., apud CARLSON e ARTHUR, 2000, p. 51). Desta maneira o índice possui variação de 0 até 1, sendo que valores mais próximos de 1 representam superfícies mais impermeáveis e valores mais próximos de 0 representam superfícies mais permeáveis.

4.5. Precipitação efetiva total (PEFT)

“O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico caracterizado pelo deslocamento da água na superfície da terra e nos cursos d’água naturais. Tem origem, fundamentalmente, nas precipitações e constitui para o engenheiro a mais importante das fases do ciclo hidrológico, uma vez que a maioria dos estudos está ligada ao aproveitamento da água superficial para a proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento”. (BARBOSA JR, s.d, p.92).

Segundo Centeno et al., (2003), grande parte dos modelos hidrológicos que tratam da drenagem urbana necessita conhecer a área impermeável e a modificação das condições de escoamento das bacias devido à ocupação do solo, pois o aumento de áreas impermeáveis

umenta o escoamento superficial. Um destes modelos, criado pelo antigo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (*Soil Conservation Service SCS*) atualmente NRCS (*Natural Resources Conservation Service*) denominado SCS *runoff curve number* (método de escoamento superficial do número da curva), permite o cálculo da PEFT, que é a parcela da chuva não infiltra no solo e que contribui para a produção escoamento superficial numa dada região. A PEFT pode ser calculada pela Equação 10:

$$P_{efT} = \frac{(P_T - I_a)^2}{(P_T - I_a) + S} \quad (\text{Eq. 10})$$

onde P_{efT} é a precipitação efetiva total (mm); P_T é a precipitação total acumulada (mm); I_a é a perda total (“abstração inicial”), ocorrida antes do escoamento superficial (mm); e S é o potencial máximo de retenção (capacidade da camada superior do solo) após o início do escoamento superficial (mm).

Na Equação 10, “a abstração inicial inclui a interceptação, a água retida nas depressões do terreno e a água infiltrada antes de ter início o escoamento superficial. Empiricamente, foi verificado que” (BARBOSA JR, s.d, p. 148):

$$I_a = 0,2S \quad (\text{Eq. 11})$$

isto significa que a abstração inicial corresponde a 20% do potencial máximo de retenção. Substituindo-se a Equação 11 na Equação 10, obtém-se a Equação 12:

$$P_{efT} = \frac{(P_T - 0,2S)^2}{(P_T + 0,8S)} \quad (\text{Eq. 12})$$

O potencial S é estimado por (Equação 13):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Eq. 13})$$

em que CN (*curve number*, $0 \leq CN \leq 100$), relacionado à cobertura, ao uso e ao tipo de solo e as condições médias de umidade antecedente, pode ser obtido com o auxílio de tabelas desenvolvidas pelo NRCS (ANEXO II). Assim, substituindo-se a Equação 13 na Equação 12, a expressão final para o cálculo da PEFT pelo modelo fica expressa na forma da Equação 14:

$$P_{efT} = \frac{\left[P_T - 0,2 * \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \right]^2}{\left[P_T + 0,8 * \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \right]} \quad (\text{Eq. 14})$$

sendo que a Eq. 14 só é válida quando $P_T > 0,2*S$ e que nos casos em que $P_T \leq 0,2*S$ a $P_{efT} = 0$.

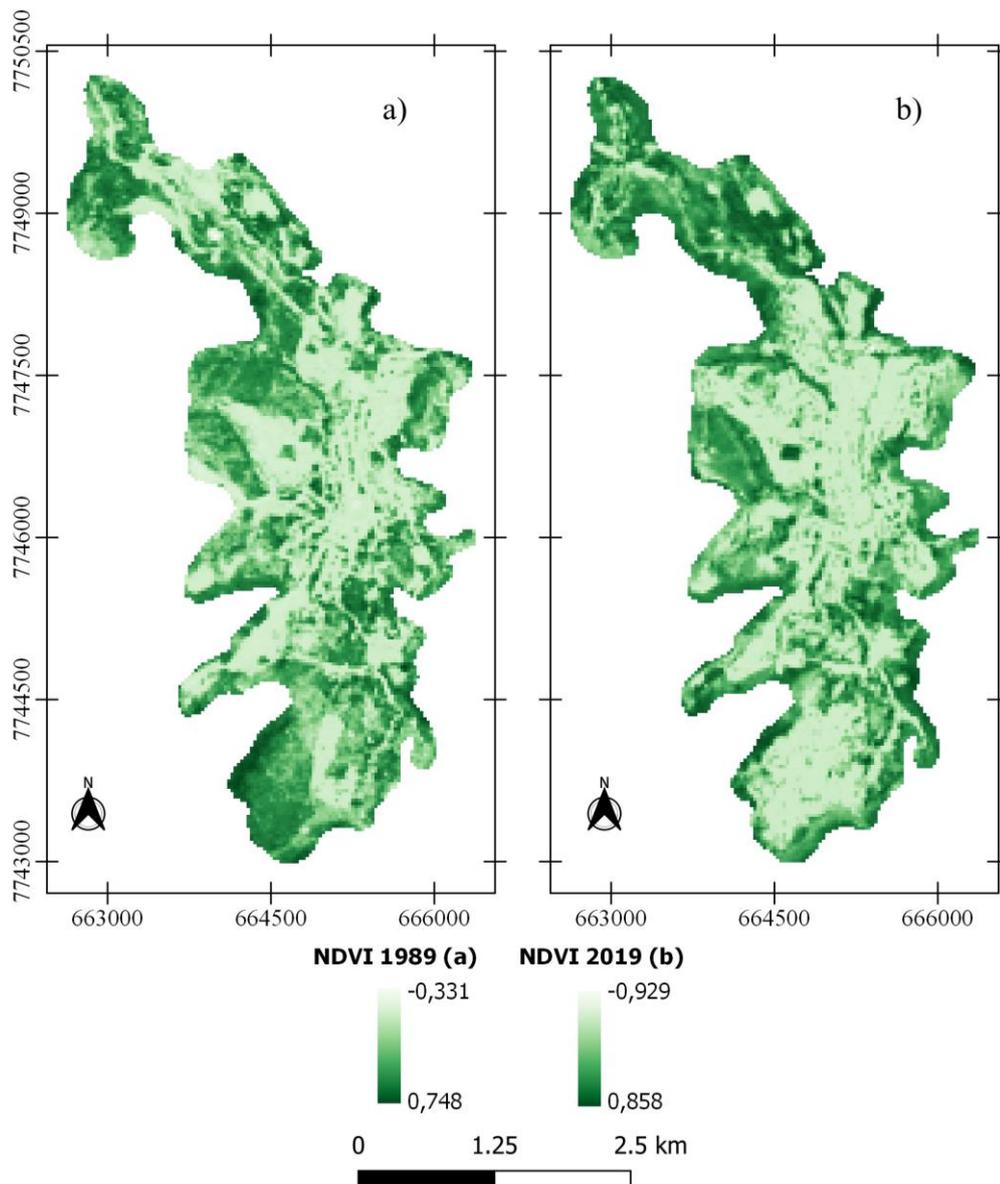
Com a disponibilidade dos dados produzidos pelo sensoriamento remoto, pesquisadores passaram a buscar alternativas que pudessem substituir o parâmetro CN. A estimativa de PEFT será desenvolvida neste trabalho de acordo com a Eq. 14, sendo o parâmetro CN substituído por valores, em porcentagem, do Índice ISA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Índice NDVI

Na Figura 13 estão apresentados os resultados da aplicação da Eq. 3 para o cálculo do NDVI para a área de estudo.

Figura 13: NDVI da área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).



Fonte: O autor, 2019.

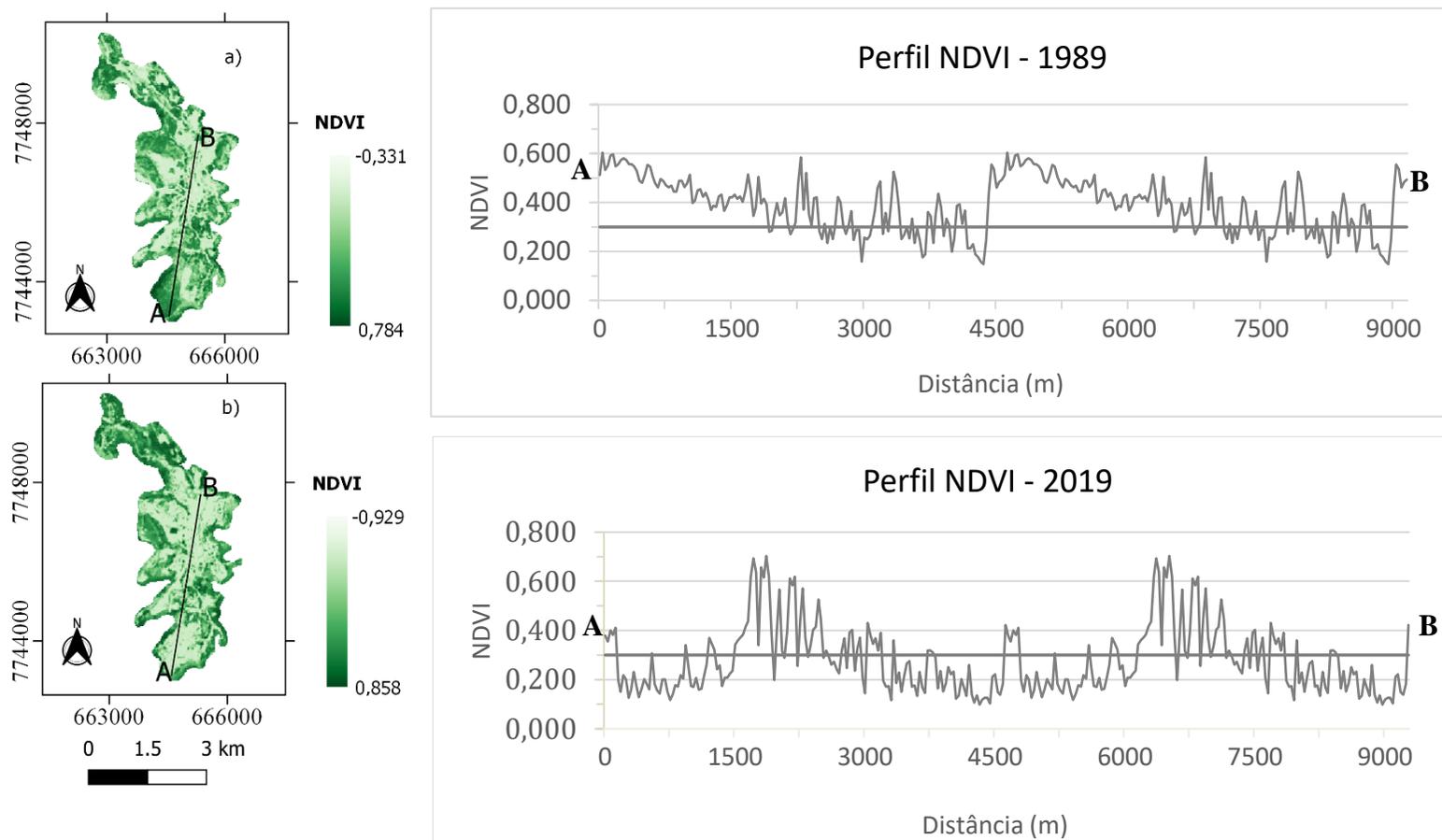
Assim como esperado, os valores NDVI produzidos para os dois anos de estudo indicam a redução de áreas com cobertura vegetal frente a expansão da área urbana municipal. Tal redução pode ser visualizada por toda a extensão territorial da área de estudo, com maior destaque nas regiões Nordeste e Sul, onde é possível verificar NDVI com valores baixos, representados pelos tons verde claros.

