

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS SÃO GABRIEL
ENGENHARIA FLORESTAL**

MATHEUS D'ANGELO MEDICI MEIJUEIRO

**AVALIAÇÃO DA COBERTURA ARBÓREA URBANA DE SÃO GABRIEL/RS
ATRAVÉS DO USO DO SENSORIAMENTO REMOTO**

São Gabriel

2022

MATHEUS D'ANGELO MEDICI MEIJUEIRO

**AVALIAÇÃO DA COBERTURA ARBÓREA URBANA DE SÃO GABRIEL/RS
ATRAVÉS DO USO DO SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Aline Biasoli Trentin

São Gabriel

2022

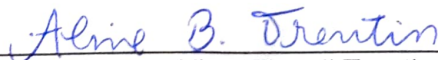
MATHEUS D'ANGELO MEDICI MEIJUEIRO

**AVALIAÇÃO DA COBERTURA ARBÓREA URBANA DE SÃO GABRIEL/RS
ATRAVÉS DO USO DO SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 08 de agosto de 2022.

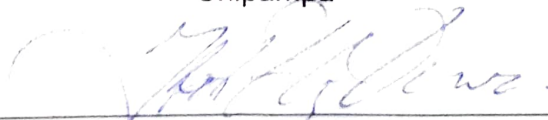
Banca examinadora:



Prof. Dra Aline Biasoli Trentin
Orientadora
Unipampa



Prof. Dr. André Carlos Cruz Copetti
Unipampa



Prof. Dr. Italo Filippi Teixeira
Unipampa

Dedico este trabalho ao meu pai Cesar (*in
memoriam*)

AGRADECIMENTO

Agradeço pela sincronicidade do conhecido e do desconhecido!

À minha mãe Rose, por sua força, coragem e determinação. Muito obrigado por ter me acompanhado e me incentivado em todo o processo da graduação, sem você eu jamais teria chegado até aqui.

À minha irmã Déborah, somente nós dois sabemos o que passamos, eu sou eternamente grato por tudo o que tu fizeste por mim, sem você nada disso seria possível. Você é um exemplo de resiliência, sabedoria e força de vontade.

À minha irmã Morgana por todos os conselhos, momentos de reflexão e parceria. Impossível não ficar reflexivo após uma conversa contigo.

Aos meus irmãos mais velhos Felipe, Camila e Tairo. Muito obrigado pelas brincadeiras e bons exemplos.

Ao meu campeão, meu pai Cesar (*in memoriam*), que me ensinou a nunca parar de pensar, a sempre questionar e duvidar de tudo. Você foi um grande homem e, mesmo após sua partida, eu continuo aprendendo com o senhor.

Ao professor Frederico Vieira, por ter me ensinado a ter responsabilidade e compromisso.

À professora Aline Trentin, pela paciência, carinho e parceria durante todo o processo de orientação. A senhora é um exemplo a ser seguido por qualquer um que queira se tornar um excelente mestre.

Ao meu irmão de alma, Lunardo Mattos, pelos momentos de clareza e sabedoria.

Aos meus amigos Amom, Diogo, Aleino, Mavi, Bruno e Su. Vocês não sabem o gás que me deram nessa finaleira, amo vocês.

Aos meus parceiros de lida, Carlos Francisco, Gustavo Souza, Breno Tardin, Bruno Nolibos e Thiago Sacaro. Sem vocês a faculdade não teria a mesma graça.

A todos os colegas da faculdade em especial aos amigos do Galpão, Kadu, Emily Schroeder, Daniel Arce, Matheus Menezes, Ariel Cezar, Pamela Martins, Ithiciano Rodrigues, Diorgenes Fernandes, Fernando Jacques e Jardel Ramos.

Por fim, agradeço a todos os servidores da Unipampa, sempre bem-humorados, sem vocês a faculdade riria.

“Oh Glória”.

