

# USO DE VANT PARA MAPEAMENTO DAS TAXAS DE PERMEABILIDADE URBANA INTRA-LOTE

*MONITORING THE IMPREVIOUS SURFACE AT PARCEL LEVEL USING UAV IMAGERY*

*USO DE VANT PARA MAPEO DE TASAS DE PERMEABILIDAD URBANA DENTRO DE LOTES*

## RESUMO

A urbanização desordenada e as consequentes alterações no uso do solo urbano vêm resultando na recorrência de eventos de inundações urbanas, demonstrando a necessidade de aperfeiçoamento nas políticas de planejamento e expansão urbana. Nesse contexto, o mapeamento do uso e ocupação do solo por meio de sensoriamento remoto é uma importante ferramenta de suporte à tomada de decisão pela administração pública. Com os avanços da tecnologia, a possibilidade de obtenção de imagens por meio de VANTS (Veículos aéreos não tripulados) se popularizou. Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo, avaliar a efetividade do uso de imagens aéreas de altíssima resolução espacial obtidas por VANT, enquanto ferramenta para o mapeamento e fiscalização das taxas de permeabilidade intralotes. O estudo foi realizado na área urbana do município de Irati – PR, utilizando um ortomosaico com resolução espacial de 3 cm. Os resultados demonstraram o potencial da metodologia proposta para obtenção de dados diferentes usos do solo urbano. Apesar da classificação manual apresentar como desvantagem o grande tempo demandado para sua execução, sobretudo para grandes áreas, a altíssima resolução espacial e a qualidade das imagens obtidas por VANT, trazem uma nova perspectiva dentro desta temática, principalmente em relação à melhor possibilidade de monitoramento e fiscalização.

**Palavras-chave:** Planejamento Urbano. Impermeabilização. Uso do solo. Sensoriamento Remoto. Enchentes

## ABSTRACT


Disorderly urbanization and the consequent changes in urban land use have resulted in the recurrence of urban flood events, demonstrating the need for improvement in urban planning and expansion policies. In this context, the mapping of land use and occupation through remote sensing is an important tool to support decision-making by the public administration. With advances in technology, the possibility of obtaining images by means of VANTS (Unmanned Aerial Vehicles) became popular. Therefore, this research aimed to evaluate the effectiveness of using aerial images of very high spatial resolution obtained by UAV, as a tool for mapping and monitoring intra-lot permeability rates. The study was carried out in the urban area of the city of Irati – PR, using an orthomosaic with a spatial resolution of 3 cm from the study area. The results demonstrated the potential of the proposed methodology to obtain data from land use urban differences. Although manual classification has as a disadvantage the large time required for its execution, especially for large areas, the very high spatial resolution, in addition to the quality of the images obtained by UAV, bring a new perspective within this theme, especially in relation to the best possibility of monitoring and oversight.

**Keywords:** Urban planning. Waterproofing. Use of the Soil. Remote Sensing. Floods.

## RESUMEN

La urbanización desordenada y los consiguientes cambios en el uso del suelo urbano han resultado en la recurrencia de eventos de inundaciones urbanas, lo que demuestra la necesidad de mejorar las políticas de planificación y expansión urbana. En este contexto, la cartografía del uso y ocupación del suelo a través de

 Aparecido Ribeiro de Andrade <sup>a</sup>

 Nayara Rafaela de Mendonça Pavan <sup>b</sup>

 Paulo Costa de Oliveira Filho <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR, Brasil

<sup>b</sup> Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR, Brasil

<sup>c</sup> Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2024.70905

**Correspondência:**

apaandrade@gmail.com

**Recebido em:** 31 out. 2022

**Revisado em:** 08 mar. 2024

**Aceito em:** 08 mar. 2024





la teledetección es una importante herramienta de apoyo a la toma de decisiones por parte de la administración pública. Con los avances de la tecnología se ha popularizado la posibilidad de obtener imágenes a través de UAVs (Vehículos Aéreos No Tripulados). Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad del uso de imágenes aéreas de muy alta resolución espacial obtenidas por UAV, como herramienta para mapear y monitorear tasas de permeabilidad intralote. El estudio se llevó a cabo en el área urbana del municipio de Irati - PR, utilizando un ortomosaico con una resolución espacial de 3 cm. Los resultados demostraron el potencial de la metodología propuesta para obtener datos sobre diferentes usos del suelo urbano. A pesar de la desventaja de la clasificación manual, el largo tiempo requerido para su ejecución, especialmente para áreas grandes, la resolución espacial muy alta y la calidad de las imágenes obtenidas por UAV, traen una nueva perspectiva dentro de este tema, principalmente en relación con la mejor posibilidad. de seguimiento y vigilancia.

**Palabras Clave:** Urbanismo. Impermeabilización Uso del Suelo. Detección Remota. Inundaciones.



## INTRODUÇÃO

As problemáticas resultantes do crescimento urbano desordenado vêm ganhando cada vez mais espaço nas discussões acadêmicas. No Brasil, o processo de urbanização intensificou-se a partir da década de 60 e de modo geral, ocorreu sem o devido planejamento (MOTA, 2003), chegando, na contemporaneidade, a taxa de urbanização correspondente a 84,4%, o que resulta em grandes aglomerações de população em pequenos espaços (IBGE, 2010).

Essas aglomerações urbanas e as conseqüentes alterações no uso da terra, reduzem as áreas que permitem o processo de infiltração. Esse processo faz com que aumente o volume e velocidade do escoamento superficial, causando desequilíbrio nos processos hidrológicos (FONTES e BARBASSA, 2003; DU et al., 2015; RICHERT et al., 2011).

O aumento da vazão de pico e a redução do tempo de concentração das águas pluviais na superfície da bacia hidrográfica frente a um sistema de drenagem não eficientes, muitas vezes culmina na ocorrência de inundações urbanas (RAVAZZANI et al, 2009; YANG et al., 2011; ZHOU et al., 2017). A crescente ocorrência desses eventos no Brasil e no mundo, demonstra a necessidade de inovação no que diz respeito às políticas públicas de planejamento e expansão urbana.

As forças da natureza e a necessidade dos recursos para a manutenção da sociedade humana são processos dialéticos e antagônicos, mas que definem o espaço vivido desde o início da civilização. A sociedade humana está influenciando cada vez mais na alteração do equilíbrio existente. Esse processo começa com o desmatamento, passando pela urbanização, culminando com a emissão de gases poluentes, além dos efluentes domésticos e industriais. Tudo isso contribui para a alteração no balanço de energia atmosfera/superfície terrestre. Vários estudos demonstram o impacto desse processo (COSTA et al., 2012; FREITAS et. al., 2014; ARAÚJO, 2021).