Os valores de NDVI obtidos para o ano de 1989 variaram de -0,331 a 0,748. Os valores negativos (com valor mínimo de -0,331) foram encontrados em regiões com água, valores presentes na faixa de 0,140 a 0,333 em região urbana e solo exposto, e valores acima dos 0,333 foram encontrados em regiões com cobertura vegetal – atingindo o valor máximo de 0,748 para representação de vegetação densa.

Já para o ano de 2019, os valores do NDVI obtido variaram de -0,929 a 0,858. Os valores negativos (com valor mínimo de -0,929) foram encontrados em regiões com água, valores presentes na faixa de 0,266 a 0,464 em região urbana e solo exposto, e valores acima dos 0,464 foram encontrados em regiões com cobertura vegetal – atingindo o valor máximo de 0,858 para representação de vegetação densa.

Pode-se verificar o aumento médio dos valores do NDVI, que variou de 0,426 no ano de 1989 para 0,556 para o ano de 2019. Este fato pode estar relacionado a maior precisão e sensibilidade na tomada de medidas que os sensores remotos atuais possuem em relação aos mais antigos. Dessa forma, o fato do valor médio de NDVI obtido pelo satélite LANDSAT 8 (ano de 2019) ser maior que o obtido pelo satélite LANDSAT 5 (ano de 1989) não contradiz o resultado que apresenta a redução da cobertura vegetal. Assim, para corroborar, foi produzida a variação do NDVI em relação a distância ao longo de um transecto A-B delimitado na área municipal. A análise dos dados confirma a redução dos valores do NDVI do ano de 1989 quando comparados com os de 2019 (Figura 14), visto que os valores do ano de 1989 estão em maior parte acima do valor de 0,3 (Figura 14a) enquanto os valores do ano de 2019 apresentam efeito contrário, com a maior parte dos dados sendo representada abaixo do valor de 0,3 (Figura 14b).

Figura 14: Representação do perfil de extração dos dados (transecto A-B) e espacialização do Índice de vegetação, NDVI, da área urbana da cidade de Mariana para os anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).

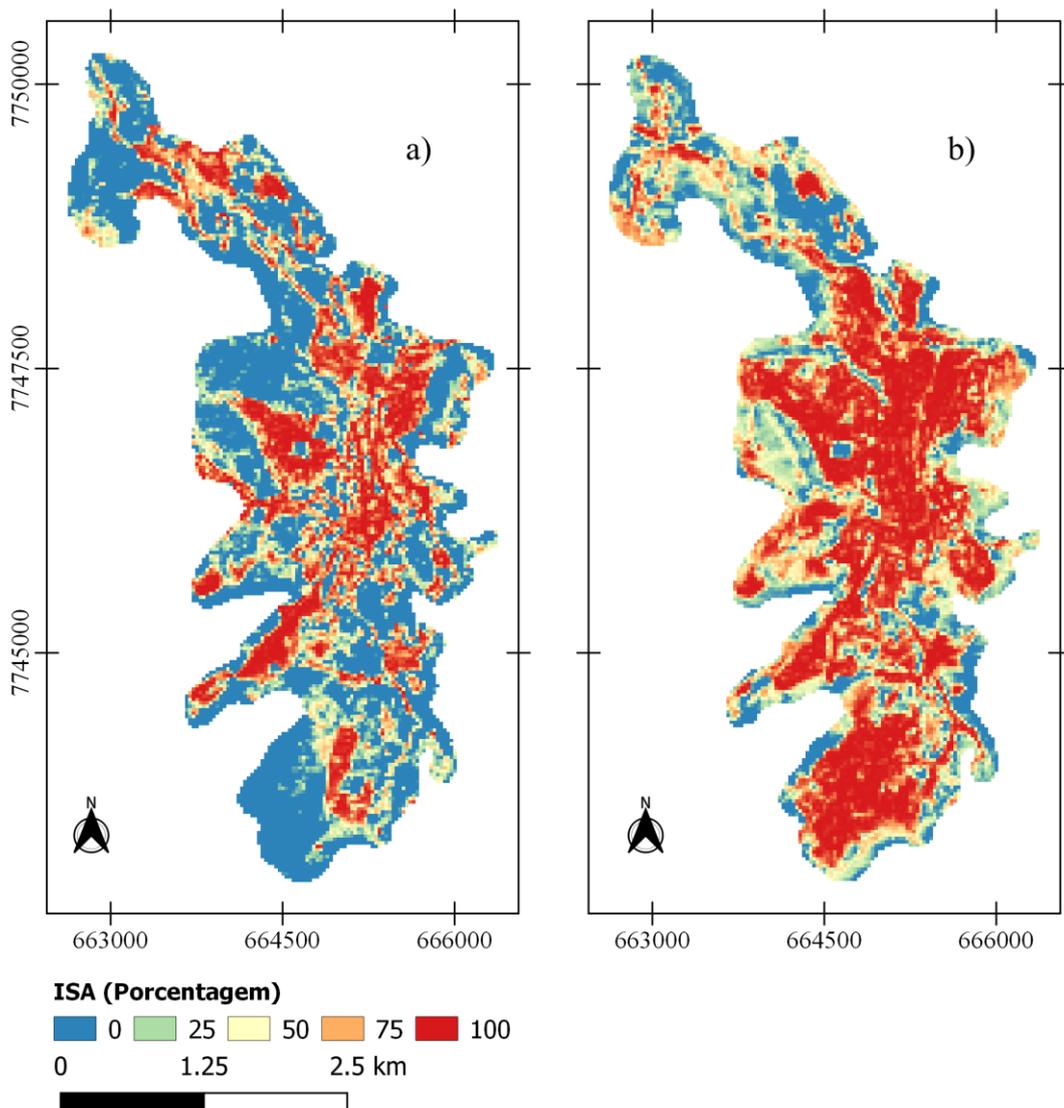


Fonte: O autor, 2019.

5.2. Índice ISA

A partir dos dados obtidos com a produção do NDVI e utilizando a Eq. 9, foi possível realizar a construção do ISA, que está apresentado na Figura 15. Para a melhor visualização do índice de permeabilidade, utilizou-se o tipo de renderização banda simples falsa-cor em escala de cor gradiente com representação do tipo espectral, com a cor azul identificando áreas totalmente permeáveis (0% de impermeabilidade) e a cor vermelha identificando áreas totalmente impermeáveis (100% de impermeabilidade).

Figura 15: ISA para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).



Fonte: O autor, 2019.

Na Figura 15, pode-se identificar o aumento expressivo da impermeabilização do solo da área urbana caracterizado pela transformação de áreas antes permeáveis (ano de 1989, figura 15a) em impermeáveis (ano de 2019, figura 15b). Esta transformação tem como principal fator, a ampliação da área urbana durante o intervalo de tempo entre os anos de estudo. Tal fato pode ser facilmente validado ao se compararem imagens de satélite da atual área urbana do município de Mariana com o ISA gerado para este mesmo ano. Esta ação demonstra que as áreas classificadas como impermeáveis durante o estudo são exatamente aquelas correspondentes as antigas e novas estruturas urbanas.

Para que fosse possível a produção de dados que pudessem fornecer parâmetros que indicassem quantitativamente as alterações acima citadas, foi realizada uma reclassificação do índice ISA. Os parâmetros usados na reclassificação foram a transformação das faixas de porcentagem em quatro intervalos distintos, os quais foram posteriormente renomeados de acordo com as classes que foram estipuladas conforme a porcentagem de permeabilidade definida nos intervalos. A Tabela 2, apresenta os parâmetros usados no processo de reclassificação.

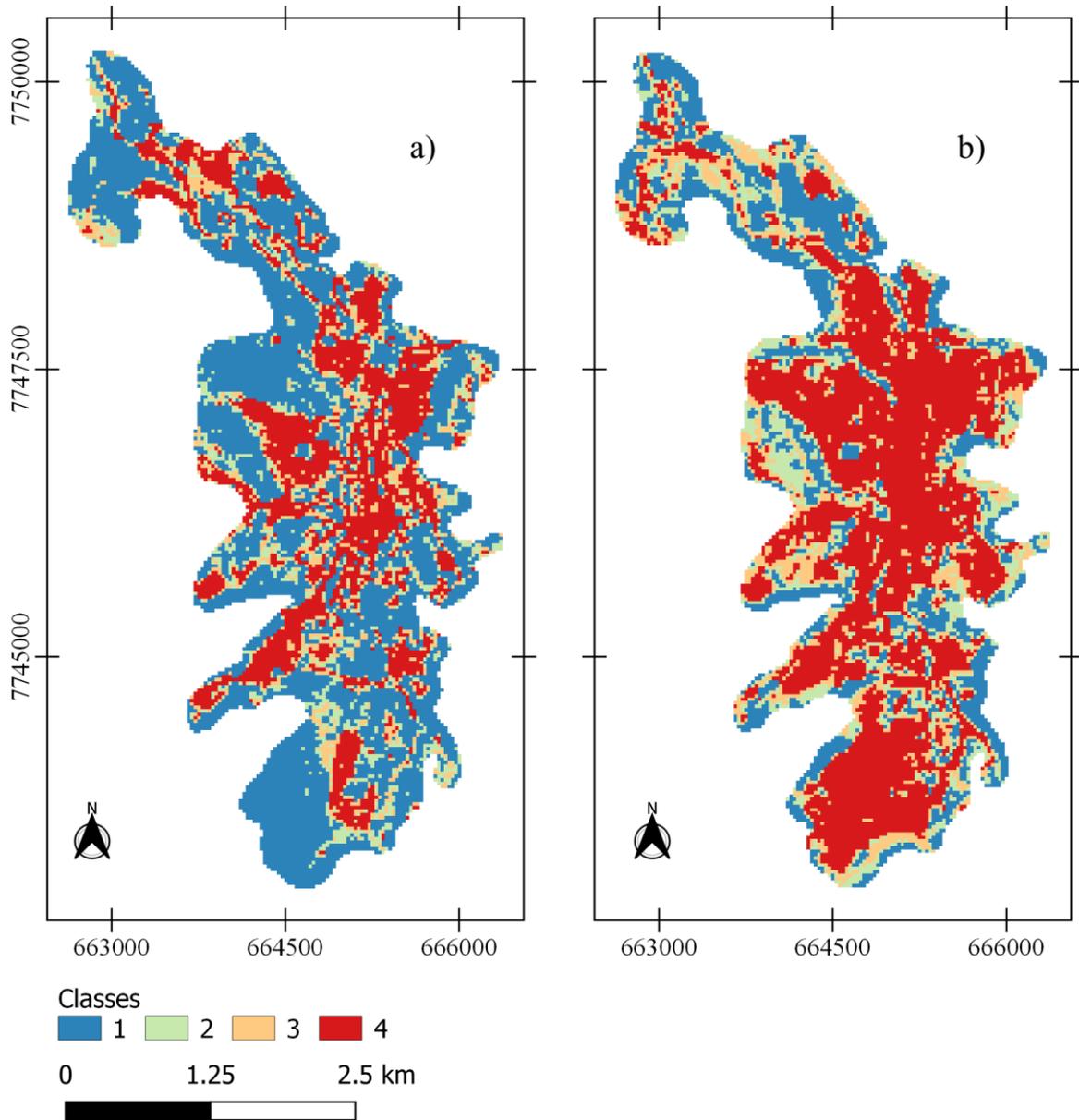
Tabela 2: Parâmetros utilizados no processo de reclassificação do ISA

Parâmetros utilizados na reclassificação		
Intervalo de impermeabilidade	Valor de reclassificação	Classe final
$(0 \leq x \leq 25)$	1	Permeabilidade total
$(25 \leq x \leq 50)$	2	Permeabilidade alta
$(50 \leq x \leq 75)$	3	Permeabilidade baixa
$(75 \leq x \leq 100)$	4	Impermeabilidade total

Fonte: O autor, 2019.