Cesar Meijueiro

RESUMO

O crescimento populacional e o processo desordenado de urbanização aliado a falta de políticas públicas e a desvalorização da arborização por parte da maioria das cidades brasileiras, resultaram na falta de planejamentos e a má distribuição da vegetação em meio urbano. Nesse sentido, por meio de ferramentas de geoprocessamento e o uso de técnicas de sensoriamento remoto é possível analisar e obter informações sobre as questões ambientais afetadas pelos fenômenos antrópicos. Estas informações são valiosas, pois, podem auxiliar na gestão ambiental dos centros urbanos, afim de melhorar a qualidade ambiental das cidades assim como o bem-estar da população que nela habita. Assim, este trabalho teve como objetivo determinar a Porcentagem de Cobertura Arbórea (PCA) e o Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICHA) para os bairros e para a área urbana total do município de São Gabriel/RS. Para tanto, utilizou-se apenas uma cena do satélite CBERS-04A de 07/05/2022, além dos dados do censo 2010 do IBGE. Com estes dados foi possível realizar a classificação supervisionada e quantificação da cobertura arbórea e posteriormente calcular os indicadores quantitativos de cobertura arbórea. Os resultados apontaram que, para a área urbana total o PCA encontrado foi de 21,07% onde grande parte da concentração arbórea se encontra, principalmente, às margens do Rio Vacacaí e também apresentou um ICAH calculado de 135,78m²/habitante.

Palavras-Chave: CBERS, sensoriamento remoto, ICAH, PCA, área urbana.

ABSTRACT

Population growth and the disorderly process of urbanization combined with the lack of public policies and the devaluation of afforestation by most Brazilian cities, resulted in the lack of planning and the poor distribution of vegetation in urban areas. In this sense, through geoprocessing tools and the use of remote sensing techniques, it is possible to analyze and obtain information on environmental issues affected by anthropic phenomena. This information is valuable, as it can help in the environmental management of urban centers, in order to improve the environmental quality of cities as well as the well-being of the population that inhabits it. Thus, this study aimed to determine the Percentage of Tree Coverage (PCA) and the Index of Tree Coverage per habitant (ICHA) for the neighborhoods and for the total urban area of the municipality of São Gabriel/RS. For this purpose, only one scene from the CBERS-04A satellite of 05/07/2022 was used, in addition to data from the 2010 IBGE census. With these data it was possible to carry out the supervised classification and quantification of the tree cover and later calculate the quantitative indicators of tree cover. The results showed that, for the total urban area, the PCA found was 21.07%, where a large part of the tree concentration is located, mainly, on the banks of the Vacacaí River and also presented a calculated ICAH of 135.78m² /habitant.

Keywords: CBERS, remote sensing, ICAH, PCA, urban área.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem da população que vive em área urbana, por Região brasileira (2015).....	16
Figura 2 – Ilustração da interferência da população humana nos sistemas naturais ao longo dos anos.....	17
Figura 3 – Funções sociais e ambientais provenientes/exercidas pela arborização urbana.....	18
Figura 4 – Característica da curva espectral de uma folha verde sadia.....	23
Figura 5 – Transformação da imagem contínua em imagem digital.....	26
Figura 6 – Mapa de Localização do limite urbano do município de São Gabriel.....	28
Figura 7 – Composição Falsa Cor.....	30
Figura 8 – Mapa da cobertura arbórea na área urbana do Município de São Gabriel - RS, 2022.....	33
Figura 9 – Bairros do município de São Gabriel – RS.....	35
Figura 10 – Distribuição da PCA por bairro na área urbana de São Gabriel.....	36
Figura 11 – Índice de cobertura arbórea por habitante para os bairros na área urbana de São Gabriel.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características das Câmeras do Satélite CBERS-04A.....	25
--	----

LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente
AT – Área Total
CA – Cobertura Arbórea
CAST – *Academy of Space Technology*
CBERS - *China-Brazil Earth Resources Satellite*
DGI – Divisão de Geração de Imagens
GPS – *Global Positioning System*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAH – Índice de Cobertura Arbórea por Habitante
ICV – Índice de Cobertura Arbórea
IEL – Índices de Espaços Livres
INPE- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
NH – Número de Habitantes
PCA – Percentual de Cobertura Arbórea
PCV – Porcentagem de Cobertura Arbórea
SBAU – Sociedade Brasileira de Arborização Urbana
SIG – Sistemas de Informações Geográficas
SR – Sensoriamento Remoto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	Urbanização.....	16
2.2	Arborização Urbana.....	17
2.2.1	Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH).....	20
2.3	Geotecnologias.....	21
2.3.1	Geoprocessamento.....	21
2.3.2	Sensoriamento Remoto	22
2.3.2.1	Comportamento espectral dos alvos.....	23
2.3.2.2	Satélite CBERS.....	25
2.3.3	Processamento Digital de Imagem.....	26
3	METODOLOGIA	29
3.1	Área de estudo.....	29
3.2	Organização e pré-processamento dos dados espaciais.....	30
3.3	Classificação e quantificação da cobertura arbórea.....	31
3.4	Indicadores quantitativos de cobertura arbórea.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1	Cobertura arbórea na área urbana de São Gabriel.....	34
4.2	PCA e ICAH por bairro na área urbana de São Gabriel.....	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
	REFERÊNCIAS.....	20

