

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA

**DETERMINAÇÃO DE ÁREAS
IMPERMEÁVEIS POR MEIO DE
FERRAMENTAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

PEDRO AUGUSTO GONZAGA MOREIRA

GOIÂNIA
2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Pedro Augusto Gonzaga Moreira

3. Título do trabalho

Determinação de áreas impermeáveis por meio de ferramentas de geoprocessamento

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Clementino Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 13/09/2021, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **PEDRO AUGUSTO GONZAGA MOREIRA, Usuário Externo**, em 13/09/2021, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2342553** e o código CRC **7C560A77**.

Referência: Processo nº 23070.048871/2021-19

SEI nº 2342553

PEDRO AUGUSTO GONZAGA MOREIRA

**DETERMINAÇÃO DE ÁREAS
IMPERMEÁVEIS POR MEIO DE
FERRAMENTAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Augusto Mendes

GOIÂNIA
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Moreira, Pedro Augusto Gonzaga

Determinação de áreas impermeáveis por meio de ferramentas de geoprocessamento [manuscrito] / Pedro Augusto Gonzaga Moreira. - 2021.

LXX, 70 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira; co-orientador Dr. Thiago Augusto Mendes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Goiânia, 2021.

Bibliografia.

Inclui mapas, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Impermeabilização. 2. InterImage. 3. Geoprocessamento. 4. Goiânia. I. Ferreira, Nilson Clementino, orient. II. Título.

CDU 628.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **006** da sessão de Defesa de Dissertação de **Pedro Augusto Gonzaga Moreira**, que confere o título de Mestre em **Engenharia Ambiental e Sanitária**, na área de concentração em **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**.

Aos **dezoito dias do mês de agosto de dois mil e vinte e um**, a partir das **quatorze horas**, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**Determinação de áreas impermeáveis por meio de ferramentas de geoprocessamento**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Nilson Clementino Ferreira (PPGEAS/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Maíra Barberi (PUC/GO)**, membro titular externo; Professor Doutor **Klebber Teodomiro Martins Formiga**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Nilson Clementino Ferreira**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao **dezoito dias do mês de agosto de dois mil e vinte e um**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Clementino Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 18/08/2021, às 15:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Klebber Teodomiro Martins Formiga, Professor do Magistério Superior**, em 18/08/2021, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MAIRA BARBERI, Usuário Externo**, em 18/08/2021, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2239499** e o código CRC **3701C683**.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

Aos meus pais, Wagner e Luciana, minha irmã, Anna Carolina, e minha namorada, Lana, por todo apoio e incentivo não só durante o mestrado, mas durante toda minha vida.

Aos meus amigos e familiares que me auxiliaram de alguma forma nesse período.

Aos meus colegas do PPGEAS com quem compartilhei momentos difíceis e de aprendizagem.

Ao meu orientador, Professor Dr. Nilson Clementino Ferreira, pela orientação e apoio.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Thiago Augusto Mendes, pelas orientações e companheirismo desde a graduação.

À Universidade Federal de Goiás (UFG), por meio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária (PPGEAS), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Aos professores do PPGEAS, pelos ensinamentos recebidos durante o mestrado.

RESUMO

O processo de urbanização acelerado das cidades associado à falta de planejamento por parte do poder público pode gerar impactos ambientais, sociais e econômicos significativos. Devido à esse crescimento urbano, a impermeabilização do solo surge como um dos principais fatores associados a esses impactos, tornando-se inclusive um indicador não só do grau de urbanização, mas também de qualidade ambiental. A cidade de Goiânia foi planejada inicialmente para 50 mil habitantes, no entanto, hoje compreende mais de 1,2 milhões de habitantes. Diante disso, torna-se justificável determinar o percentual de áreas impermeabilizadas do perímetro urbano da cidade de Goiânia, estado de Goiás, Brasil, assim como, determinar a qualidade da drenagem nos setores censitários, gerando um produto que subsidiar a tomada de decisão por parte dos gestores públicos. Para tanto, utilizou-se a técnica de classificação orientada a objeto implementada no *software* gratuito InterImage. O mapa de qualidade de drenagem foi gerado por meio do cruzamento das áreas impermeabilizadas, o mapa de índice de umidade (TWI) e os dados de acesso a equipamentos de microdrenagem. O resultado da classificação final ficou com índice *Kappa* 85%, considerado excelente. As regiões da área de estudo com maiores índices de impermeabilização foram: central e sul com 73 e 71%, respectivamente. As demais regiões apresentaram índices de impermeabilização próximos a 50%. Deve-se, no entanto, destacar a região norte que se encontra 35% urbanizada sendo que de acordo com a carta de risco de Goiânia essa região deveria ser preservada. Em relação ao *software* InterImage deve-se apontar a limitação do mesmo em relação a quantidade máxima de pixel que o mesmo consegue processar. O mapa de qualidade de drenagem urbana gerado, identificou-se que aproximadamente 70% da área de estudo encontra-se como muito desfavorável e desfavorável, fato esse diretamente relacionado ao alto grau de impermeabilização atual da área de estudo.

Palavras-chave: Impermeabilização. InterImage. Geoprocessamento. Goiânia.

ABSTRACT

The accelerated urbanization process associated with the government's lack of planning generates environmental, social and economic impacts. Inherent in the urbanization process, impervious surface coverage appears as one of the main factors that generate these impacts, even becoming an indicator not only of the degree of urbanization, but also of environmental quality. Goiânia was planned for 50 thousand inhabitants, however, today it has more than 1.2 million inhabitants. Therefore, it is justifiable to determine the percentage of impermeable areas in the urban perimeter of the city of Goiânia, state of Goiás, Brazil, as well as to determine the quality of drainage in the census sectors, generating a product that supports decision-making by public managers. For that, we used the object-oriented classification technique implemented in the free InterImage software. The drainage quality map was generated by crossing the impermeable areas, Topographic Wetness Index (TWI) map and access to micro-drainage equipment. The result of the final classification was Kappa index 85%, considered excellent. The regions of the study area with the highest waterproofing rates were: central and south with 73 and 71%, respectively. The other regions had waterproofing rates close to 50%. However, it should be noted that the northern region is 35% urbanized, and according to the Goiânia risk map, this region should be preserved. In relation to the InterImage software, one should point out its limitation in relation to the maximum amount of pixel it can process. The urban drainage quality map generated identified that approximately 70% of the study area is found to be very unfavorable and unfavorable, a fact directly related to the current high degree of waterproofing of the study area.

Key words: Impervious surface. InterImage. Geoprocessing. Goiânia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Crescimento da área urbana do município de Goiânia entre 1986 e 2010.....	21
Figura 2- Alterações no ciclo hidrológico associadas à impermeabilização	23
Figura 3 - Inundações e alagamentos.....	25
Figura 4 - Espacialização das inundações em Goiânia	26
Figura 5 - Pontos de inundação e alagamentos entre 2000 e 2013	27
Figura 6 - Estrutura geral de uma aplicação SIG.....	30
Figura 7 - Sobreposição de PIs	31
Figura 8 - Componentes do processo de análise.....	35
Figura 9 - Localização e discretização da área de estudo para implementação da ferramenta GEOBIA.....	37
Figura 10 - Fluxograma metodológica da ferramenta GEOBIA utilizada.....	40
Figura 11 - Resultado das áreas impermeáveis do solo da região metropolitana de Goiânia, estado de Goiás, Brasil.....	46
Figura 12 - Percentual de permeabilidade e impermeabilidade do solo das regiões da cidade de Goiânia.....	48
Figura 13 - Níveis de impermeabilização da região Central de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA.....	49
Figura 14 - Níveis de impermeabilização região Sul de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA.....	50
Figura 15 - Parques públicos urbanos da região Sul de Goiânia	51
Figura 16 - Níveis de impermeabilização da região Sudeste de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA	52
Figura 17 - Níveis de impermeabilização da região Noroeste de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA	53

Figura 18 - Percentual de impermeabilidade bairros das regiões Norte.....	54
Figura 19 - Percentual de impermeabilidade bairros das regiões Leste	55
Figura 20 - Níveis de impermeabilização da região Oeste de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA.....	56
Figura 21 - Morro do Mendanha (Região Oeste de Goiânia).....	57
Figura 22 - Qualidade da drenagem urbana nos setores censitários de Goiânia	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice Kappa	43
Tabela 2 - Padronização dos parâmetros relacionados a qualidade da drenagem urbana.....	45
Tabela 3 - Matriz de Confusão.....	47
Tabela 4 - Relação de distribuição das classes de qualidade de drenagem para cada setor censitário da cidade de Goiânia x pontos de inundações	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI – Áres Impermeáveis

AMMA - Agência Ambiental Municipal de Goiânia

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DPI/INPE - Divisão de Processamento de Imagens

DSR/INPE - Divisão de Sensoriamento Remoto

GEOBIA – Geographic Object-Based Image Analysis

GIS - *geographic information system*

GLI - *Ground Level Image Analysis*

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LVC-DEE/PUCRJ - Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

MDS – Modelo digital de superfície

MDT – Modelo digital de terreno

MUBDG - Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia

NDVI - Índice de vegetação normalizado

PDIG - Plano de Desenvolvimento Integrado de Goiânia

PI – Plano de Informação

PUC-Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Seinfra - Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana

SEPLANH - Secretária Municipal de Planejamento e Habitação

SIG - sistemas de informação geográfica

TWI - *Topographic Wetness Index*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	RELATO HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA.....	20
2.2	IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	22
2.3	INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS	24
2.4	GEOPROCESSAMENTO	28
2.5	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - SIG	29
2.6	SENSORIAMENTO REMOTO	31
2.7	CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS	32
2.8	TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX (TWI).....	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	ÁREAS DE ESTUDOS.....	37
3.2	METODOLOGIA	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades associado ao baixo nível de planejamento por parte do poder público constituem uma das principais causas de problemas ambientais urbanos com reflexos na parte econômica e social. Isso mostra a importância de se equilibrar desenvolvimento e o uso dos recursos naturais. No entanto, esse desenvolvimento está diretamente relacionado às mudanças no meio físico que envolvem principalmente a diminuição de áreas permeáveis por meio da impermeabilização do solo, diminuição da cobertura vegetal e aumento da velocidade de escoamento das águas superficiais (FOLEY *et al.*, 2005; TUCCI, 2009).

Superfícies impermeabilizadas são definidas como qualquer área coberta por material de origem natural ou antropogênica que impossibilite ou diminua a infiltração da água no solo, como: pavimentação do sistema viário, calçadas, estacionamentos e até mesmo alguns tipos de solos e rochas (SLONECKER *et al.*, 2001). Diante disso, o índice de impermeabilização surge não só como um importante indicador do grau de urbanização mas, também como um indicador de qualidade ambiental (WENG, 2012).

Tucci (2005) relata que, com a impermeabilização do solo, a água que infiltrava, passará a escoar através das superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento das estruturas hidráulicas. Com isso, essa prática se tornou uma das principais causas das inundações e deslizamentos em áreas urbanas, pois, diminui as áreas verdes, reduz a capacidade de infiltração de água no solo e aumenta a capacidade de escoamento, devido a adoção de condutos e superfícies que facilitam a rápida movimentação da água (TUCCI, 2009).

Nesse contexto, o mapeamento de superfícies impermeáveis torna-se relevante do ponto de vista socioeconômico e ambiental, sendo necessário, portanto, a avaliação adequada dos procedimentos metodológicos cabíveis à concretização desta análise (MARTINS *et al.*, 2018).

Weng (2012) aponta que inicialmente as técnicas para caracterizar e quantificar superfícies impermeáveis envolviam processos manuais de medições de solo ou dados detectados remotamente. Contudo, com a rápida urbanização, o processo manual de levantamento e análise da cobertura do solo pode ser trabalhoso, demorado, cansativo, ineficiente e ineficaz (HENDRYLI *et al.*, 2019). Com isso, o sensoriamento remoto tornou-se a principal tecnologia para identificar superfícies impermeáveis em áreas urbanas devido ao seu

baixo custo, ampla cobertura e ciclos de revisão frequentes (FRIEDL *et al.*, 2002; SONG *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2018).

Lu *et al.* (2011) apontam que estudos envolvendo sensoriamento remoto e mapeamento de superfícies impermeabilizadas são objetos de pesquisa desde a década de 70, destacando ainda a importância da evolução no que diz respeito à qualidade das imagens de satélite, principalmente no tocante à resolução espacial. Concluem que a princípio existiam apenas imagens com baixa resolução (maior que 30m) o que dificultava a obtenção de um trabalho consistente e satisfatório do ponto de vista técnico, pois, a baixa qualidade das imagens associado a uma grande variação de usos do solo, observada nos grandes centros urbanos, fazia com que ocorressem problemas como misturas de pixel.

No entanto, com o desenvolvimento tecnológico surgiram as imagens de satélite de média (2 a 30m) e alta resolução (menor que 2m) possibilitando estudos mais detalhados em relação à impermeabilização do solo em meio urbano. Martins *et al.* (2018) citam a revisão sistemática feita por Weng (2012) e Lu *et al.* (2013) em que detalham os diversos métodos empregados no mapeamento das superfícies impermeáveis em áreas urbanas, como: o uso de análise de regressão (ELVIDGE *et al.*, 2004; BAUER, LOFFELHOLZ, WILSON, 2007), redes neurais artificiais (CANTERS *et al.*, 2006), modelos de árvore de regressão CART (*Classification and regression trees*) (YANG *et al.*, 2003; CANTERS *et al.*, 2006; VAN DE VOORDE *et al.*, 2011) e modelo linear de mistura espectral (MLME) (VAN de VOORDE, *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2009; WU, 2009; YANG *et al.*, 2010).

Destaca-se ainda a aplicação da técnica denominada classificação orientada a objetos (*GEOBIA – Geographic Object-Based Image Analysis*) que consiste basicamente na segmentação dos objetos da imagem, delimitando limites com regiões homogêneas, em vez de analisar os pixels independentemente de sua localização (DESCLÉE; BOGAERT; DEFOURNY, 2006). Lichtblau e Oswald (2019) apontam ainda que diferentemente das abordagens tradicionais de classificação baseadas em pixel, que se concentram apenas nas características espectrais dos materiais de superfície, a GEOBIA divide e classifica uma imagem de acordo com as características de forma, cor e textura dos agrupamentos de pixels, gerando uma classificação mais próxima da realidade.

Dentre as ferramentas disponíveis para se aplicar as técnicas de GEOBIA destaca-se *softwares* proprietários, como: *Definiens Developer* (DEFINIENS, 2007), e *Cognition* e *Geomatica*, no

entanto, o alto custo na obtenção de suas licenças associado ao fato de serem sistemas de código fechado limitam o acesso e os algoritmos que os compõem.

Diante das limitações impostas pelos *softwares* pagos, os chamados sistemas de códigos abertos ou livres vêm ganhando espaço no meio acadêmico. Em relação a GEOBIA, pode-se destacar o sistema computacional de interpretação de imagens InterIMAGE (InterIMAGE, 2009). Rodrigo e Kux (2015) explicam que o InterIMAGE é um *software* livre que permite trabalhar com a análise geográfica de imagem orientada a objeto. Foi desenvolvido em cooperação entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LVC-DEE/PUCRJ) e a Universidade Leibniz de Hannover (Alemanha).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo determinar o percentual de áreas impermeabilizadas do perímetro urbano da cidade de Goiânia, estado de Goiás, Brasil, utilizando técnicas de geoprocessamento do tipo GEOBIA, através do software InterImage, e imagem de alta resolução espacial, bem como, gerar um mapa de qualidade de drenagem urbana buscando assim auxiliar a tomada de decisão na gestão da drenagem urbana do município.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar o percentual de áreas impermeáveis do perímetro urbano de Goiânia;
- Buscar identificar as relações entre o percentual de áreas impermeáveis e o desenvolvimento das regiões da capital goiana;
- Espacializar e buscar relação entre as áreas com maiores índices de impermeabilidade e pontos de alagamentos e inundação;
- Avaliar a acurácia da classificação

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RELATO HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA

Goiânia foi fundada em 24 de outubro de 1933, através do lançamento da pedra fundamental da nova capital goiana, em local onde hoje se localiza o Palácio das Esmeraldas, sendo, portanto, uma capital relativamente jovem tendo em vista os padrões brasileiros, cujas cidades mais antigas remetem ao século XVI (BERNADES *et al.*, 2017, NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2015).

Pedro Ludovico Teixeira, interventor federal do então presidente do Brasil Getúlio Vargas, delegou ao urbanista Attilio Corrêa Lima a função de elaborar o projeto da nova capital de Goiás, sendo reformulado posteriormente por Armando de Godoy (BERNADES *et al.*, 2017).

Planejada inicialmente para 50 mil habitantes, a nova capital de Goiás já contava com um crescimento demográfico superior ao planejamento inicial entre os anos de 1940 e 1950. Por possuir características atrativas, tais como a chegada da estrada de ferro, em 1951, a retomada da política de interiorização de Getúlio Vargas, de 1951 a 1954, a inauguração da Usina do Rochedo, em 1955, e a construção de Brasília, de 1954 a 1960, Goiânia recebeu forte fluxo de imigrantes, sobretudo advindos dos estados de Maranhão, Pará, Piauí, Bahia e Minas Gerais (CINTRA, 2010; RIBEIRO, 2004).

A partir de 1970, Goiânia expandiu expressivamente seus parcelamentos urbanos, chegando ao ano de 1980 com 700 mil habitantes, sendo que desse total apenas 2% da população residia em área rural (LINO, 2013).

Neste mesmo período é possível observar o início do processo de verticalização iniciando-se nos setores mais antigos como Centro e Oeste (MORAES, 1991). No século XXI este fenômeno tornou-se disperso pelo espaço urbano acompanhado, também pela forte proliferação de condomínios fechados (NASCIMENTO, 2011).