Assim foram gerados dois outros mapas de índice ISA (Figura 16), onde as porcentagens de permeabilidade foram representadas pelos valores de reclassificação descritos pelas classes finais. Desta maneira foi possível quantificar a área ocupada por cada dos valores associados aos intervalos de impermeabilidade e, assim, determinar a variação ocorrida entre os anos de estudo.

Figura 16: Índice ISA após reclassificação de valores para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).



Fonte: O autor, 2019.

Nota-se que o processo de reclassificação torna o índice de impermeabilidade ainda mais restritivo, posto que, o ISA, representado por cinco valores pontuais em porcentagem (Figura 15) passa a ser representado por quatro classes distintas após o processo, sendo possível observar uma pequena diferença na coloração do mapa original para o reclassificado. As Tabelas 3 e 4 e a Figura 17 apresentam os dados quantitativos obtidos.

Tabela 3: Quantificação das classes de permeabilidade para o ano de 1989

Valor	Intervalo	Classe	Área (ha)
1	$(0 \leq x \leq 25)$	Permeabilidade total	606,339
2	$(25 \leq x \leq 50)$	Permeabilidade alta	136,121
3	$(50 \leq x \leq 75)$	Permeabilidade baixa	128,838
4	$(75 \leq x \leq 100)$	Impermeabilidade total	293,909
Área total			1165,208

Fonte: o autor, 2019.

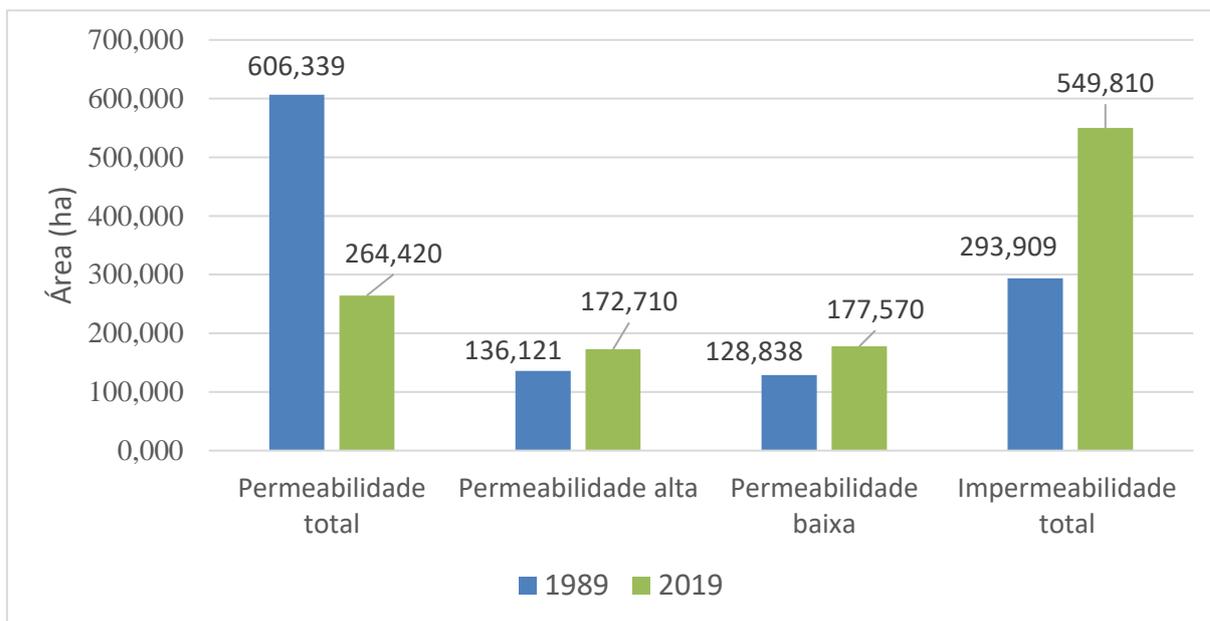
Tabela 4: Quantificação das classes de permeabilidade para o ano de 2019

Valor	Intervalo	Classe	Área (ha)
1	$(0 \leq x \leq 25)$	Permeabilidade total	264,420
2	$(25 \leq x \leq 50)$	Permeabilidade alta	172,710
3	$(50 \leq x \leq 75)$	Permeabilidade baixa	177,570
4	$(75 \leq x \leq 100)$	Impermeabilidade total	549,810
Área total			1164,510

Fonte: O Autor, 2019.

De acordo com os dados, ocorreram modificações consideráveis com as áreas inicialmente caracterizadas como de total permeabilidade (0 - 25%) e das áreas caracterizadas como de total impermeabilidade (75 - 100%). No ano de 1989, as áreas consideradas totalmente permeáveis cobriam uma área de 606,339 ha. Já no ano de 2019, esse valor foi drasticamente reduzido para uma área de 264,420 ha, caracterizando assim a perda de 341,919 ha de áreas totalmente permeáveis ao longo 30 anos. Já com as áreas de total impermeabilidade ocorreu o efeito inverso, verificando-se um aumento considerável ao longo deste período. Em 1989, as áreas totalmente impermeáveis cobriam uma área de 293,909 há. Já no ano de 2019, essas áreas chegam a ocupar um total de 549,810 ha, fato que assinala a urbanização de uma área de 255,901 ha. Já as áreas caracterizadas como de alta (25 – 50%) e baixa (50 – 75%) permeabilidade apresentaram pequenos aumentos em cada uma das áreas, 36,589 ha e 48,732 há respectivamente. Mesmo que a área de média permeabilidade tenha aumentado, tal mudança ainda sim, acarreta mudanças prejudiciais, já que o aumento da área de média impermeabilidade é maior deixando 12,143 ha da área municipal ainda mais impermeáveis. Na Figura 17, os dados estão apresentados de forma a permitir uma melhor visualização da variação das classes de permeabilidade para os dois anos de estudo.

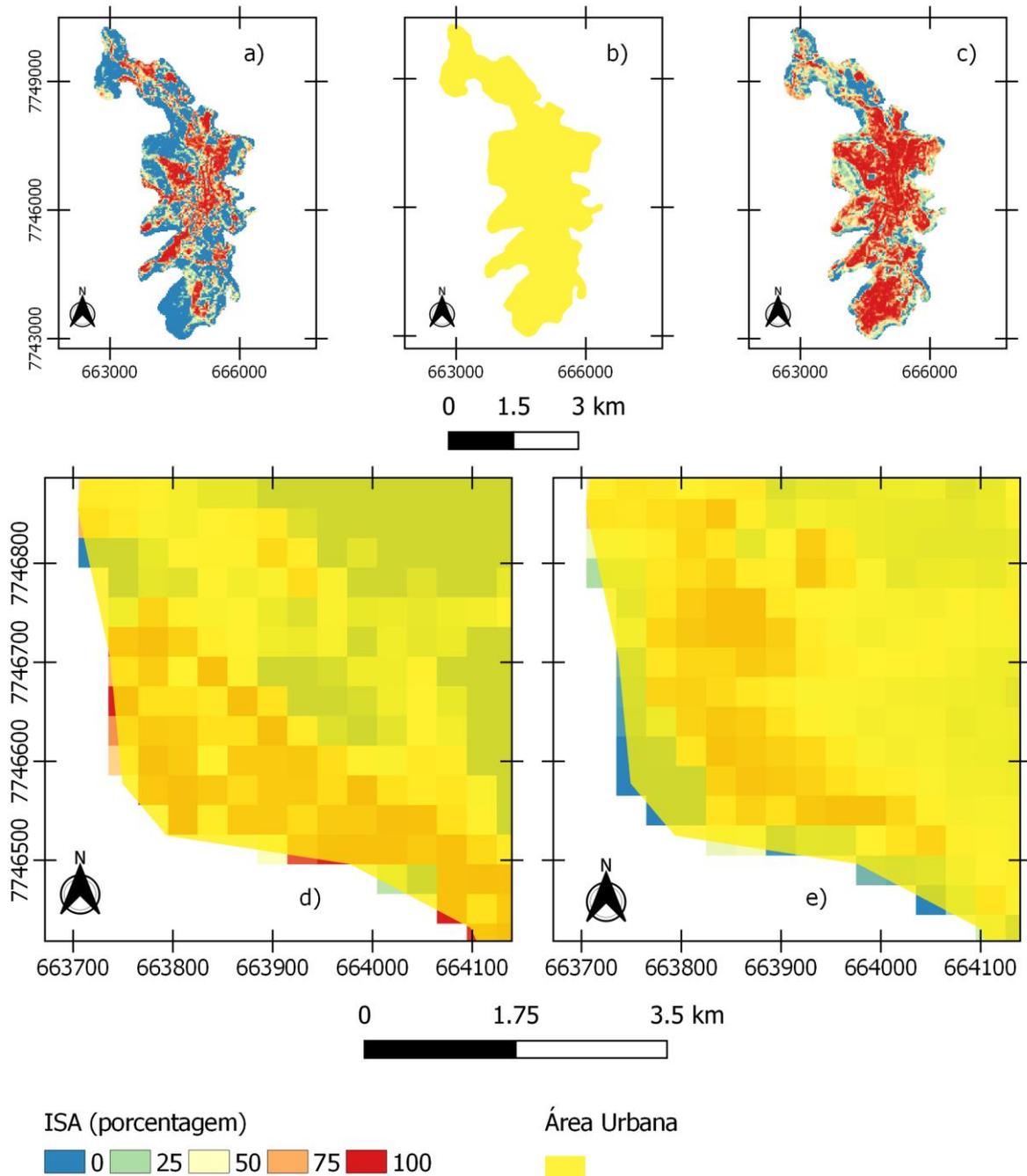
Figura 17: Representação gráfica comparativa entre as classes de impermeabilidade para os anos de 1989 e 2019.



Fonte: O autor, 2019.

Pode-se observar ainda, que existe uma diferença de 0,698 ha entre área total da área urbana do ano de 1989 para o ano de 2019. Tal variação pode ser explicada em função da diferença de propriedade existente os arquivos ISA gerados e a delimitação da área urbana. O limite urbano utilizado no trabalho é formado por uma imagem vetorial, que pode ser constituída por elementos geométricos como os pontos, linhas e polígonos, e que possui formato bem definido. Já os mapas ISA são imagens do tipo raster, que é um tipo de imagem formada por um conjunto de pixels. Deste modo devido a suas diferentes propriedades, pode-se observar que, os arquivos raster possuem pequena diferença entre si e entre o arquivo vetorial. Assim, ao se realizar o processo de quantificação das áreas nos mapas raster, a delimitação utilizada pelo *software* é aquela definida pelo limite urbano, e isto faz com que alguns fragmentos dos pixels que se posicionam para fora do limite do arquivo vetorial não sejam integralmente contabilizados. Na Figura 18 está mostrada a diferença existente entre os arquivos raster e o vetorial para os dois anos de estudo, bem como o fato de alguns pixels posicionarem-se além do limite vetorial. Esta diferença ocorre por toda a extensão, ao se realizar a sobreposição dos arquivos. Dado que, a delimitação da área urbana do arquivo vetorial possui 1 165,878 hectares os mapas que mais se aproximam em termos de área da delimitação vetorial são os do ano de 1989.

Figura 18: Arquivos rasters ISA para o ano de 1989 (figura a), 2019 (figura c) e arquivo vetorial (figura d) da área de estudo e a sobreposição dos arquivos vetorial e raster para os anos de 1989 (figura d) e 2019 (figura e).