1 INTRODUÇÃO

Para Brito et al. (2001), a análise da evolução da população contribuiu significativamente para a explicação da grande expansão urbana no Brasil, fornecendo informações sobre o processo de crescimento populacional no meio urbano e a sua redistribuição entre as cidades. A partir da década de 1940, o país já apresentava tendência a crescente urbanização noticiando que 31,2% da população já residia em áreas urbanas, no ano de 1970 residiam 55,9% e no ano de 2000 o grau de urbanização era de 81,2%.

Diante do exposto, o crescimento populacional e o processo desordenado de urbanização aliado a falta de políticas públicas e a desvalorização da arborização por parte da maioria das cidades brasileiras, resultaram na falta de planejamentos e a má distribuição da vegetação em meio urbano (DUARTE et al., 2018).

É possível observar, através dos dados do Atlas Ambiental de São Paulo (SVMA, 2000) que, em São Paulo, parte da diminuição de vegetação nas áreas urbanas é causada também pelos processos de impermeabilização do solo decorrente de construções de edifícios e novas vias públicas.

A Embrapa (2002) define a arborização urbana como toda a cobertura vegetal de porte arbóreo existentes nas cidades, compreendendo as áreas livres de uso público e as áreas livres particulares.

No entanto, segundo a Constituição Federal de 1988, o papel do poder público no que tange a arborização urbana, é citado da seguinte forma: é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, estabelecer medidas de proteção do meio ambiente e de combate à poluição em qualquer de suas formas (art. 23, inc. VI, da CF).

Ainda, salienta-se que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e fundamental à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (art. 225 da CF). Além disso, o Poder Público Municipal deverá fixar critérios para a gestão ambiental urbana, fazendo com que as cidades se tornem mais humanas (art. 182 da CF).

Nesse contexto, o Sensoriamento Remoto (SR), que se refere ao uso de

aparelhos denominados sensores remotos utilizados para a obtenção de imagens a distância da terra, é uma ferramenta fundamental para a análise e estudos que envolvem diversas situações, entre elas, a situação ambiental em meio urbano (INPE, 2022).

Desta forma, por meio do uso de dados provenientes de sensoriamento remoto aliados a técnicas de geoprocessamento, o presente estudo tem por objetivo avaliar a cobertura arbórea da área urbana do município de São Gabriel/RS. De forma específica, objetivou-se: a) determinar o Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) por bairro e área urbana total; e b) analisar o Índice de Cobertura Arbórea por Habitante por bairro e área urbana total.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Urbanização

No Brasil, o início do processo de urbanização se originou logo após a consolidação da nova nação-Estado, a datar da dominação dos movimentos separatistas e/ou republicanos que surgiam do Sul ao Norte, principalmente com focos nos estados de Minas Gerais e no Rio de Janeiro. Ainda, no ano de 1849, abrangeu uma parte das províncias do Rio Grande do Sul ao Pará (DEÁK; SCHIFFER, 2004).

Nessa perspectiva, a intensificação do processo de urbanização do Estado ocorreu a partir da segunda metade do século XX, sendo fortemente influenciada por meio da relação com a industrialização e o êxodo rural.

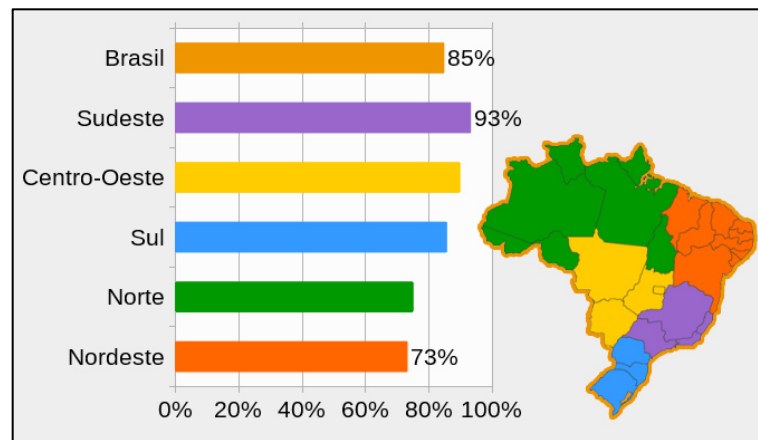
Cano comenta que o avanço...