Bertoni e Tucci (2003) afirmam que o avanço da urbanização, principalmente em países com desenvolvimento tardio, tem ocorrido de forma insustentável. Esse processo, na maioria das vezes, se dá pela ocupação de áreas impróprias, sensíveis a eventos extremos como inundações e movimentos de massa. Nessas áreas é comum a falta de acesso a serviços básicos de saneamento como água tratada, esgotamento sanitário e manejo das águas pluviais urbanas, aumentando a deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente urbano. Tal situação é dinâmica e, em muitos casos, tem potencializado a ocorrência de desastres chamados naturais.



Os ambientes urbanos cada vez mais concentram esses desastres naturais, os quais tem uma definição que nem sempre converge entre os especialistas. Entretanto, o risco à ocorrência de desastres decorre da inter-relação sociedade-natureza, sendo necessário destacar que ele não é uma fatalidade natural, mas sim “um processo essencialmente social, que se diferencia no espaço e tempo, e decorre da exposição do sistema social a fenômenos ambientais adversos” (VESTENA, 2017, p. 41).

De acordo com o Art. 182 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), os municípios são responsáveis pelo controle do desenvolvimento e expansão urbana, sendo a estes atribuídos o processo de elaboração, detalhamento e aplicação de diretrizes de uso e ocupação do solo.

O zoneamento de uso do solo, denotado no plano diretor, apresenta-se como um dos principais instrumentos do planejamento urbanístico. Conforme estabelecido pela Lei Federal nº 10.257 conhecida como Estatuto da Cidade, além do tipo de uso (residencial, comercial, misto, industrial, institucional entre outros), o plano diretor deve definir os parâmetros urbanísticos de ocupação do solo: coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, taxa de permeabilidade do solo, recuo e gabarito para cada zoneamento.

Dentro do contexto de mapeamento e fiscalização do uso e ocupação do solo, as geotecnologias caracterizam-se como uma importante ferramenta para a gestão do território, a qual vem sendo de grande relevância para elaboração de políticas públicas, caracterizando-se como um importante suporte para tomada de decisão (BERHANE e WALRAEVENS, 2013, POLIDORO e BARROS, 2010; NATH et al., 2018).

As geotecnologias referem-se ao conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica. Dentre as quais, estão: os sistemas de informação geográfica (SIG), a cartografia digital, o sensoriamento remoto (SR), o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e a topografia georreferenciada, por exemplo (ROSA, 2005).

O SR foi definido por Meneses e Almeida (2012), como a ciência que busca o avanço da obtenção de imagens da superfície terrestre a partir da detecção e medição quantitativa das respostas das interações entre a radiação eletromagnética e os materiais terrestres.

Desde 1995, Tin-Seong já apontava o uso integrado de SIG com técnicas de SR para a análise do uso e cobertura do solo urbano. Desde então, com o desenvolvimento da tecnologia de SR e de processamento de seus produtos, foram desenvolvidos diversos estudos de classificação de uso e ocupação do solo urbano usando diversos sensores como: Quick-Bird, IKONOS, SPOT, WorldView2 e outras imagens de alta resolução espacial (RIZEEI et al., 2019).



O SR, durante muito tempo, esteve associado apenas às imagens obtidas de satélites ou a partir de aeronaves tripuladas com um conjunto de sensores aéreos. O crescente desenvolvimento de plataformas não tripuladas, e os avanços tecnológicos dos sensores de detecção acoplados a estas, os VANTs - Veículos aéreos não tripulados, entre outros, atualmente são considerados excelentes ferramentas de SR (PAJARES, 2015).

Conforme descrito por Momeni et al., (2016) as áreas urbanas sofrem alterações constantes e são extremamente heterogêneas. O uso e ocupação dessas áreas é caracterizado por um mosaico formado por materiais antropogênicos (como asfalto, concreto, telhas e outras superfícies impermeáveis) e superfícies naturais (por exemplo: grama, árvores, solo descoberto, corpos d'água etc.). O que, de acordo com Zhou e Troy (2008), faz com que as imagens espaciais nem sempre sejam eficazes para o mapeamento de uso e ocupação do solo urbano.

Os VANTs, apresentam-se como uma alternativa potencial no processo de obtenção de imagens para esse fim, uma vez que possibilitam o imageamento com altíssima resolução espacial e apresentam outras vantagens como o baixo custo, e a possibilidade de realização de voos com baixa altitude e em locais de difícil acesso (WATTS et al., 2012).

Perussi (2023) analisou a variação da temperatura superficial em setores urbanos do município de São Carlos (SP) utilizando uma câmera térmica acoplada a um VANT. O autor concluiu que a metodologia foi extremamente eficaz para demonstrar diferenças de temperatura, principalmente na escala de mais detalhe (microescala). Ao final o autor recomenda o uso de vários sensores acoplados ao VANT ou até mesmo o uso de vários veículos para possíveis correlações.

Outro estudo de clima urbano, mas que faz uma proposta inovadora para o uso do VANT em medições verticais da temperatura do ar, foi realizado por Megda (2020). Nesse estudo foi monitorado 35 pontos no perímetro urbano de Franca (SP), organizado em 6 Zonas Climáticas Locais. Suas conclusões, especificamente sobre o uso de VANT, demonstraram que o método se mostrou extremamente eficiente e promissor para os registros tridimensionais de fenômenos microclimáticos, principalmente na identificação de ilhas de calor verticais, ou seja, acima do nível dos pedestres.

Em estudos agrários ou rurais, o uso do VANT também tem se mostrado cada vez mais promissor, tanto nas pesquisas básicas como aplicadas, mas é principalmente nas questões relacionadas com a integração a agricultura de precisão que esse procedimento tem evoluído muito. Contudo, neste momento a ANAC vem discutindo regulamentações de tipos e formas de uso de VANT, que em breve devem se tornar



disponíveis e padronizar o uso. Isso porque existem muitos relatos de quedas de VANTs por diferentes motivos, sendo os principais a falta de manutenção, seguir procedimentos de operação e falhas de operação por parte do operador (JORGE e INAMASU, 2014). Isso valoriza a técnica, mas chama a atenção para seu uso indiscriminado, sem regulamentação específica e sem treinamento adequado.