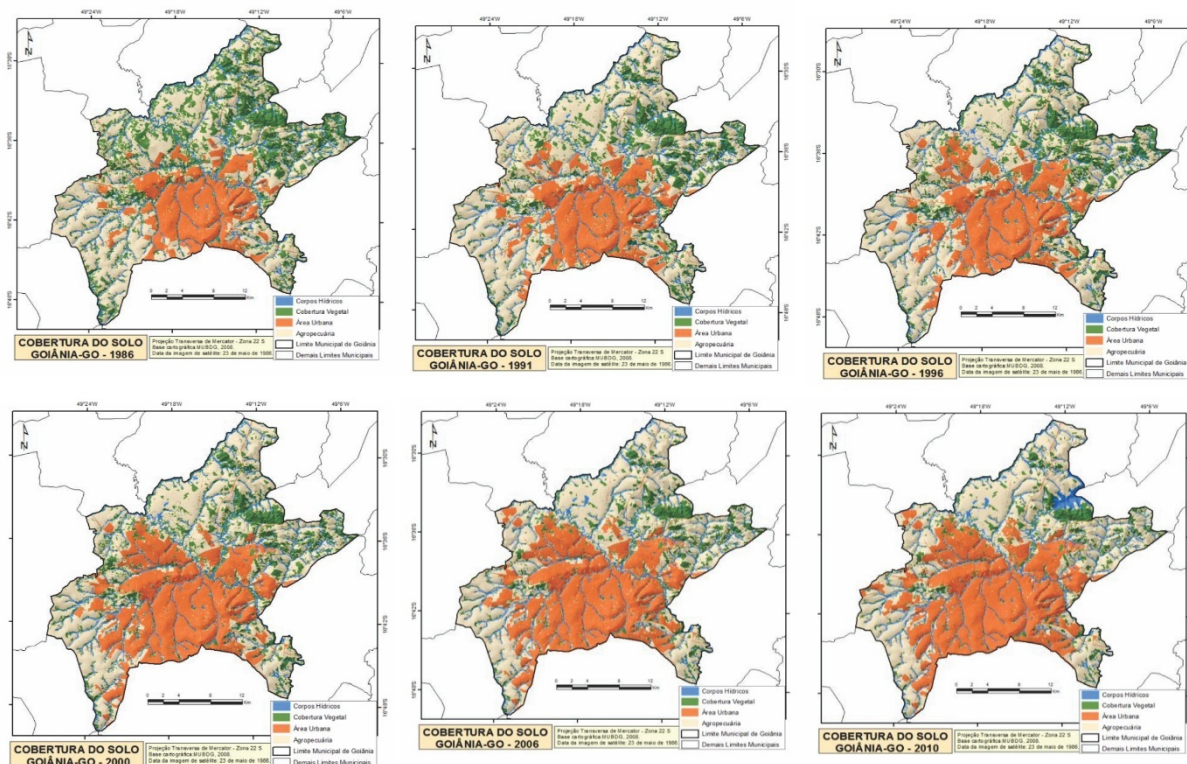
Corrêa (1981) resume o crescimento de Goiânia em cinco momentos: 1) de 1933 a 1935, com a implantação do Plano Diretor; 2) em 1938, crescimento da malha urbana em sentido sul (ampliação do setor sul); 3) de 1940 a 1950, crescimento da cidade no sentido leste-oeste em direção ao núcleo urbano existente antes de 1935 – Campinas; 4) de 1950 a 1960, expansão

rumo a oeste e estendendo-se para o Sul; e 5) após 1960, uma expansão mais desordenada, com a formação de vários núcleos habitacionais separados por enormes vazios demográficos.

Rezende (2019) atribui essa expansão desordenada a partir da década 1960 à perda progressiva de controle por parte do Estado sobre o território. No final dos anos 1990 e início do século XXI, com a expansão do agronegócio, ocorreu no Centro-Oeste houve um aumento importante de oportunidades de negócios, principalmente com a instalação de algumas indústrias, o que intensificou ainda mais os loteamentos irregulares e invasões (LINO, 2013).

Nascimento e Oliveira (2015) mapearam o processo de crescimento urbano de Goiânia no período entre 1986 e 2010 (Figura 1).

Figura 1- Crescimento da área urbana do município de Goiânia entre 1986 e 2010



Fonte: Nascimento e Oliveira (2015)

Os autores destacam que no período entre 1996 e 2006 é observado um processo de preenchimento dos chamados vazios intraurbanos, apontados inicialmente por Corrêa a partir da década de 1960 devido ao crescimento desorganizado. Esse processo de preenchimento dos vazios intraurbanos consolida-se no período entre 2006 e 2010.

Como resultado desse processo de urbanização acelerado e sem planejamento definitivo Goiânia apresenta diversos problemas ambientais como pode ser observado nos trabalhos de Santos e Carvalho (1997) e Nascimento (1994) que analisaram diferentes processos erosivos; redução de cerca de 50% da cobertura vegetal no período entre 1980 e 2010, conforme apontado por Streglio, Nascimento e Oliveira (2012); perda de qualidade de água; intensificação de fenômenos como inundações e alagamentos como observado nos trabalhos de Santos e Romão (2010), Rego (2015) e Luiz e Romão (2019).

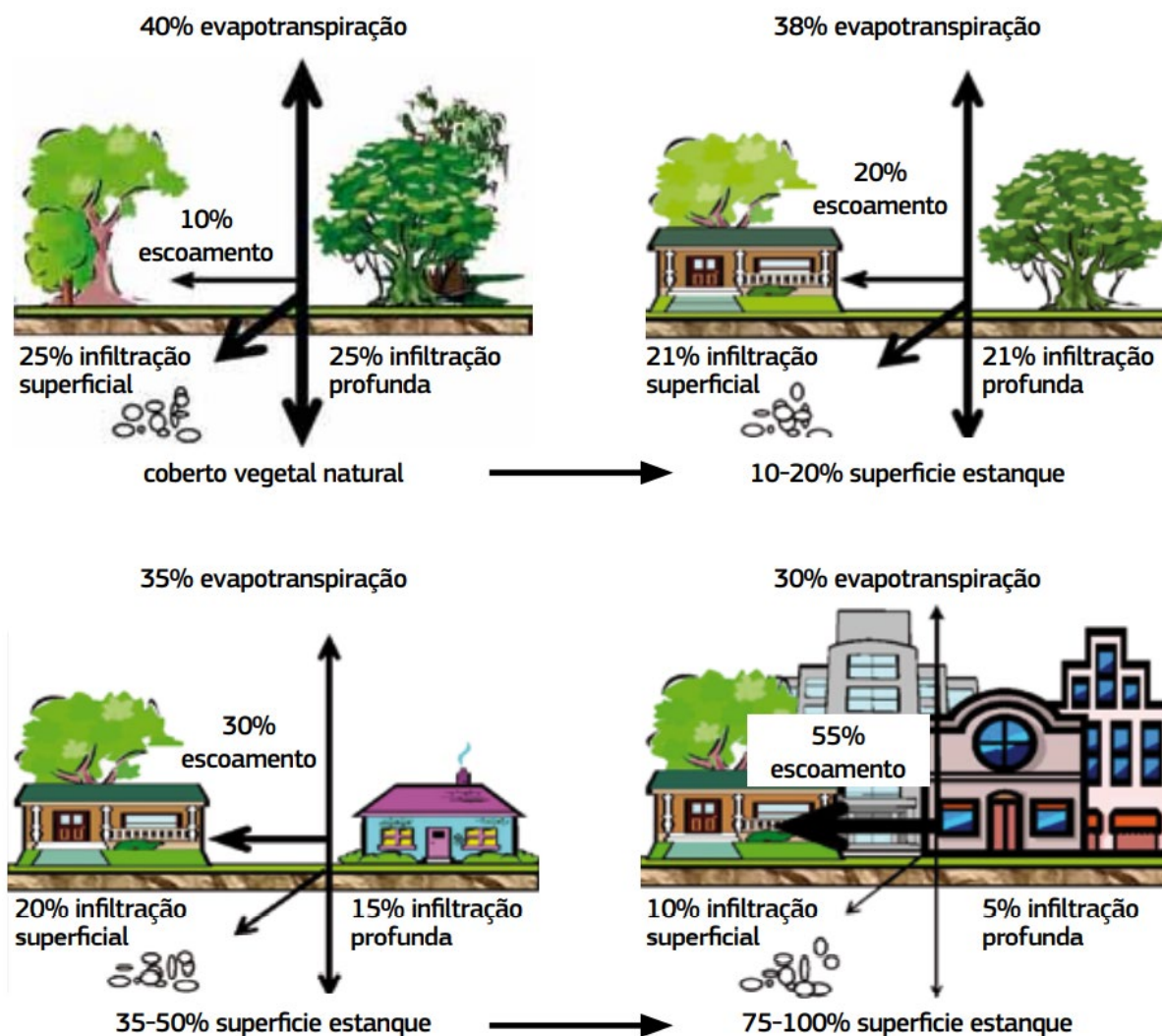
2.2 IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

Conforme apontado por Arnold e Gibbons (1996), áreas impermeáveis podem ser definidas como áreas constituídas de qualquer material que impeça a infiltração da água no solo. Enquadram-se nesta definição ruas, telhados, calçadas, estacionamentos, solos compactados e afloramentos rochosos (ESTEVES, 2006).

É importante ressaltar que a impermeabilização das superfícies está intimamente relacionada ao processo de urbanização e à ocupação humana, tanto que estudos indicam que a porcentagem de área impermeável está correlacionada à densidade populacional (TUCCI *et al.*, 1989; CAMPANA; TUCCI, 1994). Com essa relação evidente entre urbanização e impermeabilização do solo a porcentagem de área impermeável foi proposta como um indicador de qualidade dos recursos hídricos urbanos (SCHUELER, 1994; ARNOLD, GIBBONS, 1996).

Fontes (2003) acrescenta que o processo de urbanização gera modificações no uso do solo, que por sua vez causam impactos permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas. Alves (2004) diz que a urbanização acarreta significativas mudanças no escoamento superficial: a quantidade de água que infiltrava passa a escoar pelos canis e condutos, devido a impermeabilização da superfícies do solo, através de telhados, ruas, ruas, calçadas, etc (Figura 2).

Figura 2- Alterações no ciclo hidrológico associadas à impermeabilização



Fonte: CE (2012)

Destaca-se ainda os impactos causados na qualidade da água. Emer *et al.*, (2013) destaca que parte da poluição encontrada em rios urbanos tem origem no escoamento superficial de água da chuva sobre áreas impermeáveis e redes de drenagem, que carregam materiais orgânicos e inorgânicos para os mananciais elevando a carga de poluentes.

Tucci (2003) aponta que o impacto causado pela impermeabilização do solo sobre a qualidade da água é resultado do seguinte: poluição existente no ar que se precipita junto com a água, lavagem de superfícies urbanas contaminadas com diferentes componentes orgânicos e metais, resíduos sólidos representados por sedimentos erodidos pelo aumento da vazão e lixo urbano depositado ou transportado para a drenagem e esgoto cloacal que não coletado e escoado através da drenagem.

Pode-se apontar ainda os impactos causados no clima da cidade. A diminuição da evapotranspiração nas áreas urbanas, causada pela perda de vegetação e pelo aumento da impermeabilização dos solos, assim como a absorção de energia solar pelas superfícies de asfalto, telhados e pedras, são fatores significativos que contribuem para o fenômeno das chamadas ilhas de calor (UE, 2012).

Além dos impactos causados nos recursos hídricos UE (2012) destaca ainda impactos nos índices de infiltração, escoamento superficial, evapotranspiração, biodiversidade, clima global e qualidade do ar urbano.

2.3 INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS

Tucci (2004) aponta que as inundações são geradas por precipitações intensas, ocasionando, na incapacidade de rios e canais suportarem a vazão na sua calha de drenagem, em transbordamento e a conseqüente inundação das áreas marginais. GEOBIA *et al* (2006) dizem que inundação se trata do aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele, sendo que, quando não ocorre o transbordamento deste rio há uma enchente.

De acordo com Tucci (2001) as inundações podem ocorrer de duas formas: em áreas ribeirinhas, quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita à inundação. Este tipo de inundação é um processo natural, que gera prejuízos à população devido à ocupação do leito; e devido à urbanização, sendo que a alta impermeabilização do solo aumenta a velocidade do escoamento superficial em detrimento do escoamento subterrâneo.

Por sua vez os alagamentos são acumulações de água na superfície de um terreno qualquer, devido a características do meio físico, mau funcionamento de obras de drenagem e escoamentos e/ou precipitações pluviométricas de alta intensidade em regiões não associadas à hidrografia da região (CARVALHO *et al.*, 2007). A Figura 3 ilustra os fenômenos descritos.

Figura 3 - Inundações e alagamentos

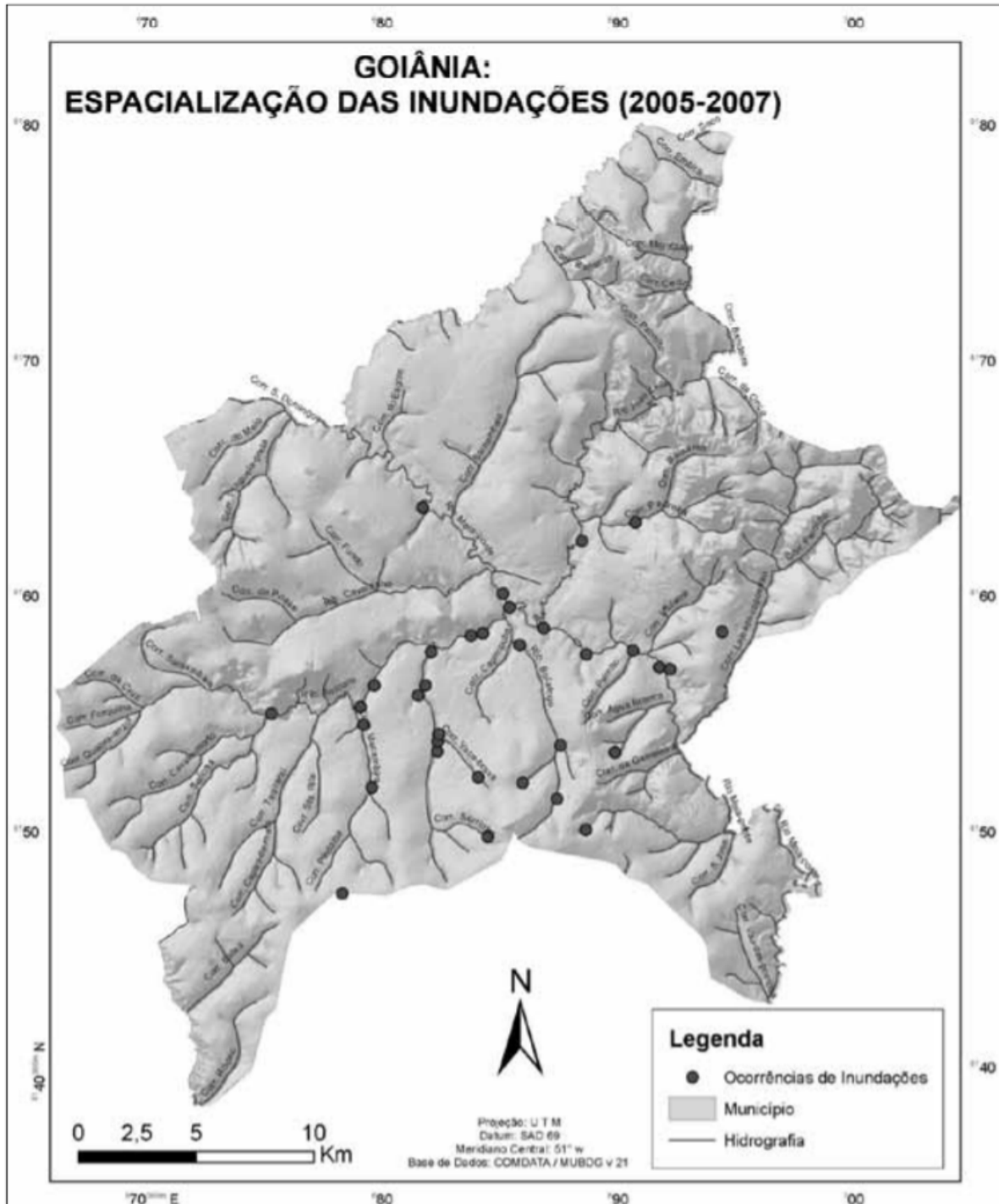


Fonte: Adaptado de Carvalho (2007)

Em relação ao município de Goiânia destaca-se a recorrência destes problemas, facilmente identificados em reportagens jornalísticas, assim como, no conhecimento comum das pessoas. Estudos de Rego (2015) e Santos (2010) buscaram, entre outros objetivos, espacializar os pontos de ocorrência de inundações e alagamentos no município de Goiânia.

Santos (2010) baseou-se em dados da Defesa Civil, Corpo de Bombeiros e também em reportagens jornalísticas, no período entre 2005 a 2007, para mapear e espacializar os pontos de ocorrência de inundações no município de Goiânia. Foram identificados 24 pontos de ocorrência (Figura 4).

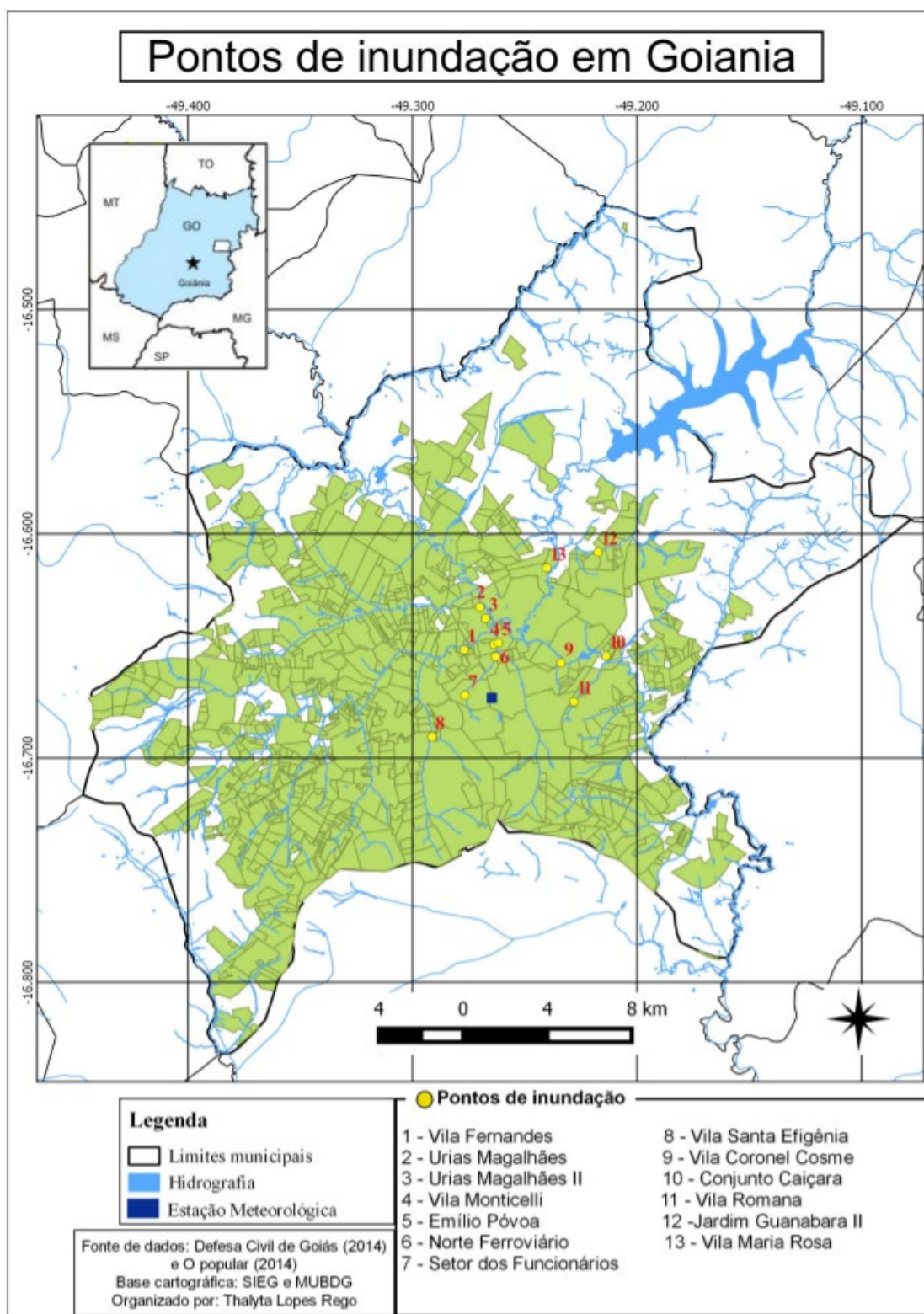
Figura 4 - Espacialização das inundações em Goiânia



Fonte: Santos (2010)

Rego (2015) analisou o período entre os anos 2000 e 2013 utilizando para tanto as notícias veiculadas pelo jornal O Popular, assim como, registros da Defesa civil. Identificou 74 ocorrências de inundações em 13 pontos de inundação (Figura 5).