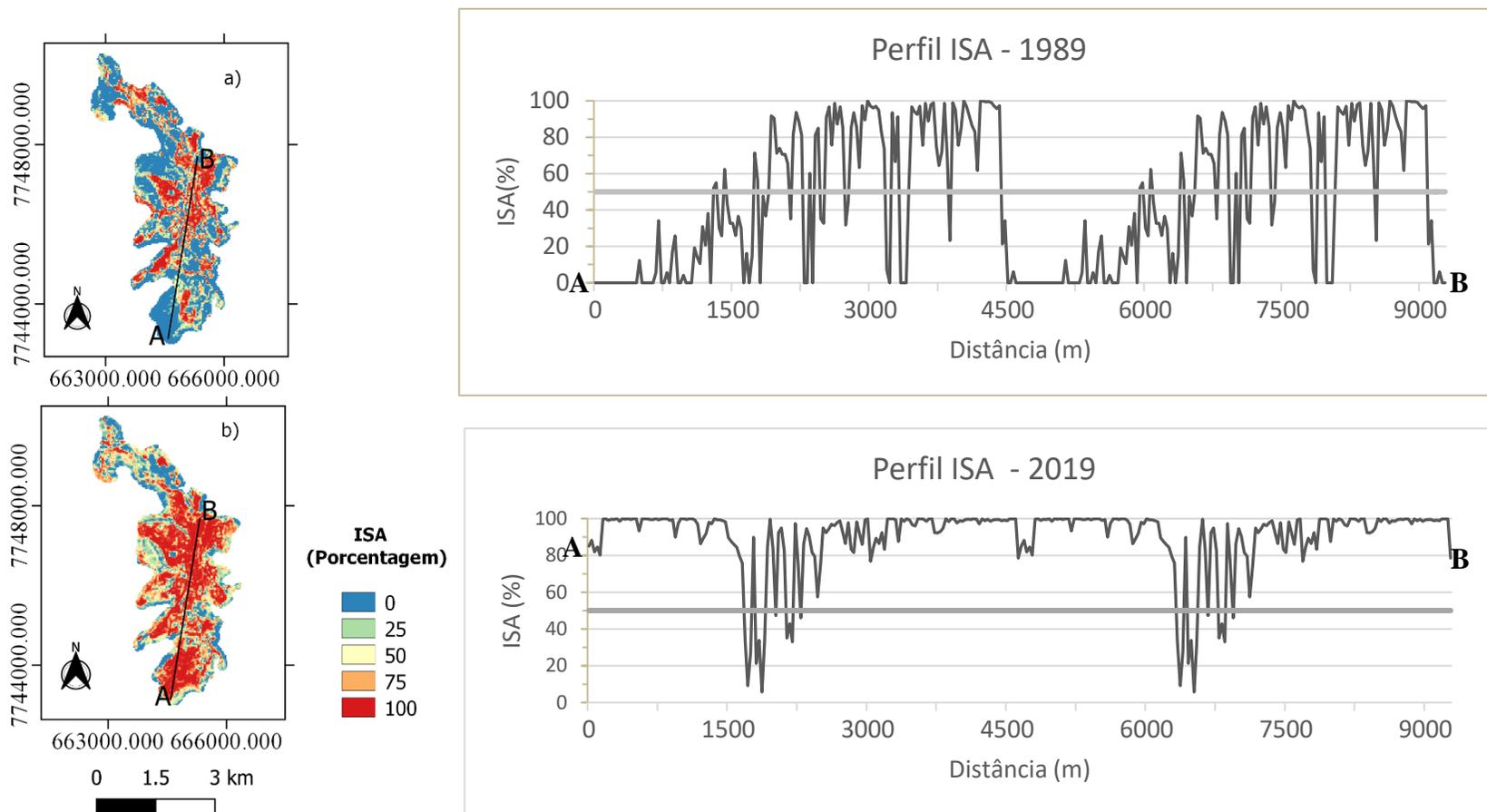


Fonte: O autor, 2019.

De modo semelhante ao observado para os valores NDVI, a inversão da característica de permeabilidade fica ainda mais evidente quando se analisa a espacialização do ISA para a área urbana do município de Mariana (Figura 19). A análise da imagem na Figura 19 evidencia

que embora valores de ISA extraídos para o transecto A-B correspondentes ao ano de 1989 apresentem picos de variação, boa parte dos valores ISA estão locados abaixo da reta que representa 50% de permeabilidade. Já os valores ISA extraídos para o transecto A-B correspondentes ao ano de 2019, apresentam o efeito contrário com grande redução dos picos de permeabilidade e boa parte dos valores ISA serem locados acima da reta que representa 50% de permeabilidade e em sua maior parte apresentando valores acima de 80% de impermeabilidade.

Figura 19: Representação do perfil de extração de valores (transecto A-B) e espacialização do ISA para a área urbana do município de Mariana nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).

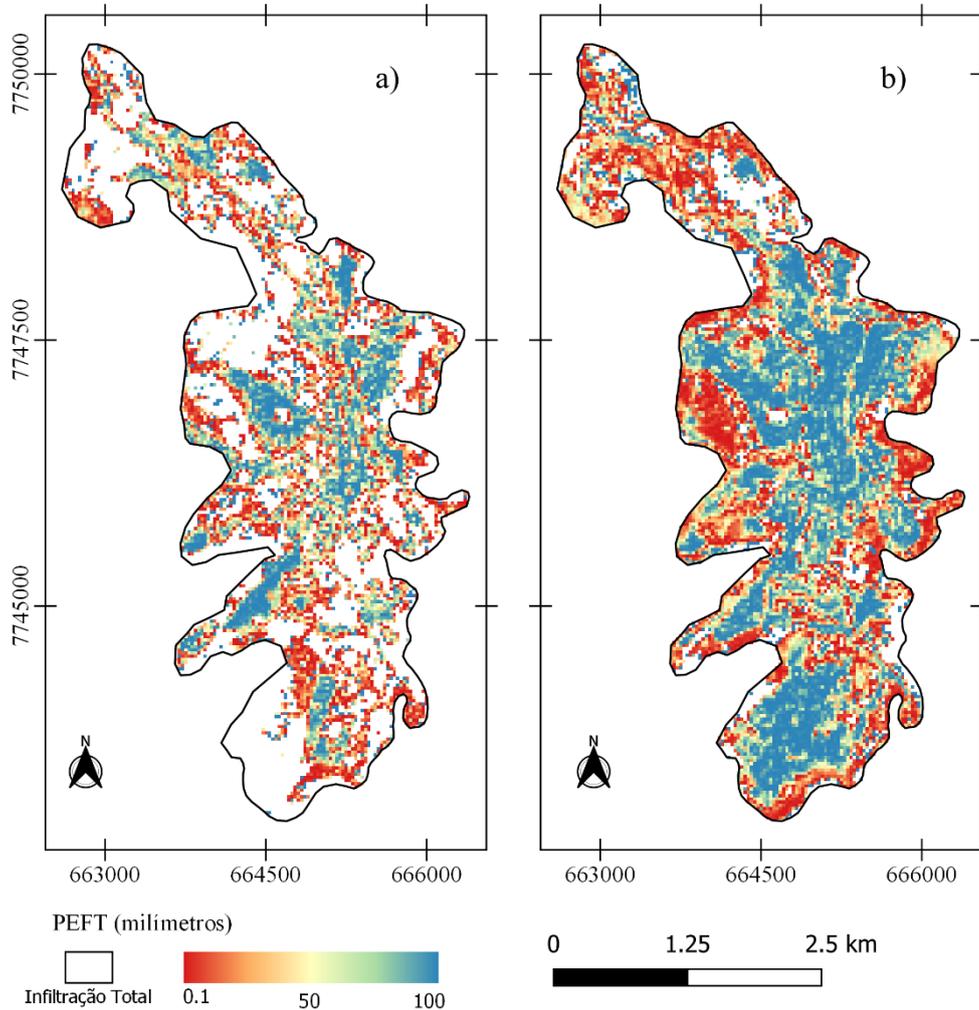


Fonte: O autor, 2019.

5.3. Precipitação efetiva total (PEFT)

Para representação gráfica da PEFT foi adotado o mesmo padrão utilizado para os mapas do ISA (Figura 15). No entanto, pelo fato do item *curve number* (CN) (substituído pelo índice ISA) ser denominador na expressão utilizada no cálculo da PEFT, sua resolução matemática não permite a produção de dados nas áreas onde ocorre, permeabilidade total, ou seja, onde o índice ISA é igual a 0%. Desta maneira, as áreas classificadas como de infiltração total são apresentadas no em branco com a representação “Infiltração total” na Figura 20. As áreas onde ocorre algum tipo de escoamento superficial, desde o menor possível (valores iniciais de 0,1 mm de escoamento) até aquelas onde toda a precipitação total acumulada escoar (100 mm), são representadas pela escala de cor gradiente no mapa. Dessa forma, considerando a precipitação total acumulada utilizada como parâmetro de cálculo ($P = 100$ mm), nas áreas representadas em azul, ocorre total escoamento desta precipitação.

Figura 20: Precipitação efetiva total para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).



Fonte: O autor, 2019.

O diagnóstico visual dos dados produzidos demonstra que houve um aumento considerável ao longo 30 anos de áreas que eram classificadas como totalmente permeáveis no ano de 1989 e que não apresentam mais tal característica no ano de 2019. Assim, como feito anteriormente para o ISA, foi realizada a reclassificação da PEFT para que fosse possível quantificar os dados gráficos produzidos. Os parâmetros usados na reclassificação da PEFT utilizaram regras semelhantes as descritas na reclassificação anterior, com a ressalva de que as áreas de infiltração total (que não possuem valores de dados) permaneceram inalteradas. Por fim, tendo como objetivo uma melhor compreensão dos dados, foi realizada a definição das

classes que foram estipuladas de acordo com intervalos de valores de precipitação efetiva. Na Tabela 5 estão apresentados os parâmetros usados no processo de reclassificação.

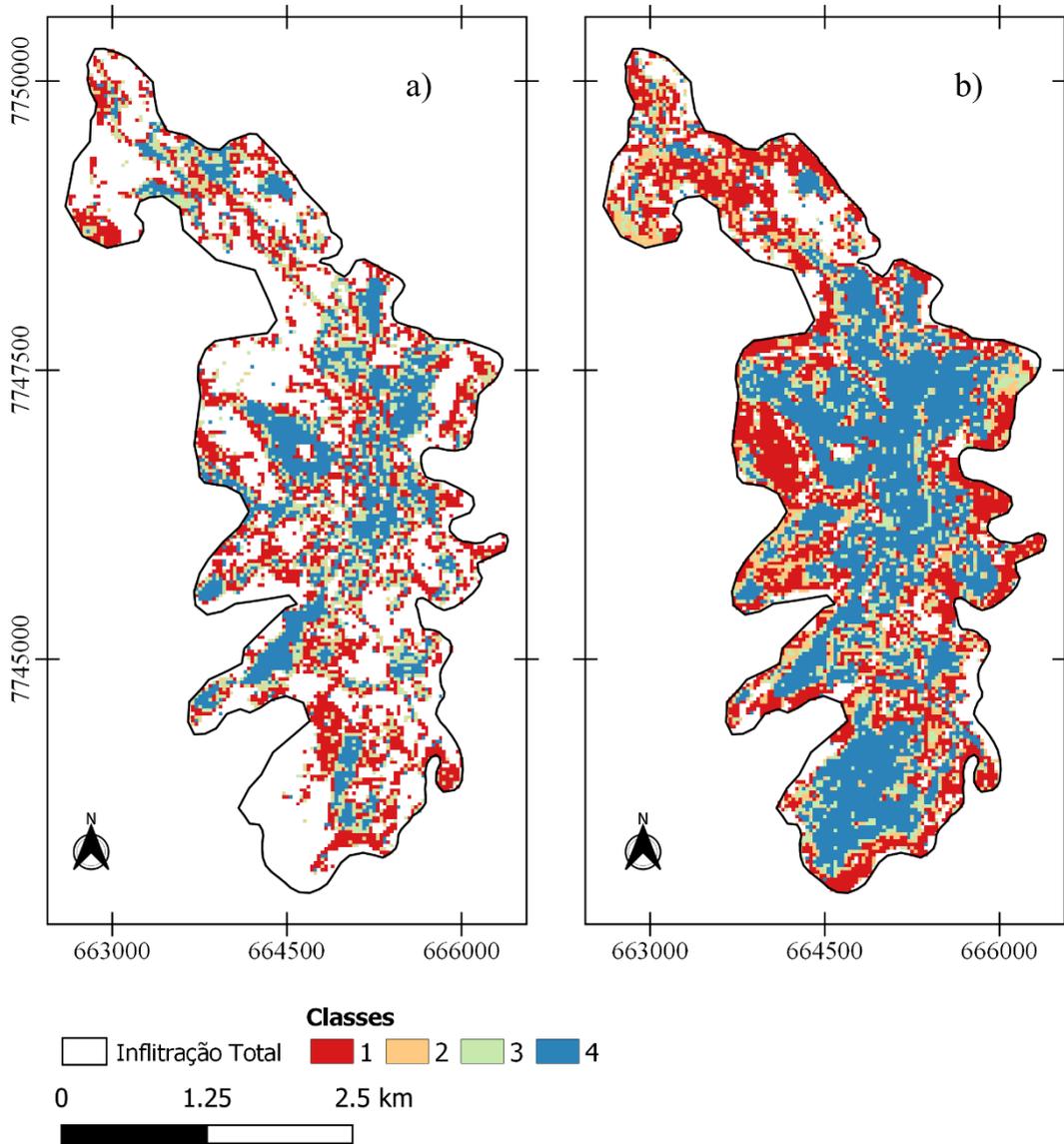
Tabela 5: Parâmetros utilizados no processo de reclassificação da precipitação efetiva total (PEFT).