Na área de drenagem urbana, o uso do VANT tem sido importante também. Os dados mais precisos e de fácil aquisição, são os dados planialtimétricos, essenciais ao delineamento de redes de drenagem. Leal (2019) utilizou essa metodologia dimensionamento de um sistema de microdrenagem pluvial na zona da Feira Livre de Pau dos Ferros – RN e concluiu que a metodologia foi extremamente eficiente, principalmente para obtenção de dados precisos em pesquisas de curta duração. O autor concluiu que o coeficiente ponderado obtido através do VANT de 0,78 se encontra entre os limites de 0,7 e 0,9 recomendados pela bibliografia, recomendando o uso do procedimento data a viabilidade deste equipamento na elaboração de projeto de microdrenagem, pois o nível de detalhe no levantamento diminui as incertezas e torna-o mais econômico.

O município de Irati, localizado no Estado do Paraná, sofre com a ocorrência de inundações e enxurradas urbanas desde a década de 1940 (FREITAS, 2018) e nos últimos anos essas ocorrências se intensificaram devido à existência de ocupação de áreas de extrapolação do leito fluvial, existência de construções irregulares e ausências de áreas permeáveis para a infiltração da precipitação (SANTOS et al., 2016). A Lei Municipal N° 4231 de 30 de dezembro de 2016 (IRATI, 2016) que dispõe sobre o uso e ocupação do solo urbano e rural do Município e estabelece taxas de permeabilidade mínimas variando de 50% a 70% em zonas residenciais, porém não contempla um mecanismo de fiscalização efetivo.

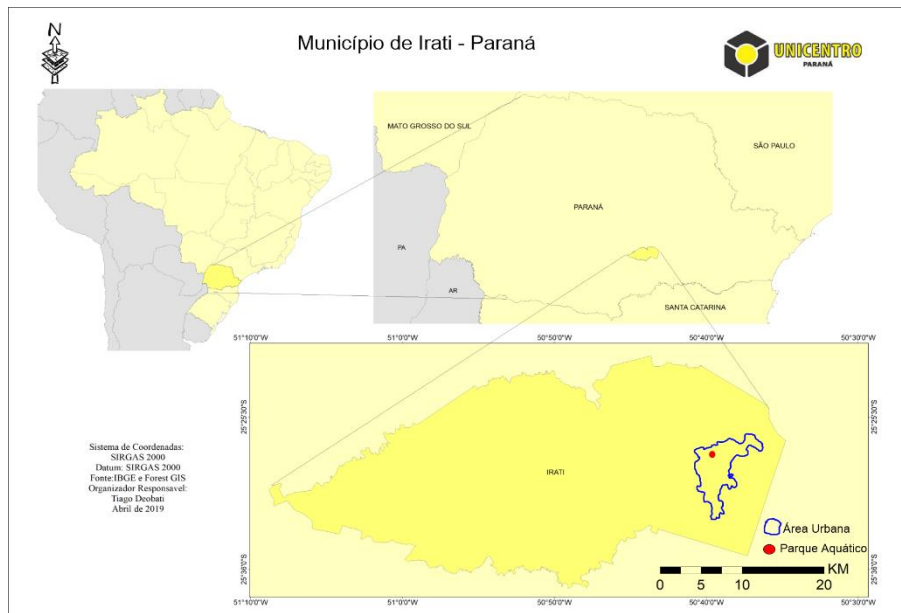
Dentro desse contexto, o presente estudo visa verificar a eficiência da utilização de imagens aéreas obtidas a partir de VANT na fiscalização das taxas de ocupação intralote de parcelas urbanas do município de Irati, Paraná.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **Área De Estudo**

A área de estudo encontra-se nas proximidades do Parque Aquático e de Exposições Santa Terezinha, na área urbana do município de Irati (Figura 1), localizada na microrregião sudeste do estado de Paraná.

Figura 1: Localização Geográfica da Área de Estudo (Parque Aquático de Irati-PR)



Fonte: organizado pelos autores

O município de Irati, Paraná, sofre com ocorrência de inundações e enxurradas urbanas recorrentes. Segundo Kruk e Freitas (2017) no período de 1983 a 2015 ocorreram 16 eventos pluviométricos caracterizados como extremos ou intensos.

De acordo com a Lei Municipal N° 4231 de 30 de dezembro de 2016 (IRATI, 2016) que dispõe sobre o uso e ocupação da terra urbana e rural de Irati, a áreas de estudo pertence à Zona Residencial Um (ZR1). A ZR1 é destinada predominantemente ao uso residencial unifamiliar e bi familiar de baixa densidade, para a taxa mínima de permeabilidade é de 40%.

De acordo com Projeto de Lei nº 107/2019 (IRATI, 2019), que dispõe sobre o PDDU (Plano Diretor de Drenagem Urbana) do município de Irati, esta área está localizada entre a Sub- Bacia do Arroio do Meio e a Sub Bacia do Alto das Antas.

### Levantamento Aéreo e Processamento aerofotogramétrico

A obtenção das imagens aéreas de altíssima resolução espacial da área de estudo deu-se por meio de levantamento aéreo, utilizando um VANT DJI Phantom 3 Standard, modelo enquadrado na Classe 3, segundo RBAC -E nº 94 da ANAC (2017), e portador de câmera digital RGB de 12 MegaPixels. O modelo de



VANT utilizado conta com um sistema de GPS, o qual aplica coordenadas estimadas em cada foto, porém sem um sistema de RTK embarcado essas coordenadas não recebem correção diferencial

A fim de otimizar a precisão e acurácia do ortomosaico foram utilizados 4 pontos de controle em campo possibilitando assim a correção das coordenadas no pós-processamento. Esses pontos de controle foram distribuídos nas bordas das áreas aere levantadas, e foram rastreados por meio do um receptor GNSS Trimble R4 RTK com dupla frequência. Sendo que a base rastreou um ponto de controle e o receptor móvel (*rover*) coletou os demais pontos.