Figura 5 - Pontos de inundação e alagamentos entre 2000 e 2013



Fonte: Rego (2015)

No final de 2019, conforme notícia divulgada nos veículos de imprensa goianos, a Defesa Civil em trabalho conjunto com a Secretaria Municipal de Infraestrutura (Seinfra) identificaram 94 pontos com ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações em Goiânia espalhados por 65 bairros da capital. Os técnicos de ambos órgãos apontam que as principais causas destes problemas em Goiânia estão relacionadas ao sistema de drenagem antigo ou inexistente, alta impermeabilização do solo e, por fim, obstrução das bocas de lobo.

2.4 GEOPROCESSAMENTO

Câmara e Davis (2001) explicam que o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Com isso entende-se que geoprocessamento representa um termo amplo que inclui ciências, técnicas e tecnologias capazes de coletar e tratar informações georreferenciadas.

Fitz (2008) acrescenta que as geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

Destaca-se que dentro das ciências que integram o geoprocessamento pode-se salientar sensoriamento remoto, geodésia, cartografia, fotogrametria e as ciências da computação. Por sua vez dentre as tecnologias destaca-se as imagens adquiridas por sensores orbitais e aéreos, os sistemas de informação geográfica (SIG) e os equipamentos de posicionamento (GOODCHILD, 1992; CÂMARA *et al.*, 1996; BURROUGH; MCDONNEL, 1998).

Com o desenvolvimento tecnológico a utilização dessa área do conhecimento vem ganhando cada vez mais espaço. Segundo a revista britânica Nature (2004) o geoprocessamento e as demais subáreas representantes das geotecnologias estão entre os três mercados emergentes e mais importantes da atualidade, junto com nanotecnologia e biotecnologia.

Trazendo essa visão para o Brasil que além de possuir dimensões continentais apresenta uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisão sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta enorme potencial, principalmente

se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CÂMARA; DAVIS, 2001).

2.5 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - SIG

O termo SIG possui uma grande quantidade de definições na literatura. Sendo que por vezes este termo é até mesmo empregado de forma equivocada como sendo o geoprocessamento propriamente dito. Destaca-se, no entanto, que conforme explicado no tópico anterior geoprocessamento é um termo mais abrangente envolvendo outras áreas do conhecimento.

Dito isso torna-se necessário apresentar uma conceituação formal dos chamados SIG's ou do termo em inglês, que também é bastante difundido, GIS (*geographic information system*). Para Câmara, Davis e Monteiro (2001) o termo SIG refere-se aos sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial.

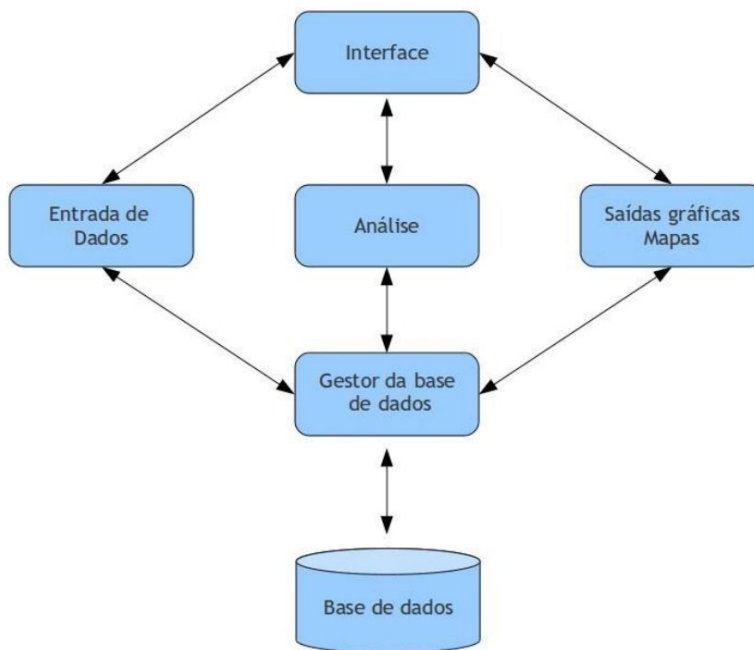
Burrough e McDonnell (1998) acrescentam o SIG é formado por ferramentas computacionais (programas) e procedimentos para coletar, ou capturar, armazenar, manipular, modelar, analisar e visualizar dados, que representam fenômenos do mundo real (da superfície terrestre). Dessa forma os SIGs permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

A maioria das aplicações SIG apresenta uma estrutura geral com uma interface para comunicação com o utilizador, uma base de dados, uma unidade de gestão dessa base de dados, e um conjunto de funcionalidades para entrada e edição de dados, sua análise e produção e impressão de mapas (Figura 6) (CAVALVANTE, 2015).

Muller (2012) diz que a questão central de um SIG está intrinsecamente ligada ao termo onde, e sempre que esta questão aparece e precisa ser resolvida por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG. Moreira *et al.* (2005) corroboram essa afirmação ao dizerem que na maioria dos projetos desenvolvidos em SIG a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, pra fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas.

Fitz (2008) aponta que as aplicações dos SIGs são demonstradas ser incontáveis, possuindo capacidade para trabalhar em ações vinculadas ao planejamento, à gestão, ao monitoramento, ao manejo, à caracterização de espaços urbanos e rurais.

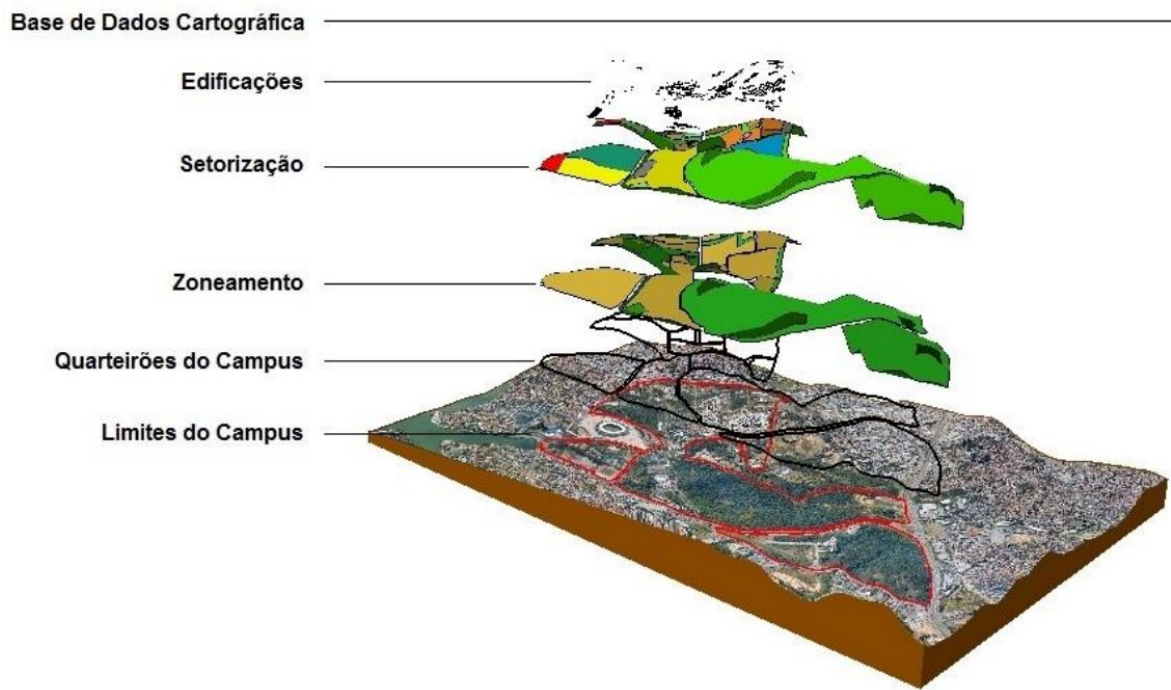
Figura 6 - Estrutura geral de uma aplicação SIG



Fonte: Cavalcante, 2015

Destaca-se ainda à realização de análises de cunho espacial por meio de mapas temáticos diversos, utilizando para tanto a técnica de sobreposição. Cada mapa contendo um tema específico, o qual constitui um PI – Plano de Informação, é sobreposto a outro de temática diferente, mas de igual dimensão para a obtenção de um produto deles derivado (Figura 7) (FITZ, 2008).

Figura 7 - Sobreposição de PIs



Fonte: Cavalcante (2015)

2.6 SENSORIAMENTO REMOTO

Uma definição mais científica que se pode dar ao Sensoriamento remoto diz que o mesmo é 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 (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Novo (2008) aponta que o sensoriamento é uma das ciências que compõem o geoprocessamento e o define como sendo a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles.

O conceito faz uso do termo “sensores”, os quais, dentro do contexto apresentado, podem ser entendidos como dispositivos capazes de captar a energia refletida ou emitida por uma superfície qualquer e registrá-la na forma de dados digitais diversos (imagens, gráficos etc) (FITZ, 2008).

Alves (2004) aponta que o avanço tecnológico dos sensores e a qualidade dos produtos gerados pelos mesmos, fazem com que atualmente o uso do sensoriamento remoto para adquirir informações a respeito da superfície terrestre seja cada vez mais utilizado.

Por meio do sensoriamento remoto é possível identificar, e conhecer características de objetos localizados na superfície terrestre, estudando a radiação refletida e/ou emitida por estes objetos (CRUZ, 2007). Possui aplicações nas mais diversas áreas tais como engenharia, agricultura, geologia, hidrologia etc.

2.7 CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos (PASSOS, 2013). Antunes (2014) complementa dizendo que durante a classificação de dados digitais, alvos do universo real recebem a denominação genérica de classes ou classes temáticas. Tais procedimentos tornam o processo de mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subsequentes (NOVO, 2008).

Diversos métodos de classificação em uso podem ser divididos segundo diferentes critérios: classificação paramétrica e não paramétrica, classificação espectral e espacial, e classificação supervisionada e não supervisionada. Há ainda a possibilidade de dividir os classificadores em classificação por pixel ou por regiões (MENESES; ALMEIDA, 2012).

No entanto, a forma mais comum e difundida entre os usuários de sensoriamento remoto e que foi adotada pelos *softwares* comerciais de processamento de imagens, separa os classificadores em supervisionados e não supervisionados (BERNADES *et al.*, 2015; MENESES; ALMEIDA, 2012; MOREIRA, 2003).

Segundo Fitz (2008) a classificação supervisionada diz respeito ao método que faz uso da capacidade interpretativa do técnico, ou seja, uma imagem será classificada com base em determinados parâmetros definidos pelo profissional que, necessariamente, deverá ter conhecimento das características da área de trabalho. Nesse processo o analista escolhe pequenas áreas de amostras na imagem, contendo poucas centenas de pixels que sejam bem representativos, espectralmente, de padrões ou feições dos alvos por ele reconhecidos, ou que podem ser identificados com a ajuda de outras fontes, tais como dados coletados em campo ou

de mapas (MENESES; ALMEIDA, 2012). Bernardi *et al.* (2007) aponta que existem vários métodos de classificação supervisionada: paralelepípedo, distância mínima, distância de Mahalanobis e máxima verossimilhança.

Segundo Moreira (2003), o uso de classificadores não supervisionados é indicado quando o analista não possui conhecimento, a priori, da área de estudo. Meneses e Almeida (2012) complementam dizendo que são classificadores que requerem pouca ou nenhuma participação do analista no processo de classificação da imagem. Dentre os algoritmos de classificação não supervisionada pode-se destacar: ISODATA e K-médias (ANTUNES, 2014). Ambos se baseiam no agrupamento de pixels por suas similaridades, usando técnicas de distância mínima. Por isso, a classificação não supervisionada é também chamada de *clustering*, devido à técnica usada (MENESES; SATO, 2012).

Com isso destaca-se que quando a regra de decisão toma como base as características somente do pixel, é dita pixel a pixel, caso contrário, é dita por região (Antunes, 2014). Na classificação por região os métodos classificadores buscam simular o comportamento de um foto intérprete ao reconhecer áreas homogêneas, baseado em suas propriedades espectrais e espaciais (KORTING, 2006). Meneses e Almeida (2012) citam alguns dos principais algoritmos por regiões: Ioseg, Bhattacharyya e ClaTex.

Antunes (2014) salienta ainda a importância da chamada classificação orientada a objeto, do inglês *Object-Based Image Analysis* (GEOBIA). Definiens (2004) aponta que na análise baseada em objeto, toma-se por base o objeto na imagem e não apenas sobre o pixel. Assim, na imagem, um objeto representa uma entidade que pode ser individualizada, tem atributos próprios e as mesmas propriedades da classe que lhe deu origem.

Navulur (2006) define objeto como um conjunto de pixels de semelhantes propriedades espectrais e espaciais. Assim, a aplicação da GEOBIA refere-se à análise da imagem no espaço dos objetos e não no espaço de pixels, desta forma, os objetos são usados como dados de entrada para classificação de imagem, em vez de pixels.

De acordo com BLASCHKE *et al.* (2014) a GEOBIA é um paradigma em evolução, com ferramentas específicas, software, métodos, regras e linguagem, sendo cada vez mais usado para estudos que necessitam conceituar e formalizar conhecimentos. Pinho *et al.*, (2005) acrescentam ainda que a GEOBIA permite a inserção do conhecimento do analista e a utilização de parâmetros de cor, forma, textura e relações de vizinhança na classificação de imagens.

Meneses e Almeida (2012), acrescentam ainda que a classificação por região se dá, inicialmente, pela utilização de um algoritmo de segmentação que ao definir regiões homogêneas na imagem prepara-a para uma classificação posterior com base nessas regiões e não com base em valores individuais dos pixels.

2.7.1 Segmentação

A segmentação de imagens consiste num processo de agrupamento de pixels que possuem características semelhantes (MENESES; SATO, 2012). Oliveira *et al.* (2009) afirma que segmentação de imagem é o processo no qual uma imagem é subdividida em regiões menores, os chamados objetos de imagem, podendo-se fazer uso de atributos como forma e textura além dos já contemplados atributos espectrais para a separação destas classes e criação de padrões de classificação.

De acordo com Ferreira (2011), os algoritmos de segmentação são geralmente baseados em uma de duas propriedades básicas: descontinuidades e similaridades. Na primeira categoria, a ideia é dividir a imagem levando em consideração variações abruptas na intensidade dos pixels. Na segunda, a abordagem é particionar a imagem em regiões que são similares de acordo com algum critério.

Dentre os algoritmos disponibilizados pelos classificadores, o mais utilizado é o de crescimento de regiões. Inicialmente, ele considera um pixel, dito “semente”, como sendo uma região. Na sequência, ele inicia as comparações com as outras regiões adjacentes levando em consideração o limiar de similaridade fixado pelo analista, executando um teste de médias em que o limiar define a distância entre elas. No caso de a distância ser inferior ao limiar, as regiões são unidas, caso contrário continuam separadas (MENESES; SATO, 2012).

Destaca-se que o limiar é o valor mínimo abaixo do qual duas classes são consideradas similares e agrupadas em uma única região, enquanto o limiar de área define o número mínimo de pixels necessários para que uma área seja individualizada (MOREIRA, 2003).

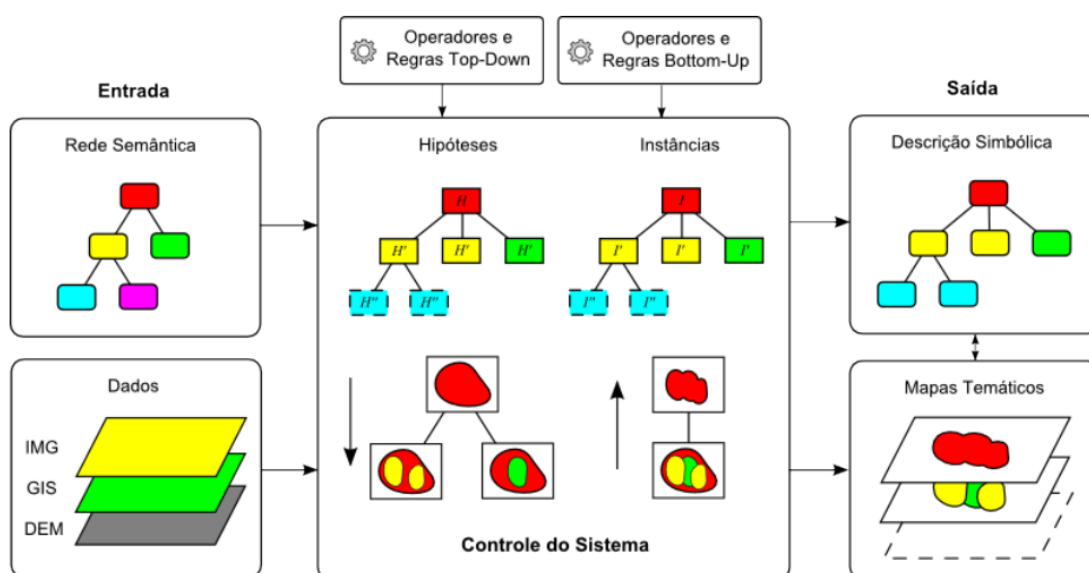
2.7.2 O sistema InterImage

O InterIMAGE é um sistema de domínio público e código aberto para a interpretação de imagens baseado em conhecimento. Desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pelo Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE), o InterIMAGE baseia-se no sistema alemão GeoAIDA (BUCKNER *et al.*, 2001), programa do qual herdou a estrutura de conhecimento, o design e os mecanismos de controle (COSTA *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2010).