Parâmetros utilizados na reclassificação		
Intervalo de escoamento	valor de reclassificação	Classe final
Infiltração total	0	Infiltração total
$(0 \leq x \leq 25)$	1	Baixo escoamento
$(25 \leq x \leq 50)$	2	Escoamento médio
$(50 \leq x \leq 75)$	3	Alto escoamento
$(75 \leq x \leq 100)$	4	Escoamento total

Fonte: O autor, 2019.

Assim, foram gerados dois outros mapas de PEFT (Figura 21), onde os valores (em milímetros) de escoamento foram representadas pelos valores de reclassificação descritos pelas classes finais. Desta maneira, foi possível quantificar a área ocupada por cada um dos quatro valores associados aos intervalos de escoamento e assim determinar a variação ocorrida entre os anos de estudo.

Figura 21: Precipitação efetiva total após reclassificação de valores para área urbana do município de Mariana – MG nos anos de 1989 (figura a) e 2019 (figura b).



Fonte: O autor, 2019.

Nas Tabelas 6 e 7 e na Figura 22 estão apresentados os dados quantitativos obtidos para a PEFT para os anos de 1989 e 2019.

Tabela 6: Quantificação das classes de precipitação efetiva total (PEFT) para o ano de 1989

Quantificação das classes impermeáveis para o ano de 1989			
Valor	Intervalo	Classe	Área (ha)
Infiltração total	-	Infiltração total	520,118
1	(0 - 25) mm	Baixo escoamento	262,621
2	(25 - 50) mm	Escoamento médio	98,809
3	(50 - 75) mm	Alto escoamento	92,156
4	(75 - 100) mm	Escoamento total	191,504
Área total			1165,208

Fonte: O autor, 2019.

Tabela 7: Quantificação das classes de precipitação efetiva total (PEFT) para o ano de 2019

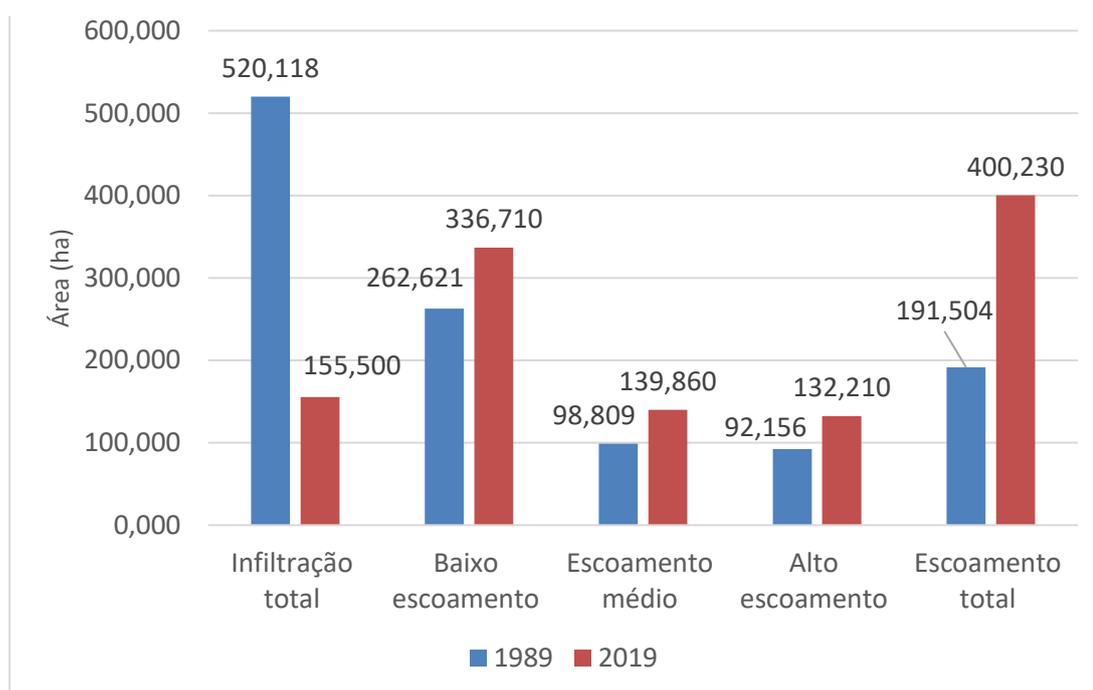
Quantificação das classes impermeáveis para o ano de 2019			
Valor	Intervalo	Classe	Área (ha)
Infiltração total	-	Infiltração total	155,500
1	(0 - 25) mm	Baixo escoamento	336,710
2	(25 - 50) mm	Escoamento médio	139,860
3	(50 - 75) mm	Alto escoamento	132,210
4	(75 - 100) mm	Escoamento total	400,230
Área total			1164,510

Fonte: O autor, 2019.

De acordo com os dados, ocorreram modificações consideráveis na área urbana, produziram mudanças drásticas no comportamento natural do solo e alteraram de maneira preocupante o processo natural de infiltração, principalmente em relação as áreas inicialmente capazes de promover algum tipo de infiltração e das áreas que já podiam ser descritas como de total impermeabilidade. No ano de 1989, as áreas consideradas de total infiltração cobriam uma área de 520,118 ha. Já no ano de 2019, esse valor foi reduzido para uma área de 155,500 ha, caracterizando assim a perda de 364,618 ha de áreas totalmente permeáveis ao longo destes 30 anos. As áreas onde ocorre escoamento superficial total da precipitação sobre elas ocorridas aumentaram seu tamanho de maneira considerável. Em 1989, as áreas onde ocorriam escoamento superficial total cobriam uma área de 191,504 ha. Já no ano de 2019, essas áreas chegam a ocupar um total de 400,230 ha, fato que assinala a perda total da capacidade de infiltração de uma área de 208,726 ha. Outra classe que teve perda em termos de área com capacidade de infiltração foi a de baixo escoamento superficial (0,1 – 25 mm de escoamento)

que sofreu uma redução de 74,089 ha, passando de 262,621 ha em 1989 para 336,710 ha em 2019. Já as classes de média (25 – 50 mm) e alta capacidade de escoamento (50 – 75 mm) sofreram pequenas variações em termo de área sofrendo aumentos de 41,051 ha e 40,054 ha respectivamente. Na Figura 22, os dados estão expressos de forma a permitir uma melhor visualização da variação da PEFT para os dois anos de estudo.

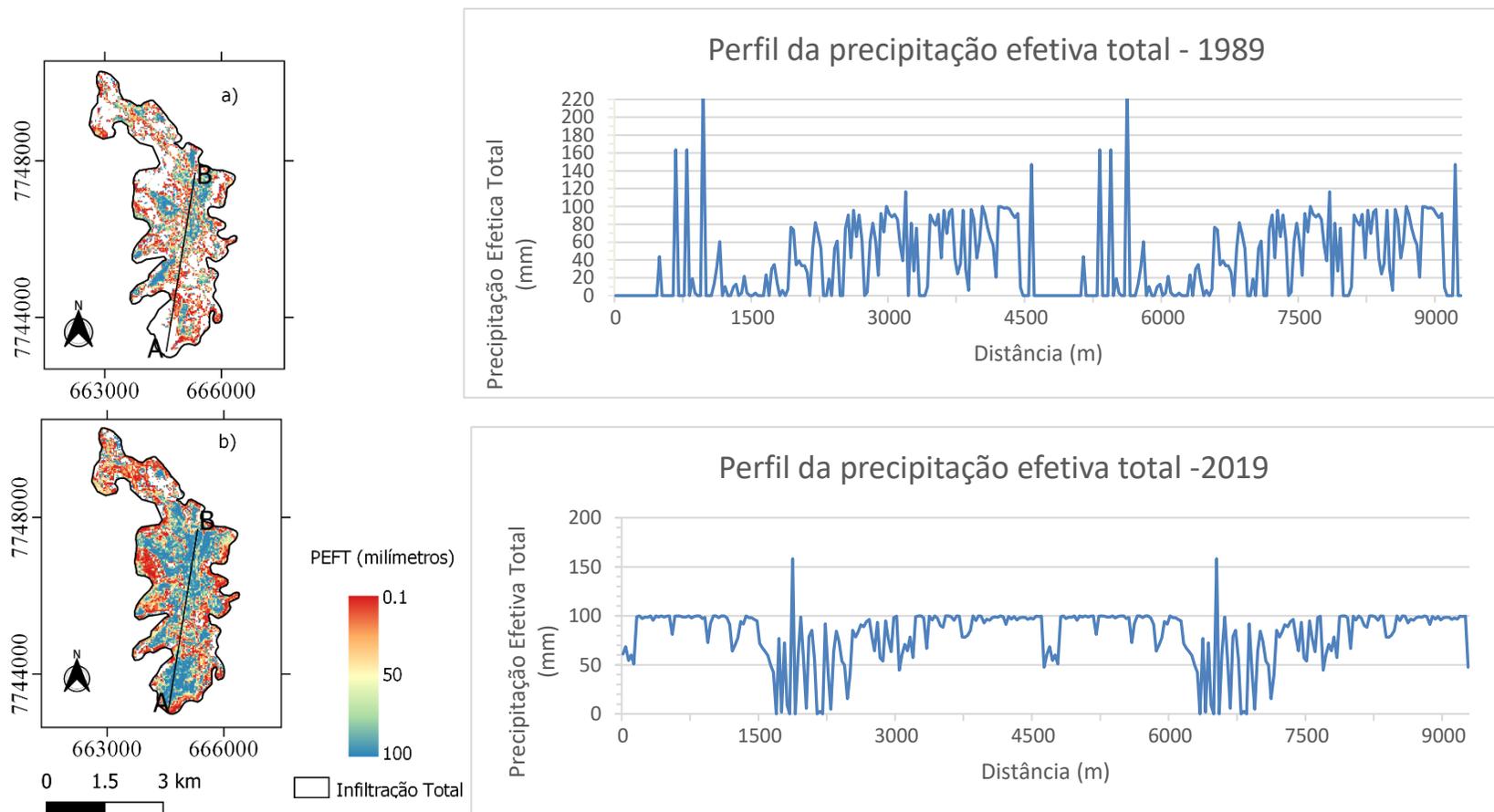
Figura 22: Representação gráfica comparativa entre a precipitação efetiva total para os anos de 1989 e 2019.