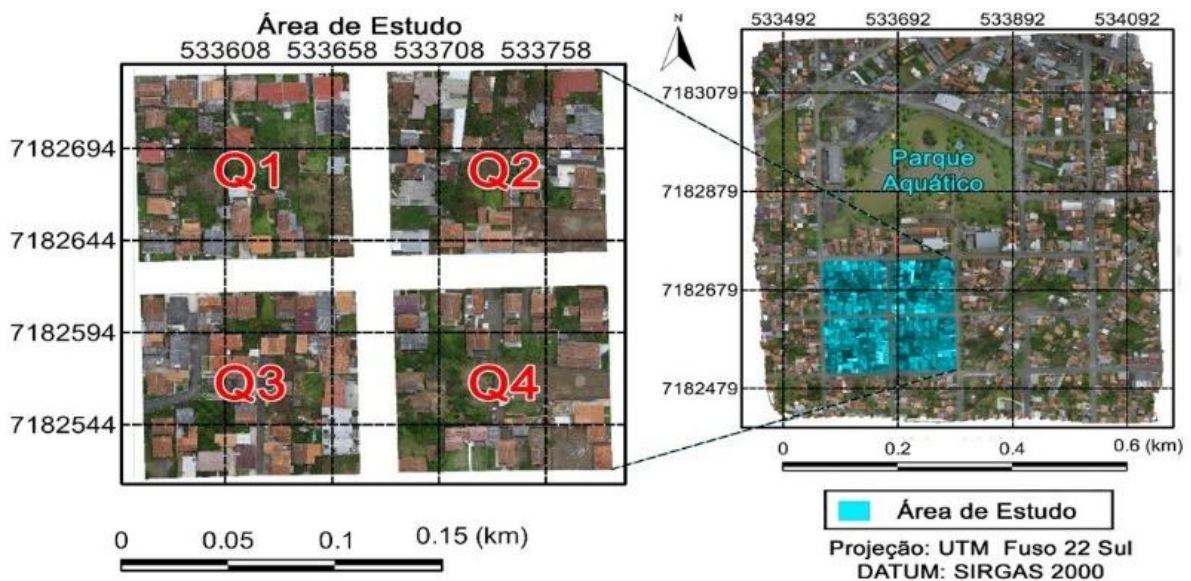
O planejamento do voo foi desenvolvido na versão gratuita do aplicativo Pix4D, e o abrangeu uma área de aproximadamente 0,39 km<sup>2</sup> e foi realizado no mês de outubro de 2018, com altura de voo de 80 m. Foram obtidas 273 imagens resultando em um mosaico no formato JPG com resolução de 2048x1535 pixels, com sobreposição frontal de 80% e com resolução GSD (*Global Distribution System*) de 3 cm/pixel.

Os dados GNSS coletados pelos receptores foram pós-processados pelo método PPP - Posicionamento por Ponto Preciso, que se trata de um serviço online gratuito oferecido pelo IBGE. As coordenadas corrigidas por PPP foram inseridas na versão gratuita do Topcon Tools 8.2 onde foi desenvolvido o pós-processamento dos arquivos *rover* até se obter a solução fixa das efemérides transmitidas. A seguir, as imagens foram inseridas no *software Agisoft® Photoscan 1.3.4* para processamento aerofotogramétrico. Assim, por meio das coordenadas geográficas de cada fotografia, e aerotriangulação de pixels homólogos o mesmo gerou os mosaicos de imagens ortorretificadas no formato TIFF.

Após a geração desses ortomosaicos, optou-se por efetuar recortes de modo a minimizar o tempo de processamento das etapas seguintes. Durante a escolha da área recortada buscou-se abranger maior diversidade de cenas urbanas, e buscando as quadras com menor distorção. Após o recorte, a área de estudo passou a corresponder a quatro quadras do bairro Rio Bonito, totalizando aproximadamente 0,05 km<sup>2</sup>. Cada quadra foi identificada com uma numeração conforme apresentado na Figura 2 para facilitar a realização das análises dos diferentes alvos urbanos.



Figura 2: Ortomosaico e área de estudo.



Fonte: Autores (2022)

### Classificação das Imagens

As classes de uso do solo foram definidas utilizando-se interpretação visual com identificação das principais feições e alvos mapeados na cena. Para as análises das taxas de permeabilidade intralotes foram definidas as classes: pedra brita, solo exposto, vegetação arbórea, e vegetação rasteira foram consideradas superfícies permeáveis. Enquanto às classes: piso cerâmico piso de concreto, telhado colorido, telhado de concreto, telhado de fibrocimento ou metálico, telhado de cerâmica antiga, telhado de cerâmica nova, foram consideradas superfícies impermeáveis. 00

O Quadro 1 apresenta exemplos de segmentos de imagem de cada uma das classes consideradas permeáveis bem como as classes consideradas impermeáveis e suas respectivas chaves de interpretação e cores que serão utilizadas para representar cada uma classe nos mapas de cobertura de terra.

**Quadro 1** - Chave de Interpretação para as classes de cobertura da terra

Superfícies Permeáveis				
Classe	Segmento De Imagem	Cor Atribuída a Classe	Descrição	Chave De Interpretação
Pedra brita		Cinza escuro	Estacionamento não pavimentado recoberto de brita	Forma: irregular Cor: cinza escuro Textura: rugosa
Solo expostp		Marrom frio	Áreas de solo exposto	Forma: irregular Cor: marrom Textura: pouco rugosa
Vegetação arbórea		Verde escuro	Copas das arvores	Forma: irregular Cor: verde escuro Textura: rugosa
Vegetação rasteira		Verde claro	Áreas de vegetação rasteira, grama	Forma: retangular ou irregular Cor: verde claro Textura: pouco rugosa
Superfícies Impermeáveis				
Classe	Segmento De Imagem	Cor Atribuída a Classe	Descrição	Chave De Interpretação
Piso cerâmico		Rosa	Pavimentos revestidos por placas de revestimento cerâmico ou porcelanato	Forma: retangular Cor: clara Textura: lisa
Piso de concreto		Cinza escuro	Pavimento feito em concreto	Forma: retangular Cor: cinza claro e médio Textura: lisa
Telhado colorido		Vermelho	Cobertura de edificações com telhas de concreto	Forma: retangular Cor: vermelhos escuros Textura: rugosa
Telhado de concreto		Azul esverdeado	Cobertura de edificações com telhas de concreto	Forma: retangular Cor: cinza escuro Textura: rugosa
Telhado de fibrocimento / metálico		Cinza claro	Cobertura de edificações com fibrocimento ou metálicas	Forma: retangular Cor: cinza médio Textura: linhas alongadas
Telhado de cerâmica antigo		Marrom quente	Cobertura de edificações c/ telhas de cerâmica com coloração alterada pelo tempo	Forma: retangular Cor: marrom Textura: rugosa
Telhado de cerâmica nova		Laranja	Cobertura de edificações com telhas cerâmicas	Forma: retangular Cor: laranja Textura: rugosa

Fonte: Autores (2021).