A Figura 8 descreve os componentes do processamento de interpretação do InterIMAGE. Pahl (2008) explica que no lado esquerdo da figura são mostradas as entradas do processo de interpretação. A rede semântica representa o modelo de conhecimento definido pelo especialista humano e processado pelo sistema para a interpretação de uma cena (extensão geográfica), recoberta por uma ou mais imagens ou dados vetoriais georreferenciados.

Figura 8 - Componentes do processo de análise



Fonte: InterImage (2008)

Antunes (2014) complementa explicando que os operadores top-down são responsáveis pela partição da cena em regiões, consideradas como hipóteses de objetos. Trata-se de uma classificação preliminar, que identifica segmentos com o potencial de pertencer a cada uma dessas classes. Os operadores bottom-up refinam as classificações produzidas na etapa top-down, confirmando-as ou rejeitando-as e resolvendo eventuais conflitos espaciais entre elas. No final do processo de interpretação, as hipóteses validadas tornam-se instâncias de objetos.

A saída do processo de interpretação é uma descrição simbólica da cena, consistindo principalmente de uma rede de instâncias de objetos e de imagens rotuladas que correspondem às regiões associadas às classes de objetos. A partir das imagens rotuladas, o sistema permite a

criação de diferentes mapas temáticos representando os diferentes níveis de conceitos na rede semântica (InterImage, 2008).

2.8 TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX (TWI)

O conceito de TWI apresentado por Beven e Kirkby (1979) descreve a propensão de saturação para uma determinada região dada a sua área de contribuição e as características de declividade locais. Este critério, que é uma função da direção e da acumulação de fluxo, tem um papel importante na suscetibilidade a alagamentos, sendo que de acordo com o mesmo, áreas com altos valores de TWI são mais suscetíveis aos mesmos (SEPEHRI *et al.*, 2020). Estas áreas alagadas podem ser entendidas como áreas com água parada em regiões com depressões no relevo onde os solos superficiais se tornaram saturados ou mesmo superfícies impermeabilizadas o que impede a infiltração da água (BALLERINE, 2017).

Este fator foi definido com base na Eq. 1 (Moore *et al.*, 1991):

$$TWI = \ln \frac{\alpha}{\tan \beta} \quad (1)$$

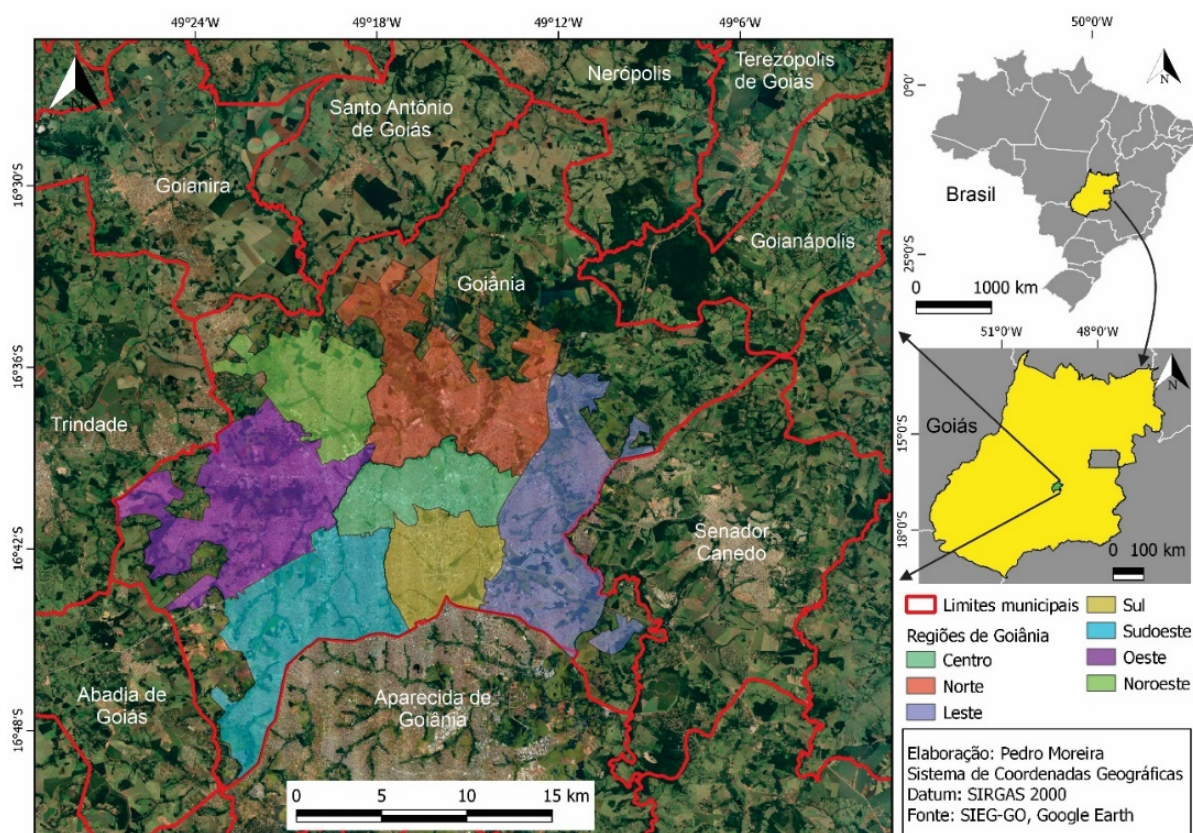
onde: α é o fluxo acumulado e β é a declividade da área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo utilizada para aplicação das técnicas de geoprocessamento GEOBIA para determinação das áreas impermeáveis refere-se ao perímetro urbano do município de Goiânia. A cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, Brasil, localiza-se na mesorregião denominada Centro Goiano, atualmente considerada uma metrópole de 1,2 milhão de habitantes e que conseqüentemente, enfrenta problemas relacionados à ocupações indevidas e ao crescimento desordenado (IBGE, 2007). Limitando-se ao norte com os municípios de Goianira, Nerópolis e Goianópolis, ao sul com o município de Aparecida de Goiânia, a leste com os municípios de Senador Canedo e Bela Vista de Goiás e a oeste com o município de Trindade (Figura 9).

Figura 9 - Localização e discretização da área de estudo para implementação da ferramenta GEOBIA



Fonte: Autores (2021).

3.2 METODOLOGIA

A base cartográfica utilizada para mapeamento de superfícies impermeáveis consiste de uma ortoimagem aérea de alta resolução espacial, nuvem de pontos obtidos por sensores aerotransportados de varredura por laser, modelo digital de terreno e dados vetoriais (bairros, quadras, lotes) de Goiânia.

A ortoimagem de 2016, o modelo digital de terreno (MDT), a nuvem de pontos, e os dados vetoriais do perímetro urbano de Goiânia foram adquiridos junto a Prefeitura de Goiânia através do departamento de geoprocessamento. A imagem tem uma resolução espacial de 0,1 m e três bandas multiespectrais (azul, verde, vermelho). Destaca-se que o MDT possui resolução espacial de 0,1 metro, por sua vez, a nuvem de pontos possui um espaçamento de 1 metro entre os mesmos. Diante disso tanto a imagem quanto o MDT foram convertidos para 1 metro de resolução espacial.

Nesse artigo utilizou-se o índice *Ground Level Image Analysis* – GLI tendo em vista que a imagem obtida não possui a banda infravermelho próximo para que fosse possível calcular o NDVI (índice de vegetação normalizado) que é o mais utilizado nesse tipo de estudo. O índice GLI foi proposto por Louhaichi *et al.* (2001) que identificaram a necessidade de classificar a vegetação utilizando apenas as bandas RGB. Segundo Louhaichi *et al.* (2001), o GLI mostrou-se eficiente no acompanhamento de ambientes através de imagens de alta resolução, sejam elas oriundas de drones, aerofotografias georreferenciadas ou satélites comerciais, podendo ser aplicada sua metodologia para outros interesses, como outras culturas ou vegetação em pastagens, sendo determinado por:

$$GLI = \frac{(G-R)+(G-B)}{(G+R+G+B)} \quad (2)$$

onde: G, R e B são as bandas verde, vermelho e azul, respectivamente.

Destaca-se o trabalho de Silva *et al.*, 2019 em que apresentaram diferentes índices calculados a partir das bandas do visível de imagens de alta resolução, sejam elas oriundas de drones, aerofotografias georreferenciadas ou satélites comerciais.

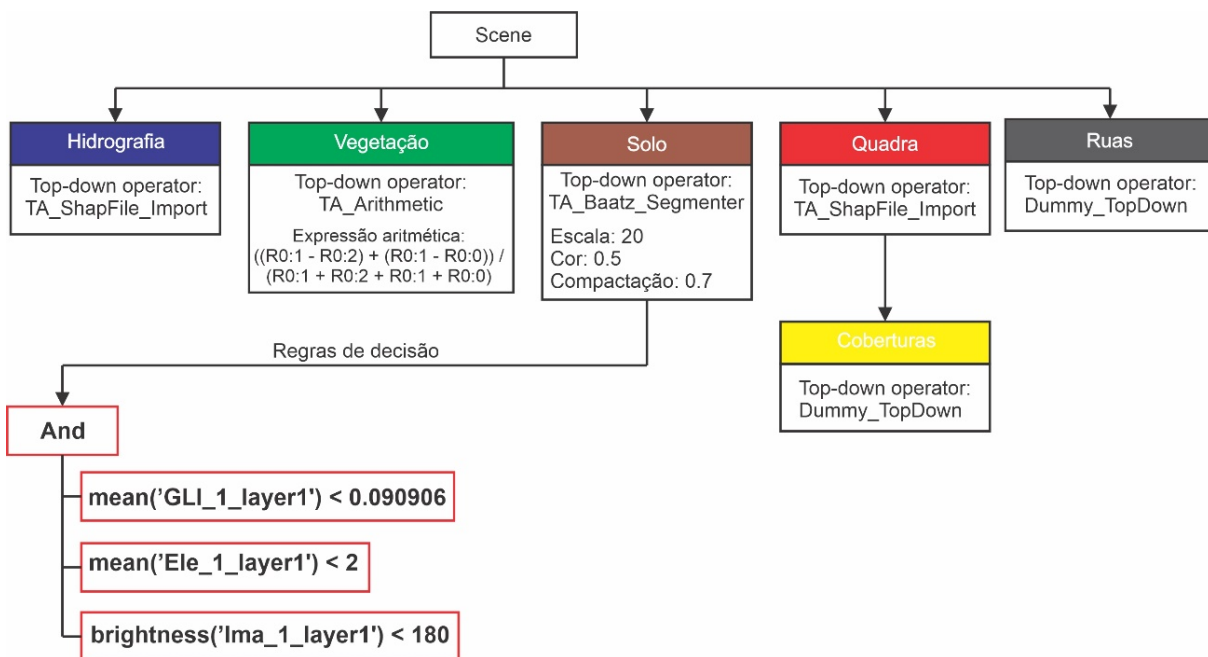
O Modelo Digital de Superfície (MDS) foi obtido através da interpolação do conjunto de dados de nuvem de pontos obtidos por sensores aerotransportados de varredura por laser. Dessa forma,

o raster de elevação foi gerado a partir da subtração do MDS pelo MDT. Lichtblau e Oswald (2019) relatam que estudos anteriores (O'NEIL-DUNNE *et al.*, 2014) descobriram que o *raster* de elevação é um parâmetro-chave de modelagem que permite distinguir características impermeáveis com características altas (por exemplo, edifícios) de características parcialmente permeáveis e altamente variáveis (por exemplo, solos). Nesse trabalho foi necessário fazer correções de forma manual no dado de elevação gerado, tendo em vista que a nuvem de pontos era referente ao ano de 2011. Contudo, este esforço justifica-se tendo em vista que esse dado foi utilizado principalmente para distinguir solo exposto de telhados de cerâmica, pois ambos possuem comportamentos espectrais semelhantes e representam uma das maiores dificuldades neste tipo de trabalho.

Assim, a metodologia foi dividida em duas etapas. A primeira etapa refere-se aos procedimentos necessários para elaboração do mapeamento das áreas impermeáveis e posteriormente a segunda etapa, apresenta os métodos utilizados para a determinação da qualidade da drenagem urbana.

Os procedimentos metodológicos utilizados para elaboração do mapeamento das áreas impermeáveis do perímetro urbano de Goiânia por meio da ferramenta GEOBIA são demonstrados na Figura 10 (primeira etapa), com destaque para aplicação da técnica de classificação orientada a objetos (RIBEIRO, 2009; PASSO, 2013; ANTUNES, 2014; CAROLINE *et al.*, 2015; COLARES *et al.*, 2015; ANTUNES *et al.*, 2018). A segmentação e classificação da imagem foram realizadas no software gratuito InterIMAGE, desenvolvido pelo Laboratório de Visão Computacional (LVC/PUC-Rio) em conjunto com a Divisão de Processamento de Imagens (DPI/INPE) e Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR/INPE).

Figura 10 - Fluxograma metodológica da ferramenta GEOBIA utilizada



Fonte: Autores (2021)

Destaca-se que, como o objetivo principal do trabalho é identificar as áreas impermeáveis do perímetro urbano do município de Goiânia, optou-se por elaborar uma rede semântica com poucas classes de cobertura do solo, agrupando as subclasses que apresentassem as mesmas características quanto à permeabilidade do solo (RIBEIRO, 2009). Assim, foram definidas as seguintes classes para a superfície: vegetação (rasteira e arbórea), hidrografia, áreas impermeabilizadas intra quadra, calçadas e vias. Na classe áreas impermeabilizadas intra quadra encaixa-se principalmente áreas impermeabilizadas no interior das quadras com diferentes tipos de materiais e cores o que gera uma grande variabilidade tanto de comportamento espectral como dos demais parâmetros utilizados para a classificação.

Inicialmente, fragmentou-se a ortoimagem de Goiânia em regiões menores, haja vista as limitações do software. Dessa forma, dividiu-se a imagem de acordo com as regiões de Goiânia, segundo dados do MUBDGv25, (Norte, Nordeste, Sul, Sudeste, Leste, Oeste, Centro) e posteriormente dividiu-se cada uma das regiões em sub-regiões através da criação de uma máscara retangular de 2,5 x 2,5 quilômetros.

A entrada de dados no InterIMAGE se dá a partir da definição da rede semântica, em que a rede hierárquica (nó pai e nó filho) opera através do relacionamento entre as classes que vão desde uma classe geral até chegar a classes mais específicas (COLARES et al., 2015).

Posteriormente o software divide a classificação em duas principais etapas denominadas top-down e bottom-up.

Os operadores top-down são programas externos à plataforma, responsáveis por delimitar regiões geográficas que constituem hipóteses dos conceitos, por sua vez na etapa bottom-up ocorrem as tarefas de validar ou descartar as hipóteses (máscaras) geradas na etapa top-down, resolver possíveis conflitos espaciais entre as hipóteses e, se necessário, remodelar geometricamente as hipóteses (CAROLINE et al., 2015).

Com a rede semântica construída (Figura 3), foram atribuídos operadores top-down a cada nó pai da rede, com o objetivo de passar para os seus nós filhos as máscaras, ou seja, as regiões geográficas. Os nós Hidrografia e Quadras receberam operador holístico top-down TA_Shape_FileImport, que possibilitou a restrição da atuação da classificação apenas à abrangência do arquivo shapefile de Hidrografia e Quadras, respectivamente. O nó Ruas recebeu o operador holístico Dummy top-down. Como foram atribuídos valores de pertinência para os nós Quadras maiores que para os nós Ruas, a área de abrangência dos nós Ruas ficou restrita às áreas geográficas que sobraram dos nós Quadras.

O nó Vegetação recebeu o operador TA_Arithmetic que permite a inserção de operações aritméticas para determinar os limiares máximos e mínimos para a classificação. Conforme explicado anteriormente, utilizou-se o índice de vegetação GLI, com limiar mínimo de 0,15 e máximo de 1, lineares, obtidos por meio de simulações no próprio software.

O nó Solo recebeu o operador TA_Baatz_Segmenter com os seguintes valores de compactação, cor e escala: 0,5, 0,7 e 20, respectivamente. Moraes (2018) explica que a escala determina o tamanho dos objetos segmentados; a forma prioriza o crescimento de regiões por sua similaridade de cores; a compactação está relacionada à compactação dos pixels de um determinado objeto, ou seja, a união de pixels similares, componentes de um determinado objeto. Esse operador permite ainda a inserção de regras de classificação. Nesse caso, foram inseridas três regras. A primeira regra corresponde à média do GLI ser menor que 0,090906, enquanto que a segunda se refere a média da camada elevação seja ser menor que 2 e por fim, a terceira regra, onde o brilho da imagem seja menor que 180. Destaca-se que todos esses parâmetros foram obtidos com base em diversos testes utilizando a ferramenta Analysis Explorer do InterImage.

Em relação ao nó Quadras, destaca-se que o mesmo possui um nó filho (áreas impermeáveis) que recebeu o operador holístico Dummy top-down, tendo em vista que foram classificadas aqui as áreas que não correspondem a vegetação, hidrografia e solos.

Por fim, avaliou-se a acurácia da classificação. Para realização desta avaliação, foram seguidos os seguintes passos: cálculo para número de amostras, seleção aleatória de pontos para checagem, checagem por interpretação visual, verificação da exatidão (matriz de confusão) e cálculos do coeficiente Kappa de forma geral e por classe (PASSO, 2013).

Para o cálculo da quantidade de amostras, utilizou-se a técnica de distribuição multinomial proposta por Congalton e Green (1999), sendo que nesse tipo de metodologia, o processo de validação não é uma questão apenas de certo ou errado, mas sim de classificar o erro em relação ao total de possibilidades (ou conjunto de classes), de modo que o uso dessa distribuição implica no conhecimento a priori do número de classes e suas proporções no mapa. Diante disso, para calcular a número de amostras, utilizou-se a equação:

$$N = \frac{B\Pi_i(1-\Pi_i)}{b^2} \quad (3)$$

onde: N é o número de amostras; B é obtido de uma tabela de distribuição qui-quadrado com um grau de liberdade e $1 - \alpha / k$; k é o número de classes; $1 - \alpha$ grau de confiança; Π_i é a proporção da classe com maior área no mapa e b o máximo erro admissível.

Conhecendo o tamanho da amostra para a área de estudo, realizou-se uma amostragem aleatória simples, utilizando como espaço amostral um arquivo de pontos do centróide de cada pixel da imagem (PASSO, 2013). Esses dados foram utilizados para gerar a matriz de confusão e posteriormente calcular o índice Kappa.