Fonte: O autor, 2019.

De maneira semelhante ao desenvolvido para os itens anteriores, a apresentação da espacialização da PEFT (Figura 23) corrobora e torna ainda mais perceptível as modificações ocorridas no solo da área urbana de Mariana. Pela análise da Figura 23 é possível compreender, de forma clara, o dano ambiental produzido pelo crescimento urbano sem o devido planejamento e que se leve em consideração as proteções dos entes naturais. É possível perceber que, no ano de 1989, a PEFT ao longo da área municipal possuía características variáveis ao longo do transecto A-B e que, após a completa impermeabilização do solo ao longo do transecto A-B, houve a quase total transformação da área, que passou a escoar em maior quantidade as precipitações que ali ocorrem.

Figura 23: Perfil de extração de valores e espacialização da precipitação efetiva total para a área urbana do município de Mariana.



Fonte: O autor, 2019.

6. CONCLUSÃO

Os resultados nesse trabalho demonstram a maneira como a expansão da área urbana interfere diretamente nas características iniciais do meio na qual estão inseridas, sobretudo na permeabilidade do solo e nos parâmetros relacionados diretamente a ela. Assim, pôde-se constatar também alterações que as referidas mudanças produziram na precipitação efetiva total da área de estudo.

Os dados produzidos evidenciaram, assim como esperado, a redução da cobertura vegetal pela comparação dos NDVI dos anos de 1989 e 2019, conforme observado na representação espacial do índice ao longo do transecto A-B. Foi possível observar o deslocamento gráfico dos valores NDVI, que em 1989 localizavam-se acima do valor de 0,3 ficando, em sua maioria, abaixo deste valor no ano de 2019.

O índice ISA apresentou a caracterização da impermeabilidade dos solos contidos na delimitação da área urbana. A quantificação dos dados, revelou a perda das áreas totalmente permeáveis, sendo possível quantificar que cerca 341,919 ha de áreas totalmente permeáveis, perderam tal característica ao longo destes 30 anos. Já os dados relacionados as áreas totalmente permeáveis mostraram que 255,901 ha de área se tornaram totalmente impermeáveis.

Foi possível verificar ainda, que a PEFT também foi transformada pelas modificações produzidas pela expressiva impermeabilização de grande parte do solo frente a expansão da zona urbana da cidade. Durante os 30 anos 208,726 ha foram impermeabilizados de tal forma que perderam totalmente sua capacidade de infiltração, passando assim, a escoar toda a precipitação sobre elas ocorridas.

Deste modo, pôde-se verificar que a utilização das técnicas de análise espacial temporal que utilizam imagens de satélite processados por métodos de geoprocessamento podem contribuir de maneira efetiva para compreensão dos fenômenos resultantes das transformações relacionadas à redução da cobertura vegetal e alterações das propriedades dos solos em decorrência das alterações das estruturas urbanas. Assim, verifica-se o alto potencial que tais técnicas possuem para auxiliar os agentes públicos em tomada de decisões referentes às modificações urbanísticas das áreas urbanas e suas implicações ao meio ambiente e recursos naturais. Ressalta-se ainda o fato de os trabalhos realizados não terem gerado nenhum tipo de

custo financeiro, dado que, tanto os arquivos base utilizados quanto o *software* em que tais dados foram processados, podem ser encontrados de maneira gratuita na internet, o que torna este tipo de técnica oportuno para entes públicos que dispõe de poucos recursos financeiros para elaboração de estudos ambientais.

Por fim, fica evidente a importância de se levar em consideração a influência do ordenamento urbano sobre as características dos solos nos processos de planejamento das áreas urbanas de maneira que sua permeabilidade natural seja preservada tendo em vista a relação direta da permeabilidade com a ocorrência de fenômenos como os processos erosivos e principalmente, as enchentes e inundações. Recomenda-se ao município de Mariana a elaboração de técnicas compensatórias de drenagem urbana nas áreas onde ocorrem as alterações na permeabilidade e escoamento superficial. Aconselha-se ainda, que o planejamento de uso e ocupação do solo leve em consideração a preservação da permeabilidade e do escoamento superficial naturais no parcelamento e criação de novas áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, Vera Mamede. **Planejamento, planos diretores e expansão urbana: fortaleza 1960-1992**. 2008. 264 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/12079?mode=full>> Acesso em 05 de set. 2019
- ANTUNES, A.F.B. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto em ambiente de geoprocessamento**. 2011. Apostila de SIG. UFPR. Geoprocessamento. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf>>. Acesso em 06 set. 2019.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. **Ilhas de calor em birigui/SP**. São Paulo. Revista Brasileira de Climatologia. vol. 1, n. 1, p. 121-130, dez 2015. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25234/16938>> Acesso em 16 de set. 2019.
- ARNOLD, Chester L. Jr.; GIBBONS, C. James. Impervious Surface Coverage: The emergence of a key Environmental Indicator. **Journal of the American Planning Association**. Chicago, IL. v 62, n 2, 1996. Disponível em: <https://www.esf.edu/cue/documents/ArnoldGibbons_ImperviousSurfaceCoverage_1996.pdf> Acesso e 30 de set 2019.
- BARBOSA JR, Antenor Rodrigues Barbosa. Escoamento Superficial. **Elementos da Hidrologia Aplicada**. S.D. Notas de Aula. p. 1-207.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**, 1988. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto das Cidades). **Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.** Brasília. 2001.

CHANDER, Gyanesh; MARKHAM, Brian. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post calibration Dynamic Ranges. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing.** vol. 41, n. 11, p. 2674-2677, nov. 2003. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/L5_TM_Cal_2003.pdf>. Acesso em 23 de set de 2019.

CARLSON, Toby N; ARTHUR, S. Traci. The impact of land use – Land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. Department of Meteorology, **Global and Planetary Change**, Pennsylvania State University, v. 25, p. 49-65, jun./ ago. 2000, Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818100000217> > Acesso em: 28 de set de 2019.

CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva; LABAKI, Lucilda Chebel; Caram. Rosana M; BASSO, Admir; FERNANDES, Mauro Roberto. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. Porto Alegre. **Revista Ambiente Construído.** v. 3, n. 2, p. 69-76, abr./ jun. 2003. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3452/1871> >. Acesso em 12 de dez. 2019.

CORRÊA T. L. 2006. **Bioacumulação de metais pesados em plantas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 157p.

DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos. **O Processo de Urbanização no Brasil**. São Paulo:

Editora Universidade de São Paulo, 1999, p. 242. Disponível em: <
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4449703/mod_resource/content/1/F1%C3%A1vio%20Villa%C3%A7a%20Uma%20contribuicao%20para%20a%20historia%20do%20planejamento%20urbano%20no%20Brasil.pdf> Acesso em 07 de set. 2019.

EMPRESA AGROPECUÁRIA DO BRASIL – EMBRAPA. LANDSAT – Land Remote

Sensing Satellite. **Satélites de monitoramento**. 2013. Disponível em:
<<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 7 set. 2019.

ENGECORPS, Engenharia- Produto 8 – **Relatório final do plano municipal de saneamento**

básico: município de mariana. 2014, p. 358. Disponível em: <
http://www.mariana.mg.gov.br/uploads/prefeitura_mariana_2018/arquivos_veja_tambem/produto-8-relatorio-final-do-pmsb-de-mariana.pdf> Acesso em 02 de out de 2019.

FONTES, Andreia Regina Martins; BARBOSA, Ademir Paceli. Diagnóstico e Prognóstico da

Ocupação e da Impermeabilização Urbanas. Brasil. **Revista brasileira de recursos hídricos**. volume 8, n. 2, p. 137–147, abr. a jun. 2003. Disponível em:<https://abrh.s3.saeast1.amazonaws.com/Sumarios/36/333321ad2e0442b968f474b40381eaa3_dc3b9defd64e615362eb9f6cfa30bcc1.pdf> Acesso em 12 de set. de 2019.

GUTIERREZ, Lorena Avelina Rojas Gutierrez; SOUZA, Gustavo Ferreira de Souza.

PEREIRA, Gabriel; FILHO, Antonio Conceição Paranhos Filho; ARIMA, Gilson Arimura; BARBOSA, Ademir Pereira. Mapeamento temporal dos índices: área de superfície impermeável e escoamento superficial da área urbanizada de campo grande. **Revista Caminhos**. v 12, n. 37, p. 269-288, mar. 2011. Disponível em: <
<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16403>>. Acesso em 03 de set de 2019.

JACINTO, Luiz Roberto Campos. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de unidades de conservação: o caso da área de proteção ambiental (APA) do Capivari-monos, São Paulo – SP.** 2003. 110f. Tese (Mestrado em recursos Minerais Hidrologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-14082003-230137/publico/jacinto.pdf>>. Acesso em 21 de nov 2019.

JATOBÁ, Sérgio Ulisses Silva. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. **Boletim regional, urbano e ambiental.** Instituto de pesquisa econômica e aplicada- (IPEA). 2011, p. 141-148. Disponível em: <
http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5567/1/BRU_n05_urbanizacao.pdf >
Acesso em 15 de set. de 2019

JENSEN, John R; EIPHANIO, José Carlos Neves; FORMAGGIO, Antônio Roberto; SANTOS, Athos Ribeiro dos; RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; ALMEIDA, Cláudia Maria de; GALVÃO, Lênio Soares. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos, SP: Parêntese 2011. 598p.

UGEDA JR, José Carlos. Planejamento da paisagem e planejamento urbanos: reflexões sobre a urbanização brasileira. **Revista Mato-Grossense de Geografia.** Cuiabá. v 17. n. 2, p. 101-116, jan./ jun. 2014. Disponível em:<
<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geografia/article/view/764/2853>>
Acesso em 12 de set de 2019.

KAUFFMANN, Márcia Oliveira. **Expansão urbana e qualidade de vida: proposta para desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade aplicados à legislação urbanística.** Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental Modalidade: Dissertação) - Centro

de Tecnologia e Ciências – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2003/PEAMB2003MOKauffmann.pdf>
> Acesso em 05 de set. 2019.

KURIYAMA, Bruna Tathiane. **Sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) na análise dos impactos referentes à cultura canavieira e reflorestamento: a subtração dos biomas nativos no município de Itirapina-SP.** Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro (SP), Rio Claro. 2009. Disponível em: <
https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119555/kuriyama_bt_tcc_rcla.pdf?sequence=1> Acesso em 05 de set de 2019.

KURKDJIAN. Maria de Lourdes Neves de Oliveira. **Aplicações de sensoriamento remoto ao planejamento urbano. São José dos Campos.** Instituto nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos. 1993. Disponível em: < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.01.39.40/doc/INPE%205530.pdf>>
Acesso em 05 de set. 2019.

LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W. (1994). Remote Sensing and Image Interpretation. **John Wiley & Sons, Inc.,** Hoboken, p. 750. Disponível em: <
https://www.academia.edu/13453234/REMOTE_SENSING_AND_IMAGE_INTERPRETATION_edited_by_Thomas_M._Lillesand_and_Ralph_W._Kiefer_John_Wiley_New_York_2000._No._of_pages_736._Price_29.95._ISBN_0_471_25515_7> Acesso em 07 de set. 2019. 2008.