### Classificação Manual – Classes de cobertura da terra

Essas imagens de altíssima resolução espacial apresentam um alto nível de detalhamento, possibilitando por meio de técnicas de fotointerpretação cognitiva, a detecção de diferentes alvos urbanos



de forma confiável. Então fazendo uso da técnica de vetorização sobre tela em ambiente computacional. O *software* utilizado nessa etapa foi o *AutoCAD MAP 3D*® versão 2019 da *Auto Desk* com licença concedida a estudante.

Em seguida, os arquivos vetoriais foram exportados no formato DXF para o SPRING 5.4.3 INPE/DPI, onde foi criada uma topologia de polígono. Então, cada polígono foi associado a uma das classes pré-definidas descritas no Quadros 01.

Os mapas temáticos, apresentando a distribuição das classes pré-definidas de ocupação da terra cada área de estudo, foram elaborados no *TerraView* 5.3.3. E após esta primeira classificação mais detalhada, no intuito de possibilitar o confronto com a legislação municipal no que diz respeito à taxa mínima de permeabilidade intralote, essas classes foram agrupadas em superfícies permeáveis e superfícies impermeáveis.

#### Extração das Taxas de Permeabilidade Intralote e Confrontamento com a Legislação

Após o agrupamento das classes, foram identificadas as proporções de área impermeabilizada em cada lote. Para facilitar a análise dos resultados, os lotes de foram ordenados de acordo com o número da quadra e do lote.

Então esses dados foram confrontados com o a taxa de permeabilidade mínima determinada pela Lei Municipal N° 4231 de 30 de dezembro de 2016 (IRATI, 2016). Para assim ser possível avaliar a efetividade das técnicas propostas como ferramenta para o mapeamento e fiscalização das taxas de permeabilidade intralotes.

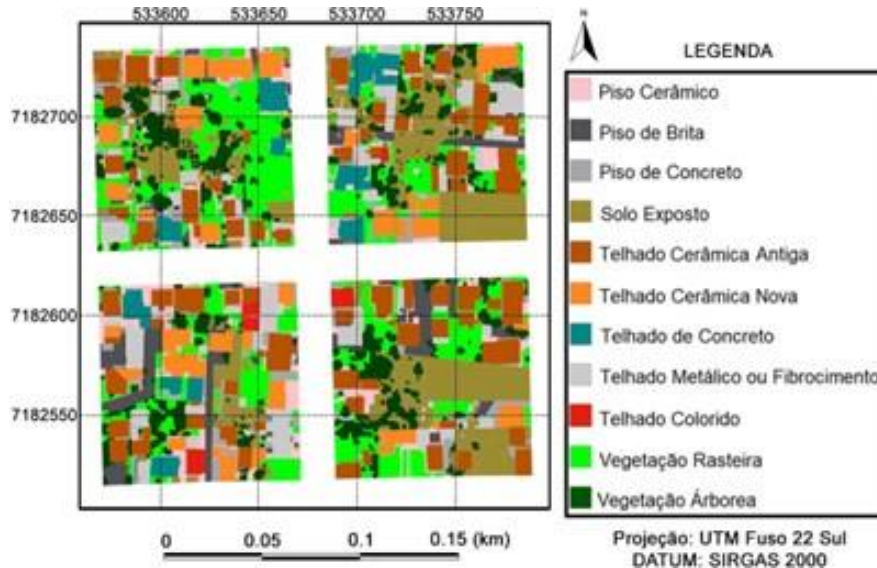
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vetorização manual resultou em 1.422 polígonos, os quais foram associadas as 11 diferentes classes de cobertura de terra urbana previamente definidas. A Figura 3 apresenta o resultado espacial dos trabalhos de interpretação e classificação manual.

Com intuito de possibilitar a posterior análise das taxas de permeabilidade intralotes, as classes de cobertura foram agrupadas nas superclasses “Superfícies Permeáveis” e “Superfícies Impermeáveis”.

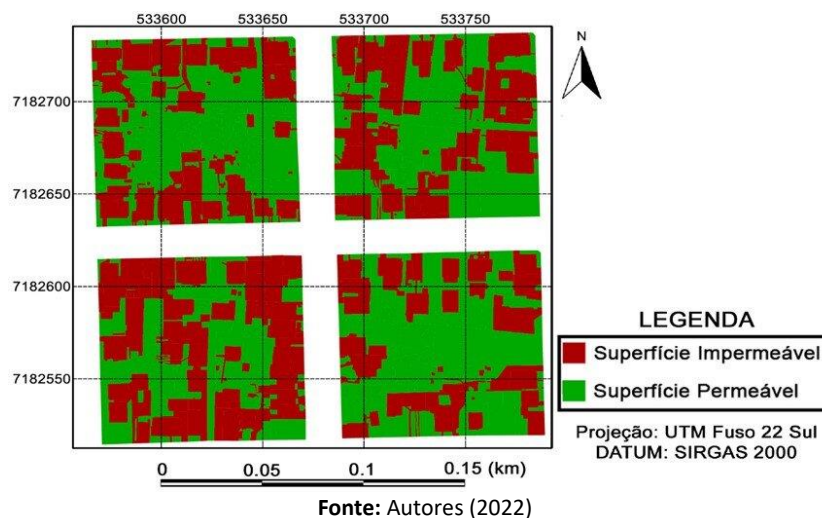
Nesse sentido, a Figuras 3 e 4, demonstram visualmente o resultado da classificação manual de cobertura e permeabilidade do solo na área de estudo. As análises subsequentes serão feitas de forma quantitativa, a partir dos resultados desse mosaico de usos e aptidões.

**Figura 3:** Classificação manual de cobertura do solo da área de estudo



A Figura 4 apresenta o resultado espacial da classificação de permeabilidade do solo urbano da área de estudo.

**Figura 4:** Classificação manual de permeabilidade do solo da área de estudo.



A Tabela 1, por sua vez, apresenta as áreas (em m<sup>2</sup>) das classes de permeabilidade na área de estudo e seus respectivos percentuais de ocupação tanto por quadra como da área de estudo.