A estatística Kappa é uma ferramenta estatística aplicada na avaliação da precisão de classificação (FITZGERALD e LEES, 1994). Para a interpretação dos resultados, adotou-se a qualificação dos valores do índice Kappa proposta por Landis e Koch (1977), reproduzida na Tabela 1 (variam entre 0 e 1).

Tabela 1 - Índice Kappa

Valores de <i>Kappa</i>	Interpretação
< 0,0	Sem concordância
0,0 – 0,19	Pouca concordância
0,2 – 0,39	Concordância razoável
0,4 – 0,59	Concordância média
0,6 – 0,79	Concordância considerável
0,8 – 1,00	Concordância excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

Destaca-se que, a amostragem e a avaliação da qualidade da classificação foram realizadas para a região Sul do perímetro urbano de Goiânia, devido ao fato de que esta região apresenta um alto índice de urbanização e também uma representativa área de cobertura.

A segunda etapa consistiu na elaboração do mapa de qualidade de drenagem urbana para o perímetro urbano de Goiânia. Wang et al. (2019) apontam que a seleção dos parâmetros para elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação e alagamentos é muito importante e complexa, tendo em vista que diferentes fatores influenciam diretamente nesses fenômenos. Baseado nos estudos de ALVES et al. (2018), SOUSSI et al. (2019), WANG et al. (2019), SEPEHRI et al. (2020) e de acordo com a disponibilidade de dados para a área de estudo desse artigo, foram definidos os seguintes parâmetros: Topographic Wetness Index (TWI), acesso a equipamentos de microdrenagem e áreas impermeáveis.

Em relação ao TWI, este foi gerado por meio do modelo digital de elevação de Goiânia com resolução de 5 metros, sendo que o processamento foi realizado no software Qgis 3.0 utilizando a extensão SAGA. Por sua vez, a informação referente ao acesso a equipamentos de microdrenagem (bocas de lobo) foi obtido por meio dos dados do censo demográfico de 2010 elaborado pelo IBGE. Esses dados indicam qual a porcentagem da população, de cada setor censitário, que não tem acesso a equipamentos de microdrenagem.

Como os dados de acesso aos equipamentos de microdrenagem estão relacionados a cada setor censitário, optou-se por utilizar os mesmos como unidade de estudo. Assim, foi necessário fazer a intersecção entre os dados do TWI e das áreas impermeáveis com o dado dos setores censitários, destacando que os resultados das áreas impermeáveis foram obtidos na primeira etapa.

Salienta-se que o conceito TWI apresentado por Beven e Kirkby (1979) descreve a propensão de saturação de uma determinada região em função de sua área de contribuição e as características de declividade locais. Este critério, que é uma função da direção e da acumulação de fluxo, tem um papel importante na drenagem urbana, sendo que áreas com altos valores de TWI são mais suscetíveis a inundações (SEPEHRI et al., 2020). A mesma relação foi analisada no que diz respeito ao acesso à equipamentos de microdrenagem, sendo que quanto maior a porcentagem de pessoas sem acesso a esses equipamentos, pior é a qualidade da drenagem urbana nesse setor censitário. Por fim, tem-se os dados de impermeabilização que também podem ser utilizados para entender a qualidade da drenagem nos ambientes urbanos, tendo em vista que o processo de impermeabilização impossibilita a infiltração da água e consequentemente aumenta o escoamento superficial.

Buscando padronizar os parâmetros utilizados, elaborou-se uma normalização dos fatores relacionados a drenagem urbana utilizando para tanto, a relação dos mesmos com a qualidade da drenagem urbana. Os três parâmetros relativos a qualidade de drenagem foram divididos em 4 classes que variam entre muito desfavorável, desfavorável, favorável e muito favorável conforme a porcentagem de área ocupada em cada setor censitário (Tabela 2).

Tabela 2 - Padronização dos parâmetros relacionados a qualidade da drenagem urbana

Área Impermeabilizada	TWI	Acesso à drenagem urbana	Classificação	
Baixa	Médio	Boa	Favorável	
		Média	Favorável	
		Ruim	Favorável	
	Baixo	Boa	Boa	Muito Favorável
			Média	Muito Favorável
			Ruim	Favorável
		Alto	Boa	Muito Favorável
			Média	Favorável
			Ruim	Desfavorável
Média	Médio	Boa	Muito Favorável	
		Média	Favorável	
		Ruim	Desfavorável	
	Baixo	Boa	Boa	Muito Favorável
			Média	Muito Favorável
			Ruim	Favorável
		Médio	Boa	Desfavorável
			Média	Desfavorável
			Ruim	Muito Desfavorável
Alta	Baixo	Boa	Favorável	
		Média	Desfavorável	
		Ruim	Muito Desfavorável	

Fonte: Autores (2021)

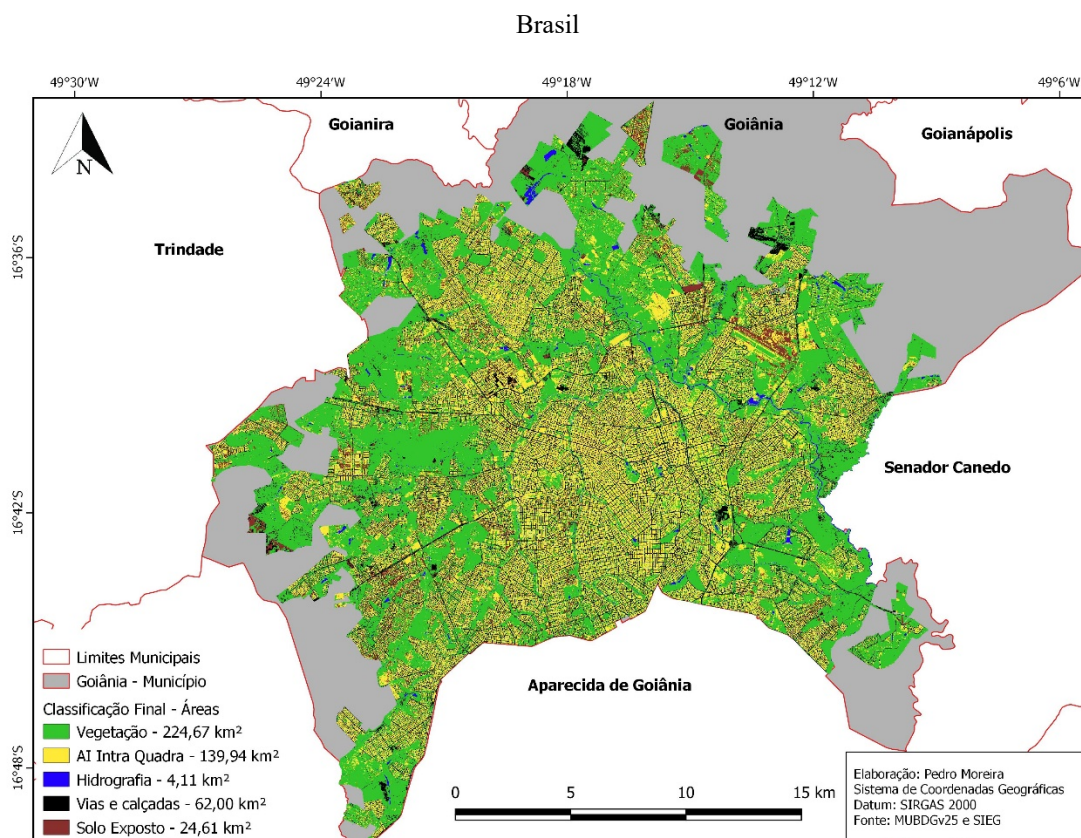
Dessa forma, a análise sobre a qualidade da drenagem urbana de cada setor censitário segue a lógica de que, se o TWI é alto ou muito alto, o setor censitário está muito impermeabilizado e a maior parte da população não tem acesso a equipamento de microdrenagem refletindo numa situação muito ruim. Por outro lado, uma situação muito boa, seria um setor pouco impermeabilizado, com TWI baixo e com os moradores tendo acesso a equipamentos de microdrenagem.

Para a visualização geral dos resultados, gerou-se um mapa com as quatro classes definidas na Tabela 2. Por fim, cruzou-se o mapa gerado com os pontos de inundações obtidos no levantamento realizado em 2020 pela Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana (SEINFRA) em parceria com a Defesa Civil de Goiânia e a Agência Ambiental Municipal de Goiânia (AMMA), em que foram identificados 96 pontos de inundação e alagamentos na capital goiana.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento de áreas impermeáveis do perímetro urbano de Goiânia, gerado por meio da técnica de classificação orientada a objetos implementada no *software* livre InterImage, pode ser observado na Figura 11. A matriz de confusão, a exatidão por classe e global e o índice *Kappa* podem ser observados na Tabela 2.

Figura 11 - Resultado das áreas impermeáveis do solo da região metropolitana de Goiânia, estado de Goiás,



Fonte: Autores (2021)

Tabela 3 - Matriz de Confusão

	Amostras de referência					
	-	Hidrografia	Vegetação	Solo	AI intraquadras	Vias e calçadas
Classificação	Hidrografia	132	-	1	1	-
	Vegetação	2	123	-	5	3
	Solo	-	1	97	32	4
	AI intra quadras	-	13	-	110	10
	Vias e calçadas	-	10	-	-	122
	Total	134	147	98	148	139
Exatidão por classe	99%	92%	72%	83%	92%	
Exatidão Global			88%			
<i>Kappa</i>			85%			

Fonte: Autores (2021)

Utilizando a Equação 2 com um erro admissível de 5% chegou-se a um total de 666 amostras para a região Sul da cidade de Goiânia. A partir da comparação entre os resultados obtidos pela classificação orientada a objeto e as amostras de campo, foi elaborada a matriz de confusão. Em relação ao método de exatidão global, destaca-se que o mesmo consiste em verificar a razão entre os pontos classificados corretamente e o total de pontos.

Assim, pode-se observar que a exatidão global apresenta diferenças significativas em relação ao índice Kappa, tendo em vista que este último leva em consideração toda a matriz de confusão, inclusive os elementos de fora da diagonal principal os quais representam as discordâncias na classificação (Figueiredo e Vieira, 2007).

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, destaca-se que a exatidão global e o índice Kappa são considerados excelentes segundo Landis e Koch (1977), tendo em vista que ambos estão no intervalo entre 0,8 e 1,0 (Tabela 1).

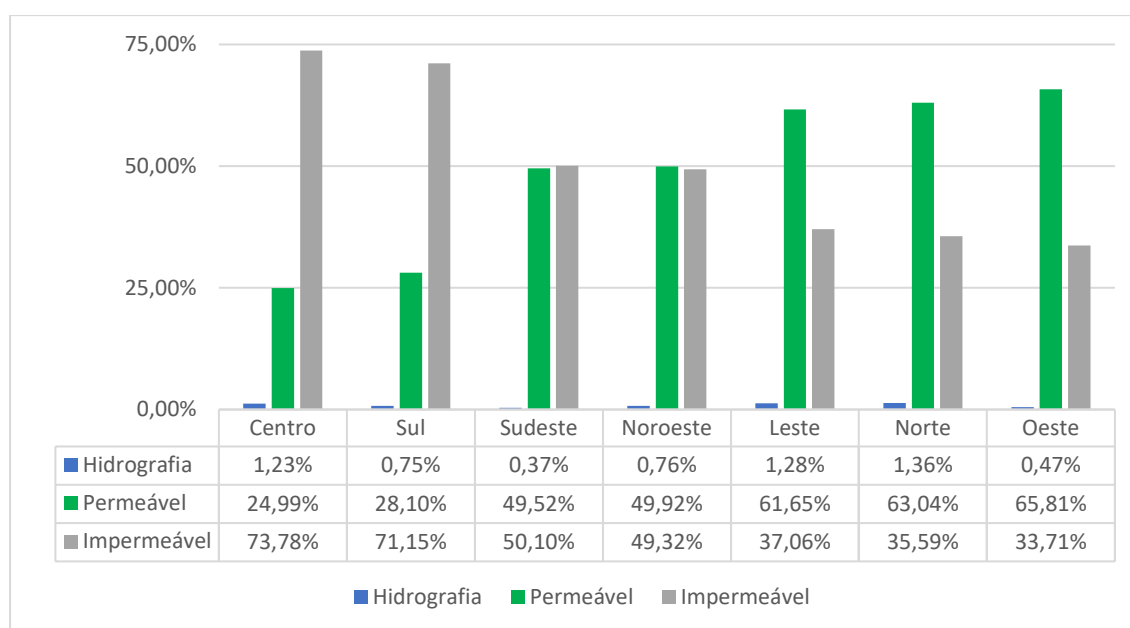
Da matriz de confusão (Tabela 3), infere-se inicialmente que a classe Solo gerou confusão expressiva com a classe Áreas Impermeáveis Intra quadras, o que levou a uma exatidão global

de 72%. Este fato pode ser justificado porque a classe Solos contempla os materiais dos telhados cerâmicos que possuem um comportamento espectral semelhante ao solo exposto, confundindo o classificador. Este problema é recorrente e também foi percebido por Menezes Filho (2013) e Novack (2009).

As classes Hidrografia, vegetação e vias e calçadas foram bem classificadas, apresentando valores com baixa confusões e alta separabilidade, ou seja, não ocorreram poucas interpretações equivocadas por parte do software, ficando com uma exatidão global acima de 90%.

Na Figura 12 são apresentados os resultados percentuais das áreas impermeáveis (nunca superiores a 75%), permeáveis e água (Hidrografia) para cada região da área de estudo utilizando a ferramenta GEOBIA.

Figura 12 - Percentual de permeabilidade e impermeabilidade do solo das regiões da cidade de Goiânia



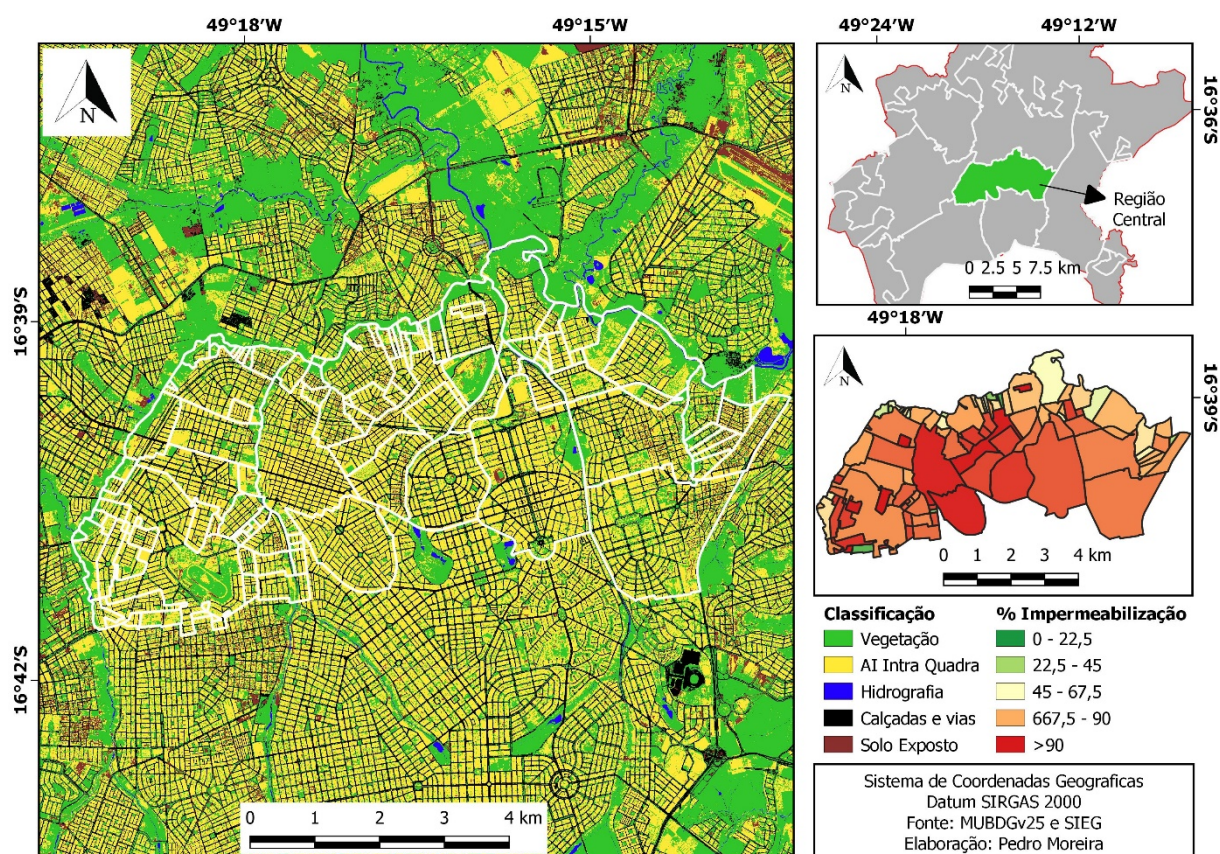
Fonte: Autores (2021)

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 11 e 12 é possível perceber que as regiões Central e Sul foram as que apresentam os maiores valores percentuais de impermeabilização dos solos em relação ao perímetro urbano de Goiânia. Isso pode ser justificado pelo fato de que essas duas regiões foram as pioneiras em relação a criação e urbanização da cidade e possuem uma alta densidade de prédios comerciais (shopping centers) e residenciais (condomínios fechados, horizontais e verticais) (MARINHO, 2006). Como consequência uma maior

utilização dos espaços, pensando em lotes e construções, tendo como resultado a diminuição de áreas de infiltração.