“O avanço da industrialização, a partir da década de 60, ampliaria sobre-modo seu poder modernizador sobre a agricultura. Contudo, esse poder foi parcial, tanto no sentido de que o progresso técnico atingiu majoritariamente alguns setores agrícolas e algumas regiões, como pelo fato de que o êxodo rural – tanto o gerado pelo progresso quanto o gerado pelo atraso – só foi em parte produtivamente absorvido pela economia urbana.” (CANO, 1989, p. 67)

Conforme Cardoso et al. (2011), a urbanização é um fenômeno ainda em progresso em todo o mundo e que pode ser entendida como a concentração espacial de uma população, a partir de certos limites de dimensão e intensidade. Em concordância, Ferrara (2008), afirma que o espaço pode ser mudado, organizado, não é estático e pode ser trabalhado, sendo que estas organizações do espaço podem ser limítrofes, populacionais e de intensidade.

Em vista disso, o processo social de ocupação e gestão territorial, conforme as influências históricas, intervenções culturais do homem combinado ao uso de tecnologias e elementos naturais e materiais, dá-se origem à paisagem urbana. Segundo o IBGE (2015), até o ano de 2015 a maior parte da população vivia em meio urbano, correspondendo a cerca de 84,72% (Figura 1).

Figura 1. Porcentagem da população que vive em área urbana, por Região brasileira (2015).



Fonte: IBGE, 2015.

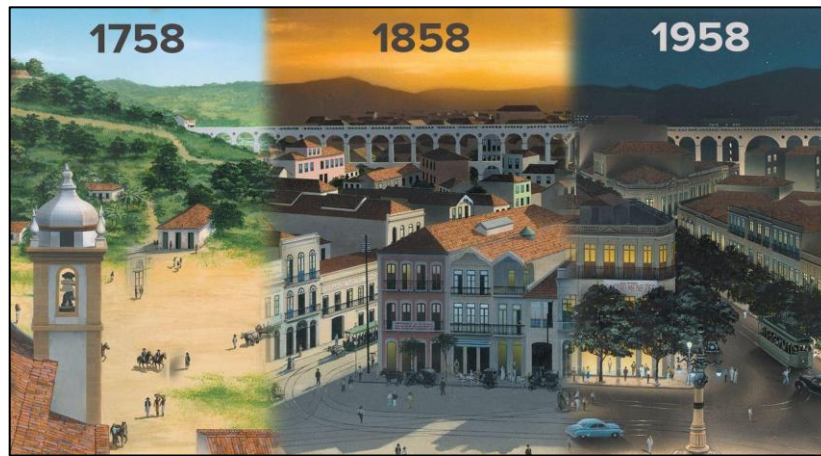
Scanavaca e Corrêa (2014), afirmam que, geralmente devido ao crescimento acelerado e desorganizado, as cidades são os ambientes mais desequilibrados por consequência da falta de planejamento urbano. O desequilíbrio proveniente do crescimento desordenado das cidades favorece a substituição vegetal por vias, ruas, construções, entre outros, promovendo uma série de consequências negativas ao meio (LIMA et al., 2017). Segundo os mesmos autores, a arborização colabora significativamente para a melhoria do conforto urbano, sendo um elemento paisagístico, fornecedora de flores e frutos, possibilitando a proximidade e convivência do homem com a natureza no espaço construído (PORTO; BRASIL, 2013).

2.2 Arborização urbana

Evidencia-se que, ao longo da história, a população mundial passou a se concentrar nos centros urbanos, promovendo o crescimento das cidades e consequentemente interferindo diretamente nos sistemas naturais (Figura 2), principalmente na retirada de espécies vegetais para ocupação dos espaços (RODRIGUES et al., 2010).

Diante do exposto, a arborização das cidades, provavelmente, surgiu com o objetivo de assegurar o vínculo inato do homem com o “natural”, atendendo a dupla natureza humana, a biológica e a cultural, proporcionando assim o bem-estar da população (MALAVASI; MALAVASI, 2001).

Figura 2. Ilustração da interferência da população humana nos sistemas naturais ao longo dos anos.



Fonte: Carlos Gustavo Nunes Pereira, o Guta.