Tabela 1 - Área e porcentagem classes de permeabilidade do solo por quadra da área de estudo

	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Impermeável (m <sup>2</sup> )	Área Total (m <sup>2</sup> )	Ocupação Permeável (%)	Ocupação Impermeável (%)
Q1	5750,79	4343,42	10094,21	56,97%	43,03%
Q2	5233,46	4779,57	10013,03	52,27%	47,73%
Q3	4137,20	5916,47	10053,67	41,15%	58,85%
Q4	6200,53	3770,94	9971,47	62,18%	37,82%
<b>Total</b>	<b>21321,98</b>	<b>18810,39</b>	<b>40132,37</b>	<b>53,13%</b>	<b>46,87%</b>

Fonte: Autores (2021)

Ao analisar a área de estudo como um todo, o percentual de superfícies permeáveis é ligeiramente superior (53,13%) que o de superfícies impermeáveis (46,87%). Entretanto, esse percentual não pode ser considerado satisfatório, uma vez que a área de estudo conta com nove lotes sem nenhuma área construída, e sendo assim é importante considerar que a ocupação futura dessas áreas provavelmente irá aumentar o percentual de impermeabilização.

## TAXAS DE PERMEABILIDADE INTRALOTE E CONFRONTAMENTO COM A LEGISLAÇÃO

### Taxas de Permeabilidade Intralote Quadra 01

A Quadra 1 (Q1) é composta por 23 lotes os quais têm suas áreas totais, permeável e impermeável de acordo apresentadas na Tabela 2. A tabela também apresenta a coluna “Atende” na qual a opção “Sim” sinaliza que a taxa de permeabilidade do lote é superior aos 40% ou seja, atende o limite mínimo delimitado na legislação municipal, e “Não” para os lotes onde esse limite não é atingido.

No intuito de tornar os resultados de taxa de permeabilidade mais visuais, a Figura 5 apresenta a representação gráfica de permeabilidade dos lotes da Q1 da área de estudo. Conforme a qual é possível observar que dos 23 lotes que compõem a Q1, nove lotes apresentaram irregularidades com a legislação municipal. Ao analisar o gráfico também é possível perceber que alguns lotes como o Q1L02 apresentam taxas de permeabilidade bem abaixo dos 40% estabelecidos para a zona de ocupação onde se encontra a área de estudo.



Tabela 2 - Áreas permeável e impermeável intralote da Q1

LOTE	Área Lote (m <sup>2</sup> )	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Impermeável(m <sup>2</sup> )	Atende
Q1L01	240,62	78,04	162,58	Não
Q1L02	248,90	27,36	221,54	Não
Q1L05	563,87	220,76	343,11	Não
Q1L06	334,92	122,96	211,96	Não
Q1L07	187,97	61,42	126,55	Não
Q1L08	549,84	393,44	156,40	Sim
Q1L09	606,32	430,64	175,68	Sim
Q1L10	252,86	48,00	204,86	Não
Q1L11	447,02	164,39	282,64	Não
Q1L12	463,34	276,72	186,62	Sim
Q1L13	402,39	241,72	160,67	Sim
Q1L13	943,84	741,29	202,55	Sim
Q1L14	261,27	148,24	113,03	Sim
Q1L14	388,70	138,55	250,15	Não
Q1L15	408,10	221,80	186,30	Sim
Q1L16	423,88	141,45	282,43	Não
Q1L17	566,30	259,51	306,79	Sim
Q1L18	686,48	506,34	180,14	Sim
Q1L19	731,19	446,95	284,24	Sim
Q1L20	283,75	188,69	95,06	Sim
Q1L21	555,21	552,23	2,98	Sim
Q1L22	242,46	150,26	92,20	Sim
Q1L23	304,97	190,03	114,94	Sim

Fonte: Autores (2022)

Figura 5: Taxas de Permeabilidade dos Lotes da Q1.



Fonte: Autores (2022)

### Taxas de Permeabilidade Intralote Quadra 02

A Quadra 2 (Q2) é composta por 24 lotes os quais têm suas áreas totais, permeáveis e impermeáveis apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Áreas permeável e impermeável intralote da Q2

LOTE	Área Lote (m <sup>2</sup> )	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Impermeável(m <sup>2</sup> )	Atende
Q2L01	655,88	364,35	291,53	Sim
Q2L02	330,92	85,83	245,09	Não
Q2L03	391,15	1,64	389,50	Não
Q2L04	125,29	33,41	91,88	Não
Q2L05	534,69	285,71	248,97	Sim
Q2L06	1277,13	942,93	334,20	Sim
Q2L07	416,16	47,45	368,71	Não
Q2L08	473,45	179,71	293,74	Não
Q2L09	134,73	17,36	117,36	Não
Q2L10	196,11	30,18	165,93	Não
Q2L11	200,21	103,00	97,22	Sim
Q2L12	339,02	336,24	2,78	Sim
Q2L13	203,82	26,84	176,98	Não
Q2L14	283,62	41,05	242,57	Não
Q2L15	291,00	183,04	107,96	Sim
Q2L16	246,05	245,48	0,57	Sim
Q2L17	239,11	31,06	208,05	Não
Q2L18	444,11	221,53	222,58	Sim
Q2L19	1124,14	647,55	476,59	Sim
Q2L20	406,79	135,40	271,40	Não
Q2L21	389,01	388,48	0,53	Sim
Q2L22	314,32	49,94	264,38	Não
Q2L23	298,27	137,23	161,05	Sim
Q2L24	698,05	698,05	0,00	Sim

Fonte: Autores (2022)

A Figura 6 apresenta a representação gráfica das taxas de permeabilidade dos lotes da Q2. De acordo com a qual, dos 24 lotes que compõem a Q2, 12 lotes apresentaram irregularidades com a legislação municipal.

Figura 6: Taxas de Permeabilidade dos Lotes da Q2



Fonte: Autores (2022).