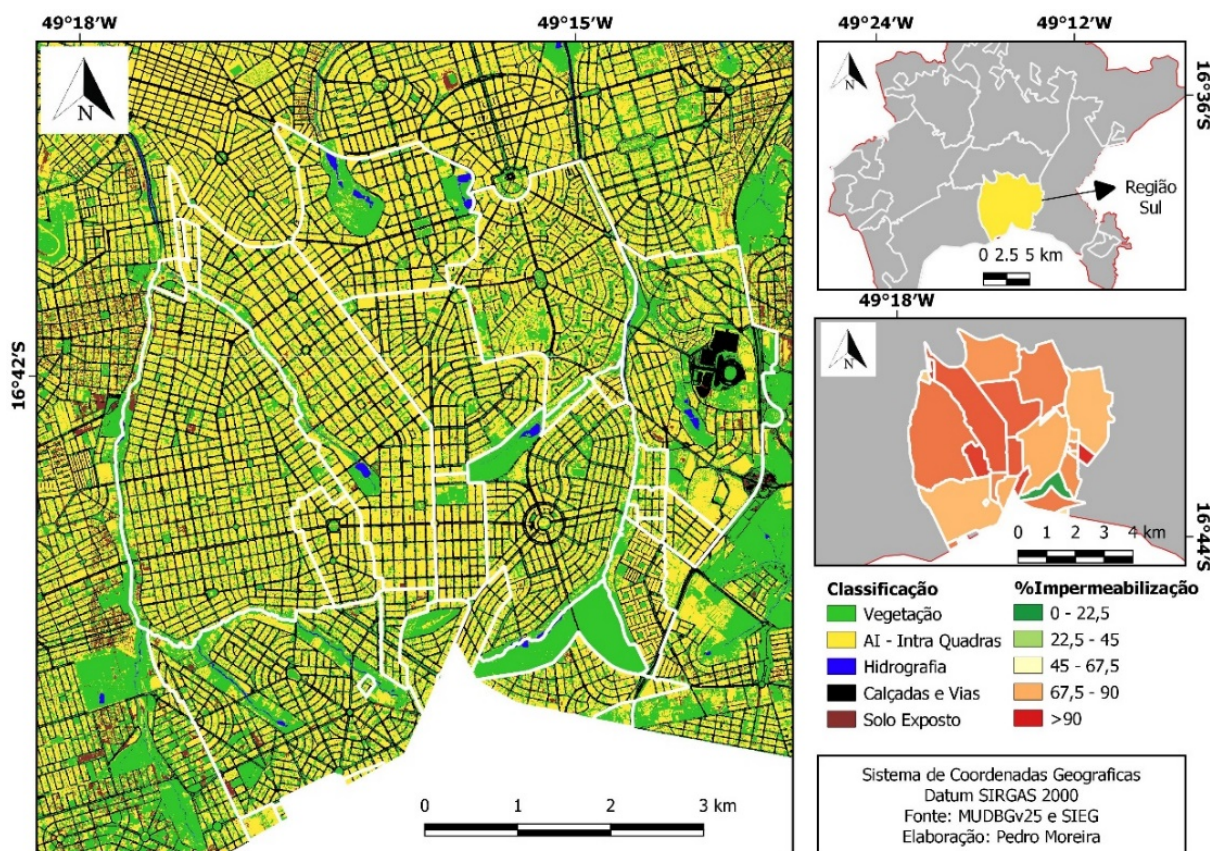
As Figuras 13 e 14 ilustram os bairros que compõem as regiões Central e Sul da cidade de Goiânia, destacando as porcentagens de impermeabilização do solo dos mesmos.

Figura 13 - Níveis de impermeabilização da região Central de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA



Fonte: Autores (2021)

Figura 14 - Níveis de impermeabilização região Sul de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA



Fonte: Autor (2021)

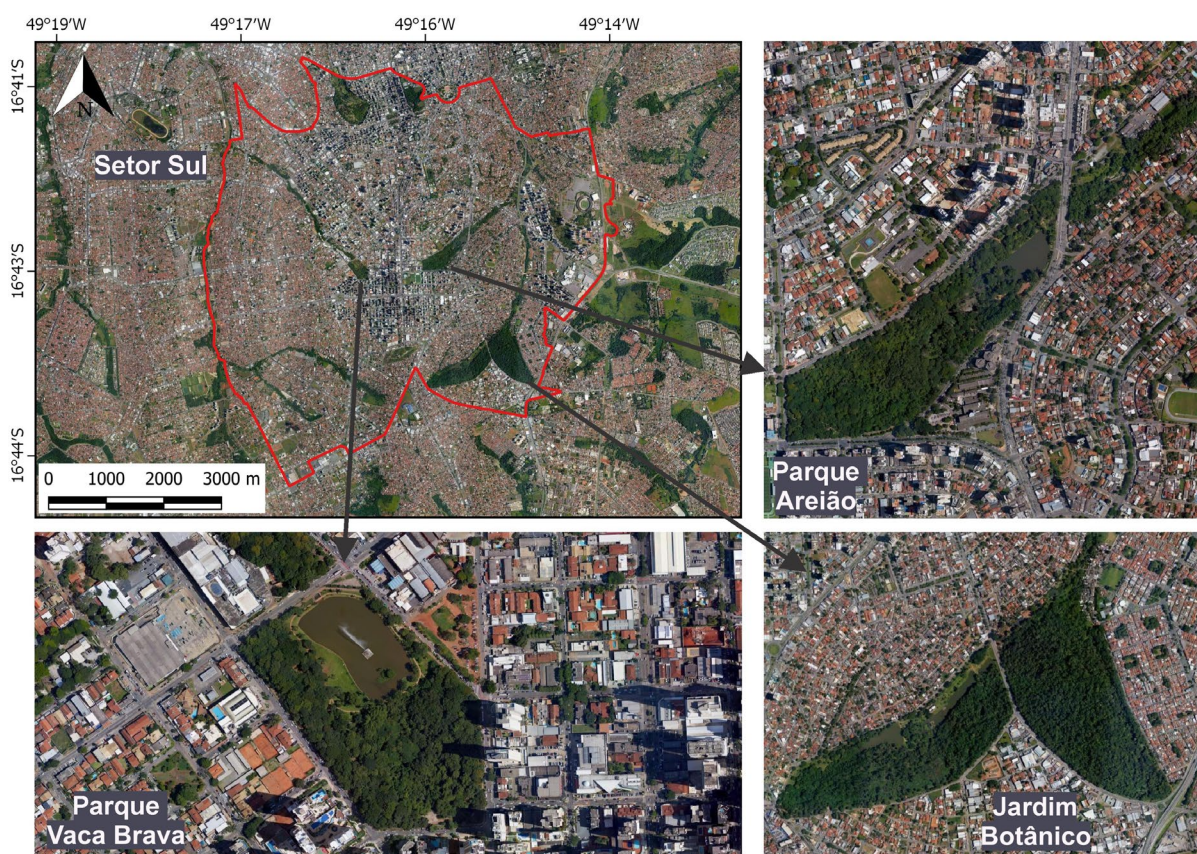
Nascimento e Oliveira (2015) apontam que os setores que compõem essas duas regiões destacam-se pelo amplo processo de verticalização devido ao fato de que no período compreendido entre as décadas de 1960 e 1980, Goiânia experimentou um rápido crescimento populacional com conseqüente processo de verticalização nos setores mais antigos e com maior densidade populacional. Pereira, Nascimento e Oliveira (2012) acrescentam que partir do final da década de 1970 e principalmente, ao longo das décadas de 1980 e 1990, a verticalização concentrou-se na parte alta do setor Bueno e a partir de então, houve um adensamento por diversos bairros, como os Oeste, Bela Vista, Aeroporto e Leste Universitário.

Destaca-se ainda os impactos ambientais e econômicos causados pelas inundações e alagamentos. Conforme apontado por Tucci (2009) o processo de urbanização e conseqüentemente impermeabilização do solo tornou-se uma das principais causas de inundações e deslizamentos em áreas urbanas.

Os resultados percentuais de áreas permeáveis obtidos para essas duas regiões atribuem-se ao fato de que a cidade de Goiânia é considerada altamente arborizada, sendo inclusive conhecida

como capital verde, possuindo ainda 187 unidades de conservação que somadas totalizam 1.657 ha de áreas verdes urbanas (PDAU, 2009), fato esse que fica mais evidente para a região Sul. Segundo dados da Secretária Municipal de Planejamento e Habitação (SEPLANH), essa região possui 40 parques públicos urbanos, sendo os principais: Vaca Brava, Areião e Bosque dos Buritis (Figura 15).

Figura 15 - Parques públicos urbanos da região Sul de Goiânia



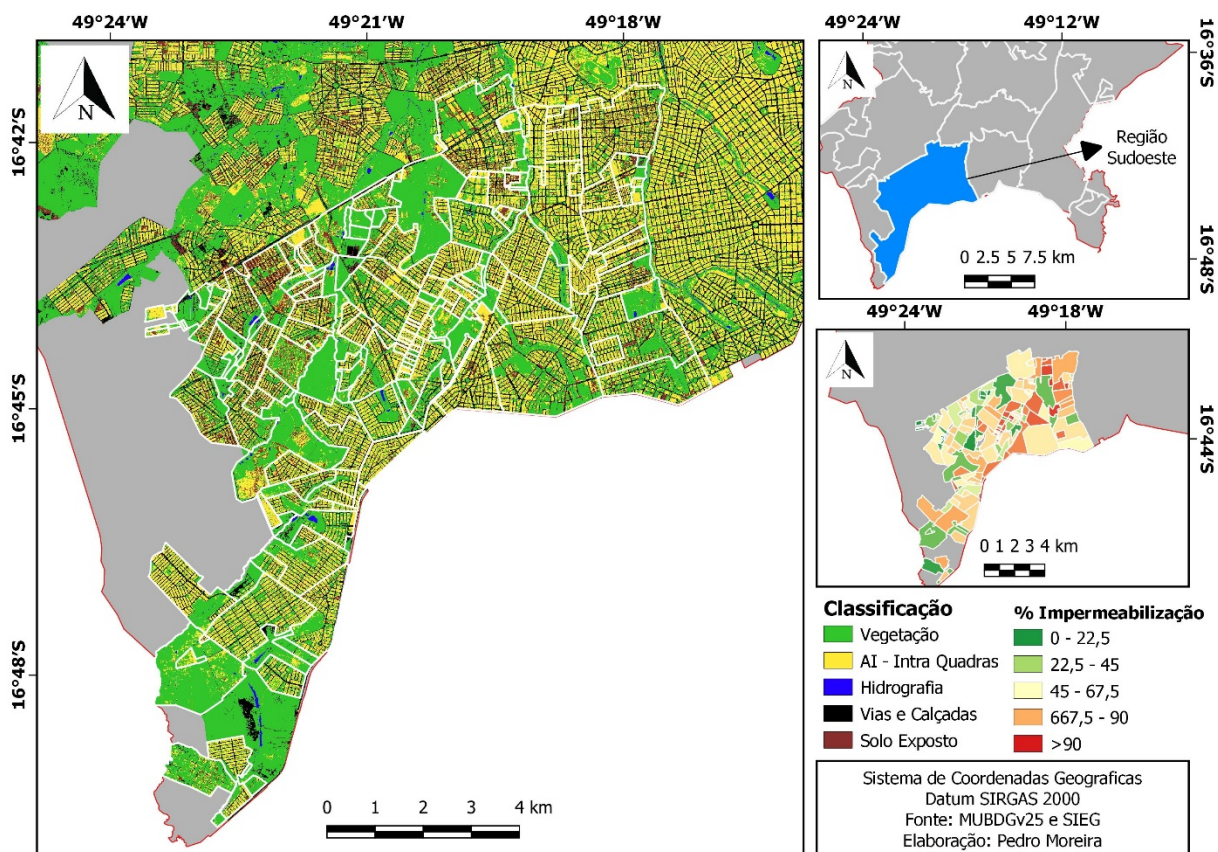
Fonte: Autores (2021)

Contudo, cabe destacar que a qualidade da água desses parques públicos urbanos pode ser afetada pelo forte processo de urbanização e consequentemente, impermeabilização do solo, decorrentes de processos de eutrofização e alagamentos. Nesse sentido, Mendes *et al.* (2019) avaliaram a qualidade da água de sete parques públicos urbanos na capital Goiânia e observaram que os lagos da região Central (Bosques dos Buritis e Lago das Rosas) e Sul (parque Vaca Brava, Areião e Flamboyant) apresentaram valores de $DBO_{5,20^{\circ}C}$ acima do nível permitido pela legislação ambiental vigente, que estabelece um limite de 5.0 mg L^{-1} CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Ainda, Mendes *et al.* (2019) indicam que a possibilidade desses valores de $DBO_{5,20^{\circ}C}$ estarem acima do estabelecido pela legislação pode estar associado ao transporte e acumulação de matéria orgânica carregada pelo excesso de geração das águas pluviais e a pouca reatividade dos lagos, o que está intrinsicamente relacionado à alta taxa de impermeabilização do solo nessas regiões da cidade de Goiânia. Por fim, destacam que os mesmos resultados foram observados nos trabalhos de Mateus *et al.* (2015), Santoro *et al.* (2016) e Gonçalves e Esposto (2019).

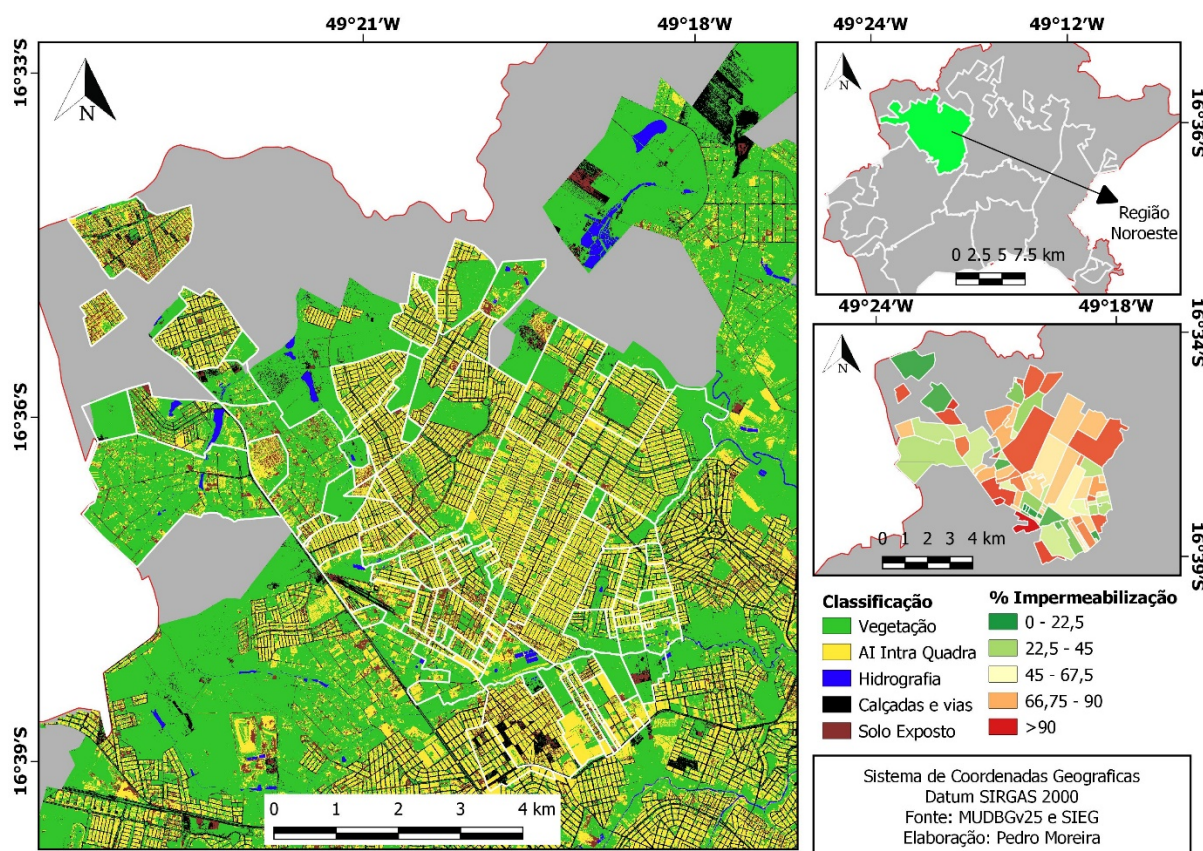
Apesar de apresentarem valores percentuais de impermeabilidade do solo cerca de 20% inferiores as regiões Central e Sul (Figura 12), as regiões Sudeste e Noroeste (Figuras 16 e 17) também se caracterizam por apresentar alta taxa de impermeabilização do solo, entre 50 e 49%, respectivamente.

Figura 16 - Níveis de impermeabilização da região Sudeste de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA



Fonte: Autores (2021)

Figura 17 - Níveis de impermeabilização da região Noroeste de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA



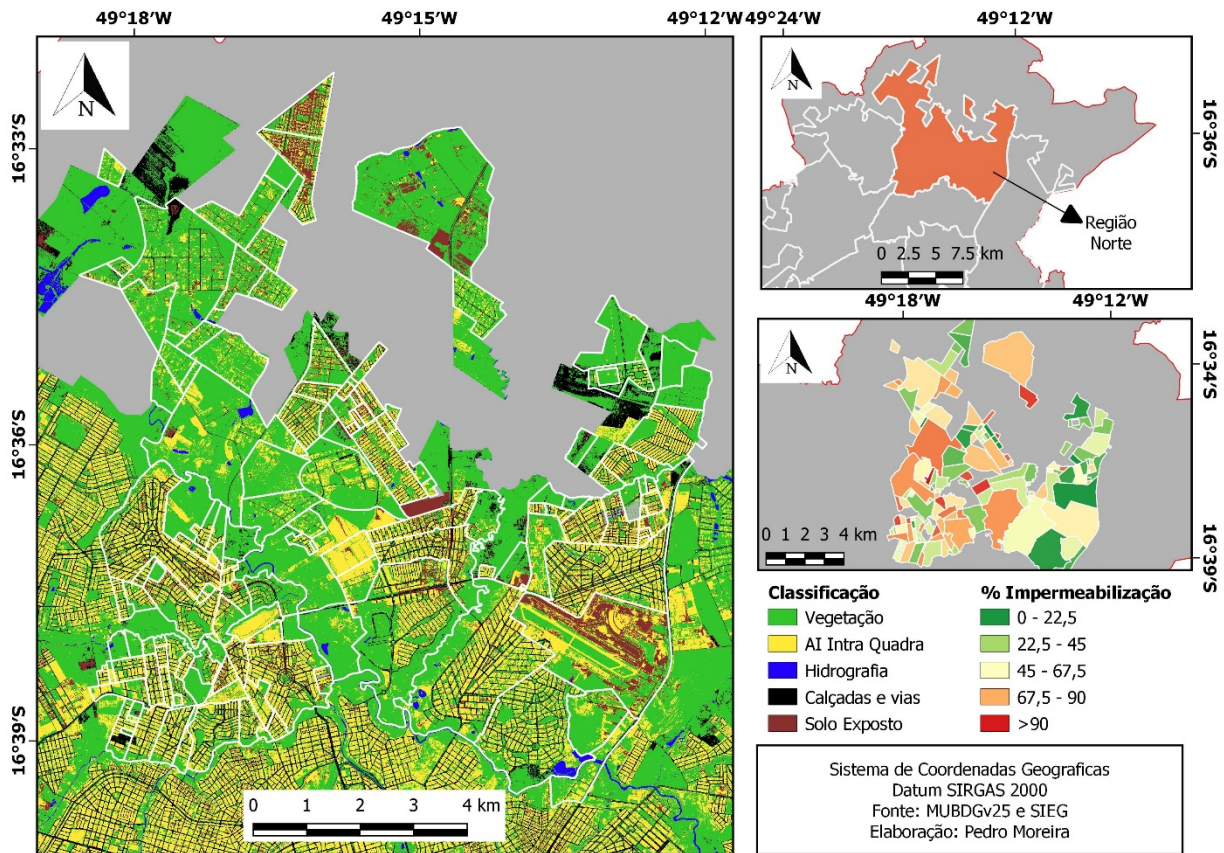
Fonte: Autor (2021)

Para entender o processo de ocupação da região Sudeste e Noroeste ao longo do tempo, deve ser levado em consideração a Lei Orgânica do Município de Goiânia (1990) e o Plano de Desenvolvimento Integrado de Goiânia (PDIG), reformulado no ano de 1992. A Lei orgânica do Município ampliou as pressões sobre o uso especulativo das terras urbanas, propiciando a venda de muitas glebas até então deixadas como reservas de valor e consequentemente diminuindo os chamados vazios urbanos nos anos seguintes. Por sua vez, o PDIG orientou o crescimento urbano em direção a região Sudoeste (Nascimento e Oliveira, 2015).