MASCARENHAS, Luciane Martins de Araújo; FERREIRA, Manuel Eduardo; FERREIRA Laerte Guimarães. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. Uberlândia, **Revista Natureza & Sociedade**, 2009, v. 21, n. 1, p. 5-18. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v21n1/v21n1a01>>. Acesso em 03 de out. de 2019.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de; ROSA, Antônio Nuno de Castro Santa; SANO, Edson Eyji; SOUZA, Edilson Bias de; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. BRITES, Ricardo Seixas. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPq 2012. 266, p. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>> Acesso em 30 de ago. 2019.

MORAES, Elisabete Caria de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Capítulo 1. Departamento de sensoriamento remoto/ INPE. 2002. Disponível em:<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf>Acesso em: 05 de set. de 2019.

MOREIRA, Marcio Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1ª ed. São José dos Campos. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 246 p. Disponível em: <http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.20.14.47/doc/INPE_8465.pdf> Acesso em 05 de set. de 2019.

MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 388p.

- NOVO, Evelyn Márcia Leão de Moraes. PONZONI, Flávio Jorge. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3 ed. São José dos Campos – São Paulo, 2001. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf> Acesso em 05 de set. 2019.
- REZENDE, Denis Alcides. ULTRAMARI, Clovis. **Plano diretor e planejamento estratégico municipal: introdução teórico-conceitual**. Rio de Janeiro. 256 – 271, p. 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rap/v41n2/05.pdf>> Acesso em 09 de set. 2019.
- RIBEIRO, Edson Leite; Pessoa, MARTHA Bulcão. Os efeitos da radiação eletromagnética na vida do ser humano: uma análise do paradigma ambiental. **Revista tecnologia e sociedade**. 2007, v. 3, n. 5, p. 15-31. Disponível em: < <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/2502/1616> > Acesso em 15 de set de 2019.
- ROSENDO, Jussara dos Santos. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari - MG - utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 152.f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. Disponível em: < http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/jussara_santos.pdf > Acesso em 23 de set de 2019.
- SANTOS, Karla Azevedo, RUFINO, Iana Alexandra Alves, FILHO, Mauro Normando Macêdo Barros. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Campina Grande (PB). v. 22, n. 5, p. 943-952, set/out 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n5/1809-4457-esa-s1413-41522016146661.pdf>> Acesso em 05 de set de 2019.

SARTORI, Anderson. **Desenvolvimento de critérios para classificação hidrológica de solos e determinação de valores de referência para o parâmetro CN.** 237f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. 2010. Disponível em: <http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257878/1/Sartori_Aderson_D.pdf> Acesso em 02 de out de 2019.

SILVA, José Afonso da. **Direito urbanístico brasileiro**, São Paulo: Malheiros. 1997. 2.ed. 421p. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Alipson_Santos/dissertacao_Alipson_Santos.pdf> Acesso em 16 de set. de 2019.

SILVA, Fernanda Batista. **Análise dos efeitos combinados da ilha de calor urbana e da poluição do ar.** p. 300, 2016. Disponível em: <<http://mtcm21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm21b/2016/03.02.17.48/doc/publicacao.pdf?languagebutton=pt-BR>> Acesso em 16 de set. 2019.

SILVA, Lucia Sousa e Silva; TRAVASSOS, Luciana. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. **Cadernos da metrópole 19**, p. 27-47, 2008. Disponível em: <<http://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/viewFile/8708/6459> > Acesso em 25 de setembro de 2019.

SCHMIDT, Luiza de Oliveira; CACCIA, Lara; FELIN, Bruno. **A engrenagem urbana brasileira.** 2018. Disponível em:< https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/09/engrenagem-urbanabrasileira?gclid=EAIaIQobChMI2eScnvK_5AIVhAaRCh1alAyGEAAYASAAEgLqz_D_BwE > Acesso em 07 de set. 2019.

STEFFEN, Carlos Alberto; LORRENZZETTI, João Antônio; STECH, José Luiz.

Sensoriamento Remoto: princípios físicos, sensores e produtos e sistema LANDSAT. São José dos Campos: INPE, 1981. 81p. (INPE – 2226 – MD/013).

STEFFEN, Carlos Alberto. **Introdução ao sensoriamento remoto.** INPE. Divisão de Sensoriamento Remoto. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acesso em 06 de set. 2019.

TUCCI, Carlos E.M. **Água no meio urbano.** Instituto de pesquisas hidráulicas. Universidade Federal do Rio grande do Sul. 1997, p. 35. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacaotematica/ccr4/importacao/institucional/gruposdetrabalho/encerrados/residuos/documentosdiversos/outros_documentos_tecnicos/cursogestao-doterritorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf> Acesso em 15 de set. 2019.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Urban Hydrology for Small Watersheds.** Technical Release 55 (TR-55). Soil Conservation. Washington. 1986, p.164. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Urban+Hydrology+for+Small+watersheds#1>> Acesso em 30 de set 2019.

VASCONCELOS, Brychtn Ribeiro de. Sensoriamento Remoto na Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Amambaí – MS. Campo Grande. **48º Congresso Brasileiro de Economia, Administração e Sociologia Rural.** 25 a 28 de jul. 2010, 1-19 f. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/13175235-Sensoriamento-remoto-na-cobertura-do-solo-da-bacia-hidrografica-do-rio-amambai-ms-brychtn-gmail-com.html>> Acesso em 28 de nov. de 2019.

WENG, Qihao. Modeling Urban Growth Effects on Surface Runoff with the Integration of Remote Sensing and GIS. **Terre Haute**. Indiana State University. Environmental Management. vol. 28, No. 6, p. 737–748. Disponível em: < http://web2.uconn.edu/nemo/tools/impervious_surfaces/pdfs/Weng_2001.pdf > Acesso em 30 de set de 2019.

ANEXO I - Características dos sensores a bordo dos satélites da série LANDSAT

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Área Imageada
MSS - (Multispectral Scanner System) Satellites Landsat 1, Landsat 2, Landsat 3, Landsat 4 e Landsat 5	(B4) VERDE	0,5 – 0,6 μm	57 x 79 m	18 dias (L1-L3); 16 dias (L4-L5)	185 km
	(B5) VERMELHO	0,6 – 0,7 μm			
	(B6) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,7 – 0,8 μm			
	(B7) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,8 – 1,1 μm			
	(B8) INFRAVERMELHO TERMAL	10,41-12,6 μm			
TM - (Thematic Mapper) Satellites Landsat 4 e Landsat 5	(B1) AZUL	0,45 – 0,52 μm	30 m	16 dias	185 km
	(B2) VERDE	0,52 – 0,60 μm			
	(B3) VERMELHO	0,63 – 0,69 μm			
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,76 – 0,90 μm			
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1,55 – 1,75 μm			

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Área Imageada
TM –(Thematic Mapper) Satellites Landsat 4 e Landsat 5	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10,4 – 12,5 μm	120 m		
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2,08 – 2,35 μm	30 m		
OLI - (Operational Land Imager) Satellite Landsat 8	(B1) COSTAL	0,433 – 0,453 μm	30 m	16 dias	185 km
	(B2) AZUL	0,450 – 0,515 μm			
	(B3) VERDE	0,525 – 0,600 μm			
	(B4) VERMELHO	0,630 – 0,680 μm			
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,845 – 0,885 μm			
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1,560 – 1,660 μm			
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2,100 – 2,300 μm			
	(B8) PANCROMÁTICO	0,500 – 0,680 μm	15 m		
	(B8) Cirrus	1,360 – 1,390 μm	30 m		
TIRS - (Thermal Infrared Sensor) Satellite Landsat 8	(B10) LWIR - 1	0,30 – 11,30 μm	100 m	16 dias	185 km
	(B11) LWIR - 2	11,50 - 12,50 μm			

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2019).

ANEXO II - Formulações utilizadas no processo de correção atmosférica, produção do índice NDVI, da ISA e precipitação efetiva total.

Formulações utilizadas no processo de correção atmosférica, produção do índice NDVI, da ISA e precipitação efetiva total e processo de reclassificação de valores com exemplificação de formato de entrada para calculadora raster do *software* Qgis.

I. CORREÇÃO ATMOSFÉRICA: Bandas 3 e 4 do satélite LANDAST 5

- a) **Conversão de número digital (DN) para radiância:** A equação que permite a transformação de valores de número digital para radiância, descrita a baixo, bem como o valor de alguns dos parâmetros utilizados foram retirados seguem a metodologia descrita por Chander e Markham (2003, p. 2674 a 2677).

$$L_{\lambda} = G_{\text{rescale}} \times Q_{\text{cal}} + B_{\text{rescale}} \quad \text{Eq. 1. II}$$

Em que:

$$G_{\text{rescale}} = \frac{L_{\text{MAX}\lambda} - L_{\text{MIN}\lambda}}{Q_{\text{cal Max}}} \quad \text{Eq. 2. II}$$

$$B_{\text{rescale}} = L_{\text{MIN}\lambda} \quad \text{Eq. 3. II}$$

Assim substituindo-se as Equações 2.II e 3.II em 1.II tem-se que:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\text{MAX}\lambda} - L_{\text{MIN}\lambda}}{Q_{\text{cal Max}}} * Q_{\text{cal}} + L_{\text{MIN}\lambda} \quad \text{Eq. 4. II}$$

Sendo:

L_{λ} é o valor do pixel como radiância em $W / (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

Q_{cal} corresponde ao arquivo raster da banda a ser convertida;

$L_{\text{MIN}\lambda}$ é o valor de radiância máxima na banda λ (tabelado, disponível no artigo de referência);

$LMAX_{\lambda}$ é o valor de radiância máxima na banda λ (tabelado, disponível no artigo de referência);

$Q_{cal\ mix}$ = é o valor mínimo de número digital (DN = 0 para bandas do satélite LANDSAT 5);

$Q_{cal\ Max}$ = é o valor máximo de número digital (DN = 255 para bandas do satélite LANDSAT 5);

O formato de entrada da equação Eq. 4C para conversão DN para valores de radiância é descrito a seguir exemplificando-se a aplicação da correção de valores realizada para banda 3 do satélite LANDSAT 5 realizada no decorrer do trabalho. Os valores utilizados e a equação de entrada na calculadora raster foram: $LMAX_{\lambda} = 204,30$; $LMIN_{\lambda} = -1,17$; $Q_{cal\ Max} = 255$; $Q_{cal\ mix} = 0$; $Q_{cal} = \text{Arquivo raster correspondente a Banda 3}$.