Biondi (2008), conceitua o termo “arborização urbana” como toda a vegetação, independente do porte, que compõem o cenário ou paisagem urbana, sendo um dos componentes bióticos mais importantes da cidade devido a relação direta com o conforto ambiental. Ainda, esclarece que a arborização de vias públicas é formada pela presença de árvores plantadas linearmente nas calçadas ao longo de ruas, avenidas e canteiros centrais constituindo um patrimônio público, o qual deve ser planejado e mantido exclusivamente pelas prefeituras.

Diante do exposto, sabe-se que a arborização urbana promove uma série de benefícios ao meio e ao indivíduo. Segundo o CEMIG (2011), além de agir como uma estratégia de amenização de aspectos ambientais prejudiciais, atua como um importante fator sob os elementos ecológicos, cultural, social, histórico, paisagístico e estético.

Ribeiro (2009) afirma que a arborização exerce função significativa nos centros urbanos, atuando como responsável por uma série de benefícios sociais e ambientais (Figura 3), intervindo diretamente na melhora da qualidade de vida das pessoas da cidade em relação à saúde física e mental da população.

Figura 3. Funções sociais e ambientais provenientes/exercidas pela arborização urbana.



Fonte: Archdaily

A arborização atua de forma multifacetada no equilíbrio ambiental das cidades (SANTOS; TEIXEIRA, 2001), agindo diretamente na manutenção da estabilidade microclimática; no conforto térmico relacionado à umidade do ar e à sombra; na melhoria da infiltração da água no solo; na proteção à avifauna, servindo de abrigo à fauna silvestre, influenciando positivamente no equilíbrio das cadeias alimentares e diminuindo o número de pragas e agentes vetores de doenças; na conservação genética da flora nativa; e, no conforto lumínico (CEMIG, 2011).

Nesse contexto, a análise quantitativa das árvores urbanas desempenha um papel fundamental no planejamento da arborização urbana, formando uma base de dados para que prefeituras e instituições possam planejar e executar estas atividades de forma ordenada e pontual. Assim, o emprego de geotecnologias associadas com as técnicas de uso de imagens de satélites, permite o mapeamento da vegetação

urbana, auxiliando nas pesquisas a respeito desse assunto e no possível planejamento urbanístico (VANI, 2011).

2.2.1 Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH)

Segundo Aza (2016), os índices quantitativos como, Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH), Índice de Cobertura Vegetal (ICV), Percentual de Cobertura Arbórea (PCA), Índice de Espaços Livres (IEL), entre outros, têm sido usados como uma metodologia para realizar o diagnóstico e monitoramento da quantidade de cobertura vegetal presente nas cidades, atuando como fundamental ferramenta para o planejamento e gestão ambiental urbana, permitindo criar cenários sobre o estado atual, aferir e acompanhar os resultados de uma estratégia tomada.

Os índices representam a relação entre o valor das áreas cobertas por vegetação (copas das árvores) que compõem a área de estudo, expressos em quilômetro quadrado (km²) ou metro quadrado (m²), dividido pela quantidade de habitantes ou pela área urbana. Assim, entre os índices existentes, pode-se utilizar o Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) e o Percentual de Cobertura Arbórea (PCA), que consideram somente as copas das árvores, para a quantificação da cobertura arbórea nas cidades (AZA, 2016).

De acordo com Sarquis et al. (2016), para obter esses índices é preciso realizar o mapeamento de toda cobertura arbórea de um bairro ou cidade, posteriormente quantificado em m² ou km². Possuindo o conhecimento da área total em questão, se obtém o percentual de cobertura arbórea e conhecendo o número de habitantes do bairro ou cidade afixa o índice de cobertura arbórea por habitante existente naquele bairro ou cidade.

Desta forma, realizar esses monitoramentos a partir dos índices, permite o acompanhamento da dinâmica da cobertura arbórea, por consequência, o diagnóstico das mudanças ocorridas e identificar as áreas prioritárias para o desenvolvimento de estratégias de incremento da vegetação (PIROLI et al., 2002).

2.3 Geotecnologias

Conforme Batistella e Moran (2008) o nome dado ao conjunto de tecnologias de coleta, análise, processamento e informações com referências geográficas é chamado de Geotecnologias. Este conjunto compreende os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Cartografia Digital, Sistema de Posicionamento Global (GPS), dentre outras ferramentas e técnicas de obtenção e análise de dados (ZAIDAN, 2017).