Contudo, ainda é possível identificar áreas dentro dessas duas regiões que ainda não foram loteadas, sendo esse um dos principais motivos para os valores médios percentuais de áreas permeáveis identificado nessas regiões.

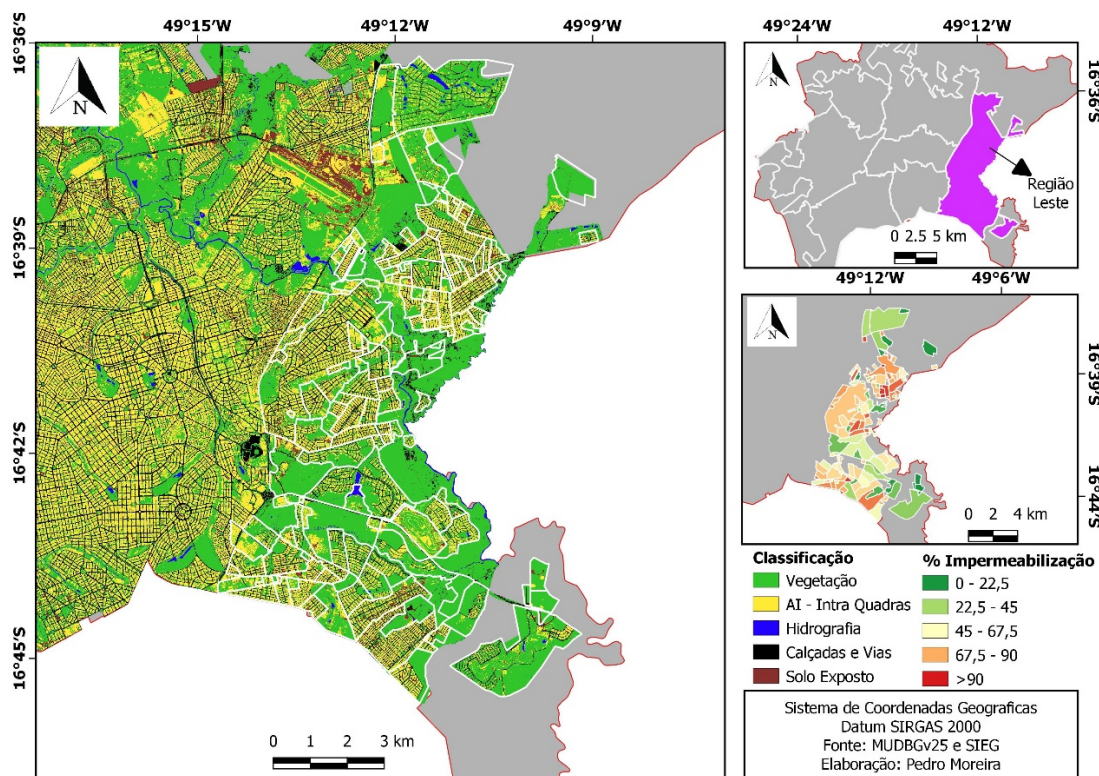
Por fim, tem-se as três últimas regiões de Goiânia que apresentaram os menores níveis de impermeabilização do solo, são elas: regiões Norte, Leste e Oeste (Figuras 18, 19 e 20).

Figura 18 - Percentual de impermeabilidade bairros das regiões Norte



Fonte: Autores (2021)

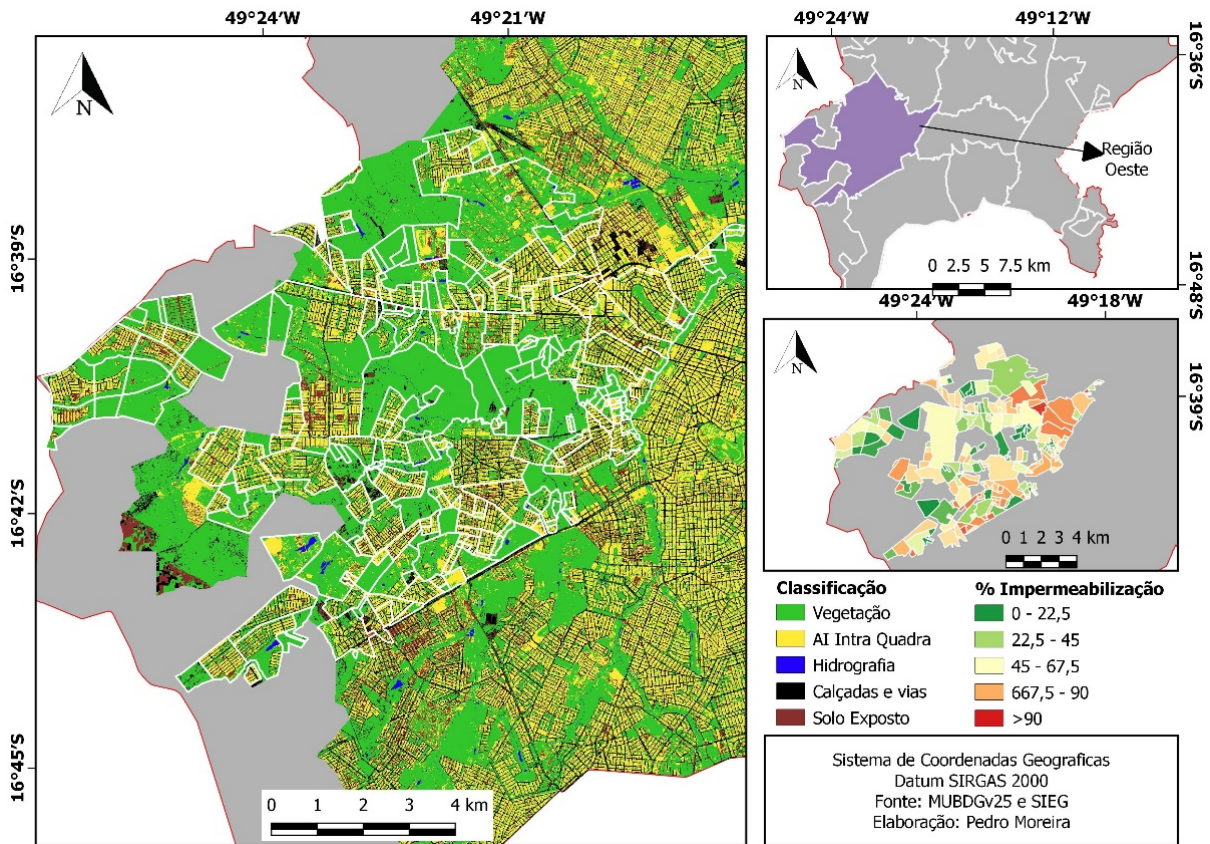
Figura 19 - Percentual de impermeabilidade bairros das regiões Leste



Fonte: Autores (2021)

Em relação as regiões Norte e Leste, destaca-se o que foi apontado pela Carta de Risco de Goiânia, elaborada no ano de 1992 e revisada em 2008, que considerou essas regiões como áreas impróprias à ocupação urbana com a indicação da necessidade de destinação destas à preservação ambiental e recarga de mananciais. No entanto, mais de 30% dessas áreas encontram-se impermeabilizadas. Destaca-se ainda que a região norte apresenta 14 pontos de inundações e alagamentos, relacionados principalmente com a retirada da cobertura vegetal decorrente do processo de urbanização.

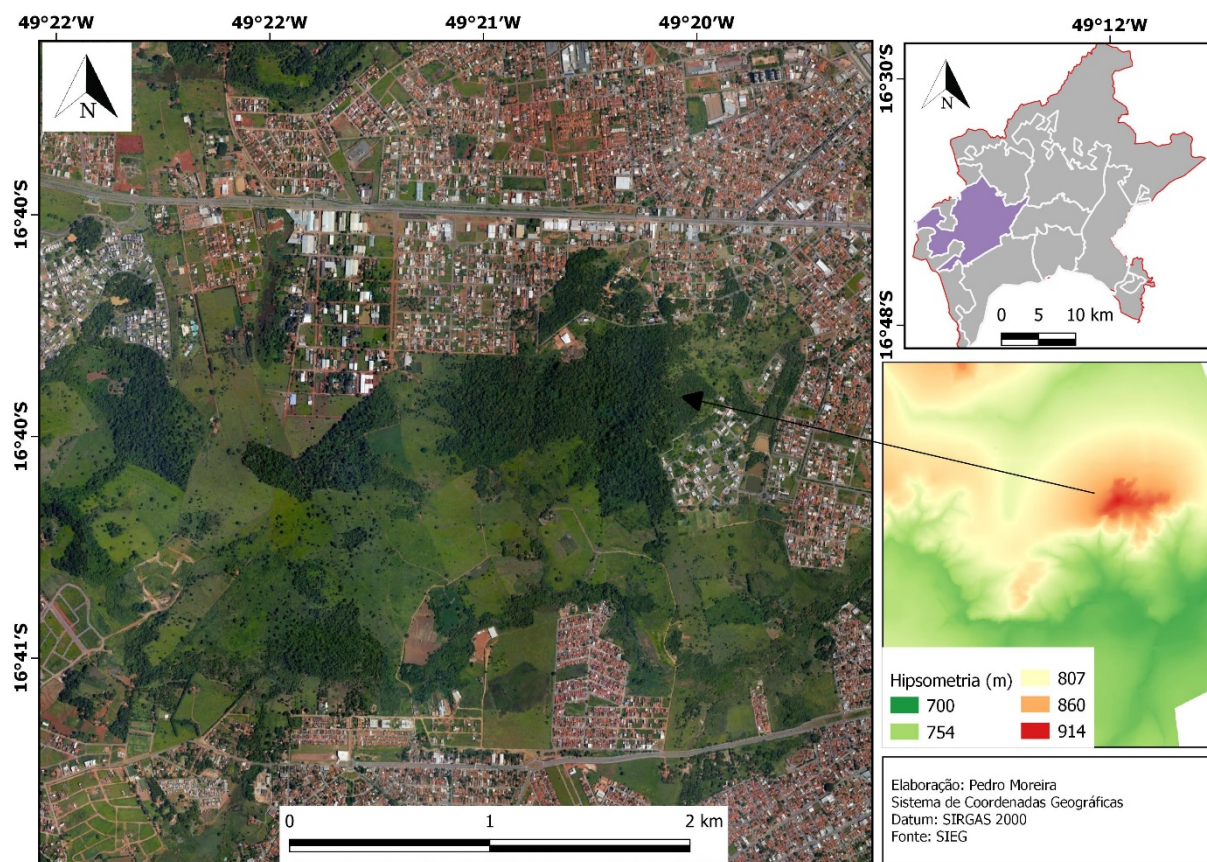
Figura 20 - Níveis de impermeabilização da região Oeste de Goiânia obtidos por meio da classificação GEOBIA



Fonte: Autores (2021)

Em relação à região Oeste, também é possível atribuir à Carta de Risco de Goiânia e ao PDGI que possibilitou uma menor ocupação dessa região, tendo em vista a presença do morro do Mendanha (Figura 21), área essa que deveria ser preservada com controle rigoroso de ocupação da parte remanescente de vegetação.

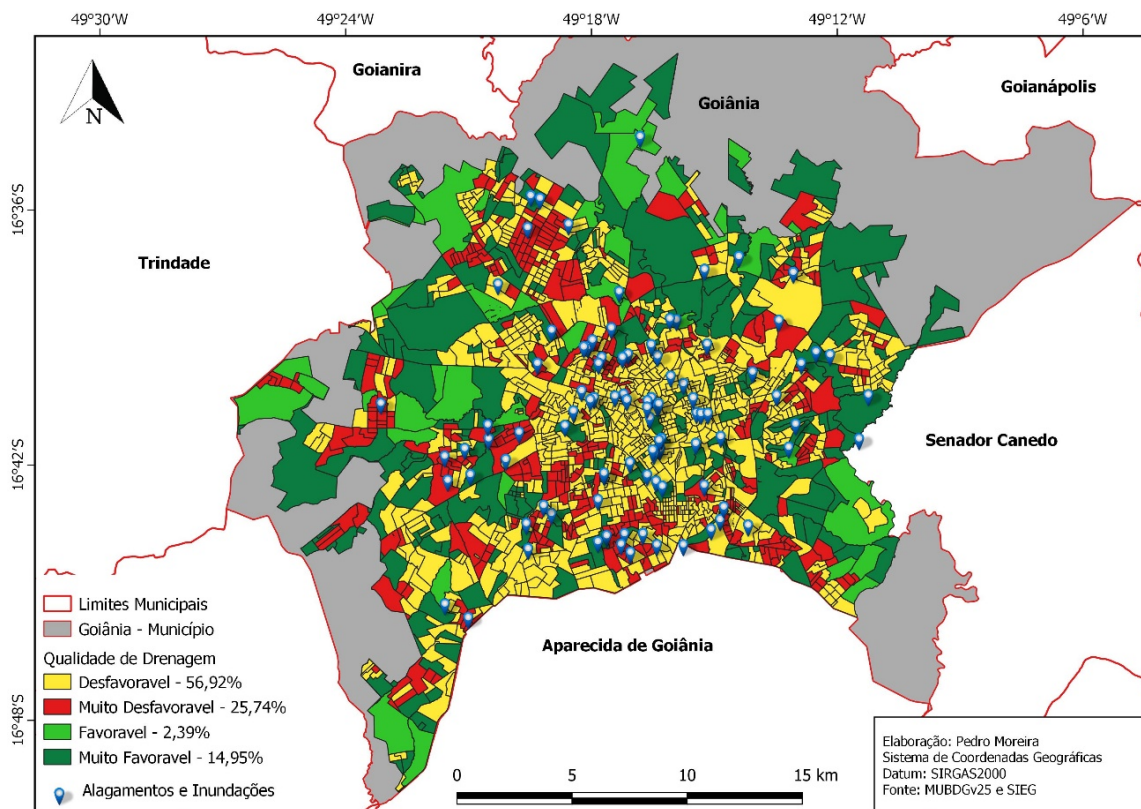
Figura 21 - Morro do Mendanha (Região Oeste de Goiânia)



Fonte: Autores (2021)

A Figura 22 , assim como a Tabela 4, apresentam os resultados obtidos na segunda etapa que visou elaborar um mapa da qualidade da drenagem urbana com base nos setores censitários da capital goiana.

Figura 22 - Qualidade da drenagem urbana nos setores censitários de Goiânia



Fonte: Autores (2021)

Tabela 4 - Relação de distribuição das classes de qualidade de drenagem para cada setor censitário da cidade de Goiânia x pontos de inundações

Situação	Setores censitários	Pontos de inundações
Desfavorável	929	48
Muito Desfavorável	420	21
Favorável	39	3
Muito Favorável	244	24
Total	1632	96

Fonte: Autores (2021)

Conforme apresentado na Tabela 4, na área de estudo predominam as situações Desfavorável e Muito Desfavorável (82,66%) que são caracterizadas por apresentarem características como alto índice de impermeabilização associados à valores de TWI médio. É possível observar também que as regiões central e sul da capital apresentam uma maior concentração de setores censitários classificados com uma qualidade de drenagem desfavorável ou muito desfavorável.

Isto está relacionado diretamente a grande impermeabilização dessas regiões 73 e 71%, respectivamente. As classes Favorável e Muito Favorável apresentam-se principalmente em regiões com um percentual de impermeabilização moderado, como as regiões leste, oeste e norte.

Pourali *et al.* (2016) e Ballerine (2017) também utilizaram fatores como o TWI para buscar espacializar a suscetibilidade a inundações e alagamentos. Concluem que o aumento populacional nos centros urbanos, observados nas últimas décadas, contribui para a perda de áreas úmidas, remoção de vegetação e impermeabilização do solo e construção de redes de drenagem artificial. O que intensifica a ocorrência de inundações e alagamentos.

Buscando-se um parâmetro de validação e análise do mapa gerado, fez-se a intersecção o mesmo com os pontos de alagamentos e inundações disponibilizados pela defesa civil de Goiânia. Conforme apresentado na Tabela 4, dos 96 pontos inundáveis, 69 pontos localizam-se em áreas classificadas com uma qualidade de drenagem Desfavorável ou Muito Desfavorável, o que representa 71%. Cabe destacar, no entanto, os 24 pontos encontrados em áreas classificadas como Muito Favorável. Isso se deve principalmente ao fato de que a simples presença de um equipamento de microdrenagem não representa necessariamente que o mesmo vai contribuir de forma positiva para a região. Ou seja, é necessário que além da existência do equipamento hidráulico, que o mesmo esteja em pleno funcionamento. Conforme apresentado pela Defesa Civil de Goiânia (2019), no mesmo relatório que relata os pontos de inundações e alagamentos, Goiânia possui um grande número de equipamentos de microdrenagem que apresentam diversos tipos de problemas tais como deposição inadequada de resíduos, falta de manutenção, estruturas dimensionadas de forma equivocadas entre outros.

Destaca-se ainda a importância desse tipo de ferramenta para a tomada de decisões frente aos problemas de drenagem urbana da capital, sendo possível verificar e identificar quais setores censitários apresentam uma maior necessidade de intervenção sanitária. Acrescenta-se ainda a possibilidade de se fazer a intersecção das informações do mapa de qualidade de drenagem com os dados dos setores censitários para que se possa identificar a quantidade e tipo de equipamento de microdrenagem existente e assim, identificar os equipamentos que porventura necessitam de manutenção.