### Taxas de Permeabilidade Intralote Quadra 03

A Quadra 3 (Q3) é composta por 30 lotes os quais têm suas áreas totais, permeável e impermeável apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Áreas permeável e impermeável intralote da Q3

LOTE	Área Lote (m <sup>2</sup> )	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Impermeável (m <sup>2</sup> )	Atende
Q3L01	170,00	36,82	133,19	Não
Q3L02	145,85	0,00	145,85	Não
Q3L03	331,65	1,57	330,08	Não
Q3L04	253,82	12,94	240,88	Não
Q3L05	401,52	194,82	206,70	Sim
Q3L06	398,32	268,70	129,62	Sim
Q3L07	219,05	1,60	217,45	Não
Q3L08	231,05	0,97	230,08	Não
Q3L09	242,83	111,87	130,96	Sim
Q3L10	369,00	158,83	210,17	Sim
Q3L11	294,37	64,46	229,91	Não
Q3L12	681,78	508,35	173,43	Sim
Q3L13	313,21	46,09	267,12	Não
Q3L14	301,92	73,54	228,37	Não
Q3L15	689,28	399,70	289,58	Sim
Q3L16	259,39	40,68	218,70	Não
Q3L17	774,05	477,59	296,46	Sim
Q3L18	225,90	34,53	191,37	Não
Q3L19	159,60	19,17	140,44	Não
Q3L20	221,89	221,89	0,00	Sim
Q3L21	263,45	152,49	110,96	Sim
Q3L22	270,74	13,76	256,98	Não
Q3L23	293,09	108,13	184,96	Não
Q3L24	376,70	293,29	83,41	Sim
Q3L25	572,11	263,49	308,62	Sim
Q3L26	211,73	85,19	126,54	Sim
Q3L27	218,51	0,00	218,51	Não
Q3L28	542,81	305,08	237,73	Sim
Q3L29	424,74	50,21	374,53	Não
Q3L30	195,30	195,29	0,01	Sim

Fonte: Autores (2022)

A Figura 7 apresenta a representação gráfica das taxas de permeabilidade dos lotes da Q3, na qual pode inferir que dos 30 lotes que compõem a Q3, 17 lotes encontram-se em irregularidades com a legislação municipal.



Figura 7: Taxas de Permeabilidade dos Lotes da Q3.



Fonte: Autores (2022).

### Taxas de Permeabilidade Intralote Quadra 04

A Quadra 4 (Q4) é composta por 20 lotes os quais têm suas áreas totais, permeável e impermeável apresentadas na Tabela 6. Enquanto a Figura 8 apresenta a representação gráfica das taxas de permeabilidade dos lotes da Q4. Conforme a qual, dos 20 lotes que compõem a Q4, seis lotes apresentaram irregularidades com a legislação municipal.

Tabela 6 - Áreas permeável e impermeável intralote da Q4

LOTE	Área Lote (m <sup>2</sup> )	Área Permeável (m <sup>2</sup> )	Área Impermeável (m <sup>2</sup> )	Atende
Q4L01	240,63	80,04	160,59	Não
Q4L02	308,24	58,44	249,80	Não
Q4L03	623,39	416,76	206,63	Sim
Q4L04	671,65	392,22	279,43	Sim
Q4L05	247,95	138,69	109,26	Sim
Q4L06	257,77	158,57	99,20	Sim
Q4L07	563,08	341,41	221,68	Sim
Q4L08	229,97	189,96	40,00	Sim
Q4L09	179,12	41,92	137,20	Não
Q4L10	184,54	16,87	167,68	Não
Q4L11	454,68	135,05	319,63	Não
Q4L12	1693,58	1308,34	385,25	Sim
Q4L13	1049,77	1049,76	0,00	Sim
Q4L14	759,53	349,77	409,76	Sim
Q4L15	640,27	493,36	146,90	Sim
Q4L16	458,88	222,67	236,21	Sim
Q4L17	471,84	155,06	316,78	Não
Q4L18	261,91	193,74	68,16	Sim
Q4L19	272,04	272,04	0,00	Sim
Q4L20	402,65	185,87	216,78	Sim

Fonte: Autores (2022)

Figura 8: Taxas de Permeabilidade dos Lotes da Q4



Fonte: Autores (2022).

Apesar dos bons resultados encontrados, mesmo com a altíssima resolução espacial, a determinação da permeabilidade de um material apenas levando em conta a interpretação de imagens não é categórica. A título de exemplo, apesar de a pesquisa em questão ter considerado toda a classe “Piso de concreto” como uma superfície impermeável, o uso de pisos de concreto drenantes é cada vez mais comum, e mesmo na imagem da área de estudo 01 com resolução espacial de 3 cm, não é possível diferenciá-lo de um piso de blocos intertravados comum

## CONCLUSÕES

A urbanização desordenada e insustentável presente na maioria das cidades brasileiras resulta na crescente ocorrência de eventos de inundações urbanas, o que demonstra a necessidade de inovação nas políticas públicas de planejamento e expansão urbana. Dentro desse contexto, o mapeamento e fiscalização do uso e ocupação do solo por meio das geotecnologias são uma importante ferramenta e podem dar suporte à tomada de decisão por parte da administração pública.

Na pesquisa em questão, as imagens provenientes de VANT, de altíssima de resolução espacial (3 cm), possibilitaram um alto índice de detalhamento das superfícies urbanas, as quais apresentam alta heterogeneidade. Esse elevado detalhamento, aliado ao custo relativamente baixo para obtenção dessas imagens, torna seu uso conveniente, para o mapeamento detalhado da cobertura de terra urbana.

A classificação manual apresenta como desvantagem o grande tempo demandado para sua execução, o que inviabiliza sua aplicação para grandes áreas. Há, no entanto, processos de classificação cada



vez mais avançados para tratar imagens de altíssima resolução, sobretudo em imagens com alta frequência espacial, consequência do grande detalhamento do tecido urbano.