O formato de entrada da equação na calculadora raster é:

(((204.30 - - 1.17) / 255) * "LANDSAT_5_TM_19890715_217_074_L2_BAND3@1") + - 1.17)

- b) **Conversão de Radiância para Reflectância:** A equação que permite a transformação de valores de radiância para reflectância, descrita a baixo, bem como o valor de alguns dos parâmetros utilizados foram retirados seguem a metodologia descrita por Chander e Markham (2003, p. 2674 a 2677).

$$\rho_p = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s} \text{ Eq. 5. II}$$

Em que:

ρ_p : representa os valores de reflectância;

L_{λ} é o valor do pixel como radiância em $W / (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; (arquivo raster gerado no passo anterior com valores de radiância para banda B3);

d^2 é o valor da distância Terra-sol em unidades astronômicas no dia do imageamento; (tabelado, disponível no artigo de referência);

$ESUN_{\lambda}$ expressa a irradiância espectral atmosférica do sol $W / (m^2 \cdot \mu m)$; (tabelado, disponível no artigo de referência);

$\cos\theta_s$ é o ângulo do zênite em graus (Valor que pode ser consultado no catálogo de imagens de satélite ou nos arquivos associados ao se baixar as imagens);

O formato de entrada da equação Eq. 4D para conversão de valores de radiância para reflectância é descrito a seguir exemplificando-se a aplicação da correção de valores realizada para banda 3 do satélite LANDSAT 5 realizada no decorrer do trabalho. Os valores utilizados são e a equação de entrada na calculadora raster foram: $\pi = 3,141592$; $L_\lambda =$ raster gerado no passo anterior; $d = 1,01650$; $ESUN_\lambda = 1554$; $\cos\theta_s = 33,3746$

O formato de entrada da equação na calculadora raster é:

$$(3.141592 * "rad_B3@1" * (1.01650 ^ 2)) / (1554 * \cos(33.3746))$$

II. ÍNDICE NDVI:

O índice NDVI é calculado pela formulação descrita pela Eq. 3 no capítulo da metodologia. O formato de entrada da equação NDVI na calculadora raster é apresentado a seguir, sendo B4 o arquivo raster referente a banda RED do satélite LANDAT 8 e o B5 o arquivo raster referente a banda NIR.

$$(B5-B4)/(B5+B4)$$

III. ÍNDICE ISA:

O índice ISA é calculado pela formulação descrita pela Eq. 9 no capítulo da metodologia. O formato de entrada da equação ISA na calculadora raster é apresentado a seguir, sendo NDVI o arquivo raster NDVI gerado no cálculo deste índice, $NDVI_o$ o valor médio de NDVI extraído de uma região de solo exposto e $NDVI_s$ o valor médio de NDVI extraído de uma região de vegetação densa.

$$(1 - (((NDVI - NDVI_o) / (NDVI_s - NDVI_o))^2))$$

IV. PRECIPITAÇÃO EFETIVA TOTAL - (PEFT)

A PEFT é calculada pela formulação descrita pela Eq. 14 no capítulo da metodologia. O formato de entrada da equação da PEFT na calculadora raster é apresentado a seguir, sendo o valor atribuído a precipitação (P) igual a 100 milímetros o parâmetro CN, substituído pelo arquivo raster gerado no cálculo do ISA.

$$((100-(0.2*((25400/ISA)-254)))^2)/(100+(0.8*((25400/ISA)-254)))$$

V. ARQUIVO COM REGRAS UTILIZADAS NO PROCESSO DE RECLASSIFICAÇÃO

- a) **Reclassificação do índice ISA:** O processo de reclassificação no software Qgis pode ser realizado através do uso do completo *r.reclas*. Para tal deve-se carregar arquivo no formato de texto (.txt) contendo as regras de reclassificação. A regra de reclassificação utilizadas para reclassificar o Índice ISA é apresentada a seguir.

```
0.0000 thru 25.0000 = 1
25.0001 thru 50.0000 = 2
50.0001 thru 75.0000 = 3
75.0001 thru 100.0000 = 4
end
```

- b) **Reclassificação da precipitação efetiva total:** Assim como para o Índice ISA, as regras de A regra de reclassificação utilizadas para reclassificar a PEFT é apresentada a seguir.

```
0.0000 thru 25.0000 = 1
25.0001 thru 50.0000 = 2
50.0001 thru 75.0000 = 3
75.0001 thru 100.0000 = 4
end
```

ANEXO III - Tabelas de valores para determinação do *curve number* (CN) pelo método tradicional

Tabela 1.III: CN para terras agrícolas^{1/}

----- Descrição da cobertura -----			CN para o grupo			
Tipo de cobertura	Tratamento ^{2/}	Condição hidrológica ^{3/}	A	B	C	D
<i>Sem cultivo</i> é o uso e tratamento que mantém a terra agrícola tão nua quanto possível para conservar umidade para o uso de uma cultura sucessiva.	Solo nu	---	77	86	91	94
		Deficiente	76	85	90	93
	CR	Boa	74	83	88	90
		Deficiente	72	81	88	91
	SR	Boa	67	78	85	89
		Deficiente	71	80	87	90
<i>Cultivo em linha</i> é qualquer campo cultivado (<i>milho, sorgo, soja, beterraba, tomate, tulipa</i>) plantado em linhas longe o suficiente que a maior parte da superfície do solo é exposta ao impacto da chuva durante o período de desenvolvimento. No período de plantio o cultivo é equivalente a terra não cultivada e pode novamente estar assim após a colheita.	SR + CR	Boa	64	75	82	85
		Deficiente	70	79	84	88
	C	Boa	65	75	82	86
		Deficiente	69	78	83	87
	C + CR	Boa	64	74	81	85
		Deficiente	66	74	80	82
	C & T	Boa	62	71	78	81
		Deficiente	65	73	79	81
	C & T + CR	Boa	61	70	77	80
		Deficiente	65	76	84	88
	SR	Boa	63	75	83	87
		Deficiente	64	75	83	86
SR + CR	Boa	60	72	80	84	
	Deficiente	63	74	82	85	
C	Boa	61	73	81	84	
	Deficiente	62	73	81	84	
C + CR	Boa	60	72	80	83	
	Deficiente	61	72	79	82	
C & T	Boa	59	70	78	81	
	Deficiente	60	71	78	81	
C & T + CR	Boa	58	69	77	80	
	Deficiente	66	77	85	89	
<i>Semeadura densa ou semeadura de legumes ou rotação de gramíneas (alfafa, meliloto, capim-de-rebanho, e combinações destes)</i> são plantados em linhas próximas ou espalhados. Este tipo de cobertura pode permanecer por mais de um ano para que seja dada a proteção ao solo durante o ano todo.	SR	Boa	58	72	81	85
		Deficiente	64	75	83	85
	C	Boa	55	69	78	83
		Deficiente	63	73	80	83
	C & T	Boa	51	67	76	80

1/ Condição média de escoamento e $I_a = 0,25$.

2/ CR: cobertura com resíduos culturais; SR: plantio em linha reta, obliquamente ou no sentido da declividade; SR + CR: plantio em linha reta com resíduos culturais na superfície; C: plantio em contorno; C + CR: plantio em contorno com resíduos culturais na superfície; C & T: plantio em contorno com terraceamento; C & T + CR: plantio em contorno com terraceamento e resíduos culturais na superfície.

3/ A condição hidrológica está baseada nas combinações dos fatores que afetam a infiltração e o escoamento, incluindo (a) dossel e densidade das áreas vegetativas, (b) quantidade de cobertura no ciclo de um ano, (c) quantidade de grama ou semeadura de legumes, (d) porcentagem da superfície de terra coberta com resíduos (boa $\geq 20\%$), e (e) grau de resistência superficial.

Deficiente: Fatores impedem a infiltração e tendem a aumentar o escoamento.

Boa: Fatores melhoram a infiltração e tendem a reduzir o escoamento.

Prática conservacionista "Deficiente": 5 a 20 % da superfície é coberta com resíduo (menos que 840 kg/ha para cultivos em linha ou 370 kg/ha para pequenos grãos).

Prática conservacionista "Boa": mais do que 20 % da superfície é coberta com resíduo (mais que 840 kg/ha para cultivos em linha ou 370 kg/ha para pequenos grãos).

Tabela 2.III: Valores de CNs para outros usos agrícolas.

----- Descrição da cobertura -----		CN para o grupo				
Tipo de cobertura	Tratamento ^{2/}	Condição hidrológica ^{3/}	A	B	C	D
<i>Pastagem</i> com forragem contínua para pastoreio ^{4/}		Deficiente	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Boa	39	61	74	80
<i>Prados</i> (grama contínua, protegida do pastoreio e geralmente ceifada para feno)		---	30	58	71	78
<i>Capoeira</i> (Mistura de arbustos, gramíneas e herbáceas florescentes, sendo os arbustos em maior quantidade) ^{5/}		Deficiente	48	67	77	83
		Regular	35	56	70	77
		Boa	30 ^{6/}	48	65	73
<i>Combinação de bosques (pomares ou árvores) e gramíneas</i> ^{7/}		Deficiente	57	73	82	86
		Regular	43	65	76	82
		Boa	32	58	72	79
<i>Bosques</i> (pequenos aglomerados de árvores dispostas proximamente entre si) ^{8/}		Deficiente	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Boa	30	55	70	77
<i>Sede de fazendas</i> - construções, caminhos pavimentados, entrada para carros e lotes adjacentes		---	59	74	82	86
<i>Estradas de terra</i> (incluindo faixa de domínio)		---	72	82	87	89
<i>Estradas pedregulhadas</i> (incluindo faixa de domínio)		---	76	85	89	91

1/ Condição média de escoamento e $la = 0,2.S$.

3/ A condição hidrológica:

4/ Deficiente: < 50% da superfície está coberta ou muito pastoreada sem vegetal em decomposição.
Regular: 50 a 75% da superfície está coberta ou não muito pastoreada.
Boa: > 75% da superfície está coberta ou ocasionalmente pastoreada.

5/ Deficiente: < 50% da superfície está coberta.
Regular: 50 a 75% da superfície está coberta.
Boa: > 75% da superfície está coberta.

8/ Deficiente: Liteira, pequenas árvores, e arbustos são destruídos pelo pastoreio intensivo ou pelas queimadas regulares.
Regular: Os bosques são pastoreados, mas não queimados, e alguma liteira cobre o solo.
Boa: Os bosques são protegidos do pastoreio, e a liteira e os arbustos cobrem adequadamente o solo.

6/ Se o verdadeiro CN for menor do que 30, use 30 para a estimativa do escoamento.

7/ Os CNs apresentados foram estimados para áreas com 50% de bosques e 50 por cento de gramíneas (pastagem). Outras combinações podem ser estimadas a partir dos CNs para bosques e pastagens.

Fonte: SARTORI em adaptação de NRSC 2010.

Tabela 3.III: Valores CN para áreas urbanas^{1/}

Descrição da cobertura Tipo de cobertura e condição hidrológica	Porcentagem média da área impermeável ^{2/}	CN para o grupo			
		A	B	C	D
Áreas urbanas desenvolvidas (vegetação existente)					
Espaço aberto (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.) ^{3/}					
Condição deficiente (cobertura com grama < 50%)		68	79	86	89
Condição regular (cobertura com grama 50 a 75%)		49	69	79	84
Condição boa (cobertura com grama > 75%)		39	61	74	80
Áreas Impermeáveis:					
Estacionamentos pavimentados, telhados, entrada para carros em moradias, etc. (excluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Ruas e rodovias:					
Pavimentadas com calçadas, guias e galeria de drenagem (não incluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Pavimentadas com canais abertos (incluindo faixa de domínio)		83	89	92	93
Pedregulhadas (incluindo faixa de domínio)		76	85	89	91
De terra (incluindo faixa de domínio)		72	82	87	89
Áreas urbanas no deserto (meio oeste dos EUA):					
Paisagem natural do deserto (somente áreas permeáveis) ^{4/}		63	77	85	88
Paisagem artificial do deserto (barreiras impermeáveis com ervas, arbustos do deserto com 25 a 50 mm de material em decomposição com areia ou pedregulho na borda do caule)		96	96	96	96
Zonas urbanas:					
Comerciais e serviços	85%	89	92	94	95
Industriais	72%	81	88	91	93
Residenciais pela média do tamanho dos lotes:					
500 m ² ou menor (casas de cidades)	65%	77	85	90	92
1000 m ²	38%	61	75	83	87
1350 m ²	30%	57	72	81	86
2000 m ²	25%	54	70	80	85
4000 m ²	20%	51	68	79	84
8000 m ²	12%	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento					
Áreas alteradas recentemente (somente áreas permeáveis, sem vegetação)		77	86	91	94

1/ Condição média de escoamento e Ia = 0,2.S.

2/ As porcentagens apresentadas de área impermeabilizada foram usadas para desenvolver os CNs compostos. Outras suposições são: áreas impermeáveis diretamente conectadas ao sistema de drenagem, áreas impermeáveis têm um CN de 98, e as áreas permeáveis são consideradas equivalentes a espaços abertos em boa condição hidrológica.

3/ Os CNs apresentados são equivalentes àqueles de pastagem. CNs compostos podem ser estimados para outras combinações de espaço aberto.

Fonte: SARTORI em adaptação de NRSC 2010.