5 CONCLUSÕES

Diante dos objetivos propostos e os resultados obtidos, no que se refere a determinação dos percentuais de áreas impermeáveis e da geração de um mapa com a qualidade de drenagem dos setores censitários no perímetro urbano do município de Goiânia, conclui-se que:

- a classificação GEOBIA ofereceu exatidão global e o índice Kappa considerados excelentes (88 e 85% respectivamente). No que tange aos problemas encontrados salienta-se as confusões obtidas entre a classe solo exposto e áreas impermeáveis intra quadras que foram devido ao fato de semelhança espectral com os telhados cerâmicos. Contudo, mesmo diante das confusões, geradas no processo de classificação, deve-se destacar a importância do dado de elevação que foi fundamental para separar tais classes. As outras classes abordadas no estudo apresentaram boa separabilidade;
- os maiores níveis de impermeabilização do solo foram encontrados para as regiões Central e Sul da cidade de Goiânia (73 e 71%, respectivamente).
- as demais regiões apresentaram índices de impermeabilização menores e próximos a 50%. Deve-se, no entanto, destacar a região norte que se encontra 35% urbanizada sendo que de acordo com a carta de risco de Goiânia essa região deveria ser preservada.
- Com base nos resultados obtidos em relação a classificação GEOBIA, pode-se considerar o software InterImage como uma alternativa viável para análises de imagens baseadas em objetos. Destacando ainda o fato do mesmo ser gratuito.
- foi observada a predominância das classes Muito Desfavorável e Desfavorável na área de estudos, com valores de 56,92 e 25,74% respectivamente, estando diretamente relacionadas com a quantidade de áreas impermeáveis resultantes da primeira etapa metodológica;
- apenas a existência de equipamentos de microdrenagem não melhora a classe de qualidade de drenagem urbana mas, que estes estejam em pleno funcionamento.
- A utilização de mapas de qualidade de drenagem fornece aos gestores públicos a capacidade de identificar riscos potenciais e a habilidade de planejar práticas de gestão de inundações e alagamentos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. A. **Estimativa da área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (Porto Alegre/RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2004. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- ANTUNES, R. R. **Desenvolvimento De Técnica Para Monitoramento Do Cadastro Urbano Baseado Em Classificação Orientada A Objetos. Estudo De Caso: Município De Goianésia – Goiás**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2014.
- ANTUNES, R. R.; BIAS, E. D. S.; COSTA, G. A. O. P. D.; BRITES, R. S. Object-based analysis for urban land cover mapping using the InterIMAGE and the Sipina free software packages. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v 24, n. 1, p. 1-17, 2018.
- ARNOLD, C. L. JR.; GIBBONS, C. J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. In: **Journal of the American Planning Association**, v.62, n.2, p.243-258, 1996
- BAUER, M. E.; LOFFELHOLZ, B. C.; WILSON, B. Estimating and mapping impervious surface area by regression analysis of Landsat imagery. In: WENG, Q. (Orgs.). **Remote Sensing of Impervious Surfaces**, p.2-20, 2007.
- BERNARDES, G. D.; BORGES, L. B.; TEIXEIRA, R. A. G. Repensando Goiânia da construção aos dias atuais. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 3, n. 1, p. 4-24, 2017.
- BERNARDI, H. V. F.; DZEDZEJ, M.; CARVALHO, L. M. T.; ACERBI JR, F. W. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientado ao objeto em imagem QuickBird. Universidade Federal de Lavras - UFLA. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**. Florianópolis: INPE, p. 5595-5602, 2007
- BLASCHKE, T.; HAY, G. J.; KELLY, M.; LANG, S.; HOFMANN, P.; ADDINK, E.; TIEDE, D. Geographic object-based image analysis-towards a new paradigm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 87, 2014

- BÜCKNER, J.; PAHL, M.; STAHLHUT, O.; LIEDTKE, C.-E. GEOAIDA – A knowledge-based automatic image data analyzer for remote sensing data. In: **ICSC Congress on Computational Intelligence Methods and Applications**. Bangor, Wales-UK. Proceedings of the Congress on Computational Intelligence Methods and Applications - CIMA 2001
- BURROUGH, P.; MCDONNELL, R. Spatial information systems and geostatistics. **Principles of Geographical Information Systems**, v. 333, 1998.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. SBC, X Escola de Computação, Campinas, 1996
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2001.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas In: Revista Brasileira de Engenharia. **Caderno de Recursos Hídricos**, v.12, n.2, p.79-94. 1994
- CANTERS, F.; CHORMANSKI, J.; VOORDE, T. V.; BATELAAN, O. Effects of different methods for estimating impervious surface cover on runoff estimation at catchment level. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL SCIENCES**, Lisboa. Anais... Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, p.557-566, 2006.
- CARTA de Risco do Município de Goiânia. (1991) Goiânia: IPLAN *et al.* 1 mapa, color., 107 cm x 140 cm. Escala 1: 40.000.
- CARVALHO, D. F.; MELLO, J. P. L.; SILVA, L. D. B.. **Hidrologia**. Irrigação e Drenagem, Rio de Janeiro, v.117, 2007
- CAVALCANTE, R. **Apostila de Introdução ao SIG**. Pró reitoria de planejamento e desenvolvimento UFMG, 2015
- CE – Comissão Europeia – **Orientações para melhores práticas para limitar atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos**. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2012
- CINTRA, M. A. **História de Goiânia**. In: Site da Prefeitura de Goiânia. Goiânia – GO, 2010. Disponível em < <http://www.goiania.go.gov.br/site/index.html>>. Acesso em 10 out 2020.

COLARES, I. V. V.; DE OLIVEIRA NUNES, M. T.; DE SOUSA, G. M.; DO COUTO FERNANDES, M. Aplicação de GEOBIA para classificação da cobertura da terra no Parque Nacional do Itatiaia. **Rev. Bras. Geom**, v. 3, n. 1, p. 24-31, 2015.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton-USA: Lewis Publisher, 1999.

CORRÊA, E. M. S. A expansão de Goiânia: uma abordagem cartográfica – 1933-1980. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade do Estado de São Paulo, 1981

COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B.; FERREIRA, R. S.; CASTEJON, E. F. Knowledge-Based Interpretation of Remote Sensing Data with the Interimage System: Major Characteristics and Recent Developments. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on 102 Geographic Object-Based Image Analysis - GEOBIA 2010**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII. ITC, Enshede. 2010.

COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M., KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B. INTERIMAGE: Uma Plataforma Cognitiva Open Source para a Interpretação Automática de Imagens Digitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, p. 331-337, 2008

CRUZ, C. B. M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. In. **Anais III Simpósio de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, p. 5691-98, 2007

DEFINIENS IMAGING. **eCognition: user guide**. p.468, 2004

DEFINIENS, A. G. **eCognition user guide**, 2007.

DESCLÉE, B.; BOGAERT, P.; DEFOURNY, P. Forest change detection by statistical object-based method. **Remote sensing of environment**, v. 102, n. 1-2, p. 1-11, 2006.

ELVIDGE, C. D.; MILESI, C.; DIETZ, J.; TUTTLE, B.; SUTTON, P. C.; NEMANI, R.; VOGELMANN, J. E. U.S. Constructed area approaches the size of Ohio. **EOS Transactions**, v. 85, n. 4, p. 233–240, 2004.

EMER, A. A.; GUIMARÃES, E.; MELLO, N. A. Reflexos da impermeabilização dos solos na qualidade da água do Córrego Fundo em Pato Branco – PR. IN.: **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis, 2013.

- ESTEVEES, R. L. **Quantificação das Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas por Meio de Sensoriamento Remoto**. 2006. 106p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006
- FERREIRA, R. S. Uma Abordagem multiescalar, multicritério para a segmentação de imagens. Dissertação (Mestrado de engenharia elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011
- FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global. Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto, Anais... **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - 2007**.
- FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. Oficina de Textos, 2008
- FOLEY, J. A., DEFRIES, R., ASNER, G. P., BARFORD, C., BONAN, G., CARPENTER, S. R., SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.
- FRIEDL, M. A. MCLVER, D. K.; HODGES, J. C.; ZANG, X. Y.; MUCHONEY, D.; STRAHLER, A. H.; SCHAAF, C. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. **Remote sensing of Environment**. v.83, n.1-2, p.287-302, 2002.
- GONÇALVES, J. C. D. S. I.; ESPOSTO, M. S. Water quality modeling of the São Joaquim stream. Brazil. **Ciência e Natura**, v. 41, e. 14, 2019.
- GOODCHILD, Michael F. Geographical information science. **International journal of geographical information systems**, v. 6, n. 1, p. 31-45, 1992
- HENDRYLI, J.; HERWINDIATI, D. E.; MERDI, J. Impervious land classification using bootstrap principal component analysis. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v.508, n.1, 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da População 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 09 de Agosto de 2020.
- INTERIMAGE. **InterIMAGE - Interpreting Images Freely**. Disponível em: <http://www.lvc.ele.pucRio.br/projects/interimage/> 2009.
- KÖRTING, T. S. **Classificação de imagens por regiões**. São José dos Campos, 2006

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1,p. 159-174, 1977.

LI, Q., LU, L., JIANG, H., HUANG, J., LIU, Z. Object-based urban land cover mapping using high-resolution airborne imagery and LiDAR data. In: **2018 Fifth International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)**. IEEE, 2018. p. 1-5.

LICHTBLAU, E.; OSWALD, C. J. Classification of impervious land-use features using object-based image analysis and data fusion. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 75, p. 103-116, 2019.

LINO, Natalia Cristina. **Expansão urbana da Região Metropolitana de Goiânia e os impactos sobre os recursos hídricos**. 2013. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Meio Ambiente), Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2013.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M.M.; JOHNSON, D.E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v.16, p.65–70, 2001.

LU, D.; HETRICK, S.; MORAN, E. Impervious surface mapping with Quickbird imagery. **International journal of remote sensing**, v. 32, n. 9, p. 2519-2533, 2011.

LU, D.; LI, G.; KUANG, E.; MORAN, E. Methods to extract impervious surface areas from satellite images. **International Journal of Digital Earth**, v. 7, n. 2, p. 93–112, 2013.

LUIZ, G. C.; ROMÃO, P. Interação solo-atmosfera e processos de inundação e alagamentos na cidade de Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 05, p. 1891-1903, 2019.

MARINHO, C. B. Região Sul de Goiânia: Um lugar valorizado na metrópole. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 10, n. 2, p. 113-129, 2006.

MARTINS, M. H.; MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S. Mapeamento de Superfícies Impermeáveis utilizando ortofotos, imagens de satélite e regressão linear. **Geography Department University of São Paulo**, v.35, p.91-101, 2018.

MATEUS, M. V; GONÇALVES, J. C. S. I; LOPES, JUNIOR G. L; OKURA, M. H. Análise de incerteza e modelagem de qualidade da água do Rio Uberaba, Minas Gerais, **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 37: 1-15, 2015.

MENDES, T. A.; SILVA, R. F.; NUNES, R. M.; SILVEIRA, Í. C.; BORBA, L. L.; GITIRANA JR, G. D. F. N., REBOLLEDO, J. F. R.; PEREIRA, S. A. S. Monitorio de la Calidad del Agua de los Lagos Artificiales y Naturales de los Parques Públicos Urbanos de la Ciudad de Goiânia-GO. **Ciência e Natura**, v. 41, pg. 58, 2019.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1. ed., v. 1. Brasília: CNPq, 2012

MENEZES FILHO, F. C. M. Estimativa das áreas impermeáveis de bairros de Porto Alegre-RS como etapa ao planejamento urbano. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 1, p. 33-42, 2013.

MORAES, S. **O empreendedor imobiliário e o Estado: o processo de expansão de Goiânia em direção sul (1975-1985)**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, 1991

MORAES, S. R. **Abordagem GEOBIA para a classificação do uso e cobertura da terra em área urbana associadas ao desenvolvimento de framework para monitoramento de inundações no município de Lajeado-RS**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, 2018.

MOREIRA, A. M. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Ed Editora UFV, 2a Ed., Viçosa MG, 2003

MOREIRA, M. A; CARDOSO, V; FREITAS, R. M; RUDORFF, B. F. Comparação da resposta espectral de alvos em imagens CBERS-2/CCD e LANDSAT-5/TM. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia: INPE, p. 1027-34, 2005

NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2010

NASCIMENTO, D. T. F.; DE OLIVEIRA, I. J. Mapeamento do processo histórico de expansão urbana do município de Goiânia-GO. **GEOgraphia**, v. 17, n. 34, p. 141-167, 2015

NASCIMENTO, M. A. L. S. Erosões Urbanas em Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v. 14, n. 1, p. 77-101, jan./dez. 1994

NATURE. **Careers and Recruitment Mapping Opportunities: Scientists who can combine geographic information systems with satellite data are in demand in a variety**

of disciplines - Disponível em <

<http://www.nature.com/nature/journal/v427/n6972/full/nj6972-376a.html>>, 2004

NAVULUR, K. Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm. **Boca Raton: Taylor & Francis Group**, p. 165, 2006

NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor QuickBird**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Ed. Edgard Blucher Ltda, 3a Edição, São Paulo, 2008

OLIVEIRA, J. A., DUTRA, L. V., RENNÓ, C. D., SANTOS, P. S. Extração de Atributos de Forma para Classificação de Imagens de Alta Resolução do Satélite HRC/CBERS-2B. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 25-30., Abril., 2009, Natal, Anais. São José dos Campos : INPE, 2009

O'NEIL-DUNNE, J.; MACFADEN, S.; ROYAR, A. A versatile, production-oriented approach to high-resolution tree-canopy mapping in urban and suburban landscapes using GEOBIA and Data Fusion. **Remote Sensing**, v.6, n.12, p.12837–12865, 2014

PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. 95 p. (INPE-15211-TAE/71). PhD Thesis - Universidade de Hannover, São José dos Campos. 2008

PASSO, D. P. **Análise Da Qualidade De Classificadores Para Identificação De Alvos Urbanos Em Imagens De Alta Resolução Espacial - Uma Aplicação Com As Imagens Do Satélite Worldview II**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília – Instituto de Geociências – IG. Brasília – DF, Março de 2013.

PDAU. Plano diretor de arborização urbana de Goiânia. Goiânia: AMMA, 2008, 134 p.

PINHO, C. M. D.; FEITOSA, F. da F.; KUX, H. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 12, p. 4217-4224, 2005.

REGO, T. L. **Chuvvas e Inundações em Goiânia: Dinâmica atmosférica e áreas de risco**. Dissertação (Mestrado – Instituto de Estudos Socioambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015

- REZENDE, S. C. P. Expansão e fragmentação do território: Goiânia de cidade planejada à metrópole regional. **Desenvolvimento Regional em debate**, v.9, p.22-42, maio 2019
- RIBEIRO, B. M. G. Extração de superfícies impermeáveis a partir de imagens QuickBird aplicando classificação orientada a objeto. **Anais do 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá**, p. 259-269, 2009.
- RIBEIRO, M. E. J. **Goiânia: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes**. Goiânia: Editora da UCG. 2004
- RODRIGUES, T. C.; KUX, H. J. Uso do software livre Interimage para a classificação orientada a objetos em área de expansão urbana na ilha do maranhão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 3, 2015.
- RODRIGUES, T. C.; KUX, H. J. Uso Do Software Livre Interimage Para A Classificação Orientada A Objetos Em Área De Expansão Urbana Na Ilha Do Maranhão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 3, 2015.
- SANTORO, M. C; REIS, J. A. T; MENDONÇA, A. S. F. Performance evaluation of optimization models in the determination of wastewater treatment efficiencies inside watersheds. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n. 4, p. 694-706, 2016.
- SANTOS, K. R.; ROMÃO, P. A. Espacialização de inundações em Goiânia-GO (2004-2007). **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v.30, n.2, p. 81-97, 2010.
- SANTOS, R. M. M. e CARVALHO, J. C. Ensaio de Erodibilidade em Voçorocas do Município de Goiânia. In: **XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, 1998, Brasília, Anais, p. 581-588, Brasília, 2010
- SCHUELER, T.R. The importance of imperviousness. In: **Watershed Protection Techniques**, v.1,n.3, p.100-111, 1994
- SEPLANH – Secretaria Municipal de Planejamento e Habitação. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/shtml/aprovnet/principal.shtml>. Acesso em: 10 de Out. 2020.
- SILVA, J. F.; PAZ, Y. M. SILVA, P. P. L.; PEREIRA, J. A. S.; CANDEIAS, A. L. B. Remote Sensing vegetation index for processing images in the visible band (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.9, n.4, p.228-239. 2019.
- SLONECKER, E. T.; JENNINGS, D. B.; GAROFALO, D. Remote sensing of impervious surfaces: A review. **Remote Sensing Reviews**, v. 20, n.3, p.227-255, 2001.

- SONG, L.; LIU, S.; KUSTAS, W. P.; ZHOU, J.; XU, Z.; XIA, T.; LI, M. Application of remote sensing-based two-source energy balance model for mapping field surface fluxes with composite and component surface temperatures. **Agricultural and forest meteorology**, v. 230, p. 8-19, 2016.
- STREGLIO, C. F. da C.; NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. de . O processo de expansão urbana e seus reflexos na redução da cobertura vegetal no município de Goiânia - GO. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, v. 28. pp. 181-197, 2013
- TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de modernização do setor Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério das Cidades, 2005.
- TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas**. Estudos avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, jan. 2008.
- TUCCI, C.E.M. **Águas Urbanas**. In: TUCCI, C.E.M e BERTON, J.C. (Org). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001
- TUCCI, C.E.M., BRAGA JR, B.P.F. E SILVEIRA, A. Avaliação do impacto da urbanização nas cheias urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos**, v. 7,n.1, p.77-101. 1989
- VAN DE VOORDE, T.; DE ROECK, T.; CANTERS, F. A comparison of two spectral mixture modelling approaches for impervious surface mapping in urban areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, p. 4785–4806, 2009.
- VAN DE VOORDE, T.; JACQUET, W.; CANTERS, F. Mapping form and function in urban areas: An approach based on urban metrics and continuous impervious surface data. **Landscape and Urban Planning**, v. 102, n. 3, p. 143–155, 2011.
- WENG, Q. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. **Remote Sensing of Environment**, v. 117, p.34-49, 2012.
- WU, C. Quantifying high-resolution impervious surfaces using spectral mixture analysis. **Internacional Journal of Remote Sensing**, v.30, n.11, p.2915-2932, 2009.
- YANG, F.; MATSUSHITA, B.; FUKUSHIMA, T. A pre-screened and normalized multiple endmember spectral mixture analysis for mapping impervious surface area in Lake

Kasumigaura Basin, Japan. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 5, p. 479–490, 2010.

YANG, L.; HUANG, C.; HOMER, C. G.; WYLIE, B. K.; COAN, M. J. An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETM+ and high spatial resolution imagery. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.29, n.2, pp.230-240, 2003.

ZHANG, X.; ZHONG, T.; WANG, K.; CHENG, Z. Scaling of impervious surface area and vegetation as indicators to urban land surface temperature using satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 4, p. 841–859, 2009.