Assim, com a ressalva de que a determinação da permeabilidade apenas levando em conta a interpretação de imagens não é categórica, conclui-se que a metodologia proposta pode ser usada como uma ferramenta para facilitar o mapeamento e fiscalização das taxas de permeabilidade intralotes. Entretanto, não deve ser utilizada como única fonte de dados para a aplicação de sanções. A partir dos resultados obtidos por essa metodologia, áreas de fiscalização in loco devem ser uma estratégia legal complementar.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Heriberto. Tsunami de lama tóxica: o maior desastre ambiental do Brasil. *El País*. Disponível em: [https://brasil.elpais.com/brasil/2015/12/30/politica/1451479172\\_309602.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2015/12/30/politica/1451479172_309602.html) Acesso em: 22 mar. 2021.
- BERHANE, G.; WALRAEVENS, K. Geological and geotechnical constraints for urban planning and natural environment protection: a case study from Mekelle City, Northern Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, [s.l.], v. 69, n. 3, p.783-798, 2012.
- BERTONI, Juan C.; TUCCI, Carlos E. M. Urbanización. In: TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan C. (Orgs.) **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. p. 1-9.
- BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)
- COSTA, Davi T.; VAZ, Jackson S.; LOPES, Jaime S. F.; GOTARDI, Amanda. Grandes Impactos Ambientais no Mundo. *Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade*. Uninter. Ano. 1, n.1, jul-dez/2012.
- DU, S.; VAN ROMPAEY, A.; SHI, P.; WANG, J. A dual effect of urban expansion on flood risk in the Pearl River Delta (China) revealed by land-use scenarios and direct runoff simulation. *Natural Hazards*, v. 77, n. 1, p. 111-128, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1583-8>.
- FONTES, R. M. A.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, p. 137-147, 2003. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p137-147>
- FREITAS, Andreza Rocha. **Identificação de áreas potencializadoras de inundações e enxurradas**: uma proposta metodológica aplicada na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati PR. 2018. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018
- FREITAS, Carlos M. de; SILVA, Diego R.; SENA, Aderita R. M.; SILVA, Eliane L.; SALES, Luiz B. F.; CAVALHO, Mauren L.; MAZOTO, Maíra L.; BARCELLOES, Christovam; COSTA, André M.; OLIVEIRA, Mara L.; CORVALÁN, Carlos. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva (Impresso)**, Fiocruz, v.19, n.9, p. 3645-3656, 2014.
- IBGE. **Censo 2010**. Sinopse do censo demográfico: 2010. Rio de Janeiro: IBGE. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>
- IRATI. **Lei Municipal n.4.231, de 20 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre o Uso e a Ocupação do Solo Urbano e Rural no Município de Irati e dá outras providências. Prefeitura Municipal de Irati, 2016.
- JORGE, L. A. de C. e INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. IN: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.



- KRUK, F.; FREITAS, A. R. Análise Rítmica aplicada ao entendimento de eventos hidrológicos extremos na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Irati-PR. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA E I CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2017. **Anais. [...]** Campinas: Unicamp, 2017. p. 1908- 1918.
- LEAL, Públio Q. **Dimensionamento de Rede de Microdrenagem com oUso de VANT: estudo de caso na zona de feira livre de Pau dos Ferros – RN.** Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2019. 52p.
- MARICATO, Ermínia. Brasil 2000: qual planejamento urbano? **Cadernos IPPUR, Rio de Janeiro**, v. 11, n. 1 e 2, p. 113-130, jan/dez. 1997
- MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília. 2012. 266p.
- MOMENI, R.; APLIN, P.; BOYD, D. Mapping Complex Urban Land Cover from Spaceborne Imagery: The Influence of Spatial Resolution, Spectral Band Set and Classification Approach. **Remote Sensing**, v. 8, n. 2, p. 88, 2016 <https://doi.org/10.3390/rs8020088>
- NATH, B.; NIU, Z.; SINGH, R.P. Land Use and Land Cover Changes, and Environment and Risk Evaluation of Dujiangyan City (SW China) Using Remote Sensing and GIS Techniques. **Sustainability**, v.10, n.12 , p. 4631, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10124631>
- MEGDA, Otávio R. **Identificação de Ilhas de Carlo Urbano em Cidade de Porte Médio: proposta metodológica adaptada às zonas climáticas locais – ZCLs.** Tese de Doutorado em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Brasil.2020. 202p.
- PAJARES, Gonzalo. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, v.81, n, 4, p. 281-330, 2015. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.4.281>
- PERUSSI, Rafael. **Análise do comportamento térmico superficial horizontal em ambiente urbano: um experimento utilizando veículo aéreo não-tripulado (VANT).** Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2023. 54p.
- POLIDORO, M; BARROS, M. V. F. Utilização de Geotecnologias no Suporte a Gestão de Políticas Públicas Municipais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros.** Três Lagoas, n. 11, 2010.
- RAVAZZANI, Giovanni; MANCINI, Marco; MERONI, Claudio. Design hydrograph and routing scheme for flood mapping in a dense urban area. **Urban Water Journal.** v.6. n. 3. p. 221-231, set. 2009. <https://doi.org/10.1080/15730620902781434>
- RICHERT, Elke *et al.* A method for linking results from an evaluation of land use scenarios from the viewpoint of flood prevention and nature conservation. **Landscape and Urban Planning**, v. 103, n. 2, p. 118-128, 2011.<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.001>
- RIZEEI, Hossein; MOJADDADI, Pradhan, Biswajeet; SAHARKHIZ, Maryam Adel. Urban object extraction using Dempster Shafer feature-based image analysis from worldview-3 satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.40, n.3, p.1092-1119, 2019. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1524173>
- ROSA, Roberto. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005.
- SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira.** 5. ed. São Paulo: Edusp, 2009.174 p.
- SANTOS, Marilaine A.; CARVALHO, Silvia M.; ANTONELI, Valdemir. Suscetibilidade a enchentes a partir da análise de variáveis morfométricas, na bacia hidrográfica rio Bonito em Irati -PR. **Revista Equador (UFPI)**, Teresina, v.5, n. 5, p. 151-167, 2016.
- TIN-SEONG, K. Integrating GIS and remote sensing techniques for urban land-cover and land-use analysis. **Geocarto International**, v. 10, n.1, p.39-49, 1995. <https://doi.org/10.1080/10106049509354477>
- VESTENA, Leandro R. **Desnaturalização dos desastres: Em busca de comunidades resilientes.** Curitiba: CRV, 2017. 116p.
- WATTS, Adam; AMBROSIA, Vicent; HINKLEY, Everett. Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. **Remote Sensing**, v.4, n.12, p. 1671-1692, jun. 2012. <https://doi.org/10.3390/rs4061671>.
- YANG, Guoxiang. The impact of urban development on hydrologic regime from catchment to basin scales. **Landscape and Urban Planning**, v. 103, n. 2, p. 237-247, nov. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.08.003>



ZHOU, W.; TROY, A. An Object-Oriented Approach for Analyzing and Characterizing Urban Landscape at the Parcel Level. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n.10, p. 3119-3135, jun. 2008.

ZHOU, Z.; SMITH, J.; YANG, L.; BAECK, M.; CHANEY, M.; TEN VELDHUIS, M.-C.; DENG, H.; LIU, S. The complexities of urban flood response: Flood frequency analyses for the Charlotte metropolitan region. **Water Resources Research**, v. 53, n.8, p. 7401-7425. ago. 2017.