Para Santos et al (2015), o uso das Geotecnologias se demonstra um grande potencial para a obtenção de dados de uma determinada área multidimensional, tanto para a confecção de mapas digitais como o cruzamento de diversas informações do espaço observado.

Nesse sentido, Pires et al. (2012), explicam que através do uso das geotecnologias torna-se possível estudar o ambiente em partes individuais e compreender as alterações que nele ocorrem. Assim, o emprego da geotecnologia é vantajoso e viabiliza a avaliação ambiental, pois, além da significativa eficiência e clareza, as informações geradas são de alta qualidade e precisas (SOUZA; REBELATO, 2021).

2.3.1 Geoprocessamento

Uma das atividades mais importantes de uma sociedade organizada é a obtenção de dados acerca da distribuição geográfica de animais, plantas e recursos minerais. Há pouco tempo o gargalo da análise de variados mapas e dados era o fato das informações serem representadas em documentos e mapas de papel, o que posteriormente, com o desenvolvimento da tecnologia da informática, possibilitou armazenar, analisar e processar estes mesmos dados em programas de computador, surgindo então o Geoprocessamento (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Os mesmos autores conceituam o Geoprocessamento da seguinte forma:

“...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.”

Em países de dimensão continental como a do Brasil, com insuficientes

informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento é uma alternativa de grande potencial, especialmente por ser baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento é adquirido localmente (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Em vista disso, as atividades desenvolvidas no Geoprocessamento são executadas pelas ferramentas SIGs, que são formadas por programas computacionais e equipamentos cujo a finalidade é coletar, manipular e analisar dados referenciados a um dado sistema de coordenadas, possibilitando assim a criação de abstrações digitais do real, o manejo e armazenamento eficientemente de dados, identificando a melhor integração entre as variáveis espaciais e permitindo a criação de relatórios e mapas para a compreensão dessas integrações (FITZ, 2008; REGHINI; CAVICHIOLI, 2020).

Ainda, com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, o avanço de ferramentas SIGs proporcionaram um impulso nas análises ambientais (NOSSACK, 2012). Dessa forma, de acordo com Gomes et al (2018), com a aplicação destas ferramentas é possível integrar e manipular a base de dados, viabilizando os trabalhos realizados à campo e promovendo a maior eficiência do monitoramento e fiscalização ambiental.

2.3.2 Sensoriamento Remoto

Segundo Florenzano (2011), o Sensoriamento Remoto (SR) pode ser definido como uma tecnologia de obtenção de dados, onde a energia eletromagnética do sol é refletida pela superfície dos objetos é captada por sensores de satélites, onde estes dados são posteriormente enviados para a Terra e convertidos em imagens, tabela e/ou gráficos.

Para Sausen (2016), os dados oriundos do sensoriamento remoto são considerados extremamente úteis para estudos e levantamentos de recursos naturais por apresentarem uma série de benefícios, são eles: visão sinótica, que permite ver grandes extensões de área em uma mesma imagem; resolução temporal que possibilita a coleta de informações em diferentes épocas do ano e em anos distintos; resolução espectral que proporciona a obtenção de informações sobre um alvo na natureza em diferentes regiões do espectro; resolução espacial, que permite a obtenção de informações em diferentes escalas, desde as locais até as regionais.

Levando em consideração os diferentes atributos climáticos, hidrológicos, geomorfológicos e humanos, Carvalho Júnior (2018) diz que com a contínua evolução e sofisticação dos sensores e das infraestruturas de armazenamento e gerenciamento proporcionam para uma observação global integrada.

Assim, o emprego do sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica em estudos de análise espacial, beneficiam a compreensão da dinâmica da paisagem, podendo auxiliar nas seguintes atividades (PEREIRA et al, 2014):

“(a) descrever e monitorar os padrões da cobertura da terra, (b) evidenciar as mudanças presentes no sistema sociedade - natureza, e (c) estabelecer modelos para prever eventos e definir estratégias de uso sustentável. Diferentes escalas espaço - temporais e abordagens metodológicas são adotadas para a descrição dos subsistemas naturais e antrópicos.”

Desta forma, o SR é uma ferramenta fundamental para análise e estudos avançados sobre a superfície terrestre, os quais são importantes para a detecção e monitoramento de mudanças, propiciando uma melhor avaliação, manejo e gerenciamento dos recursos naturais. (FERREIRA; DANTAS, 2018).

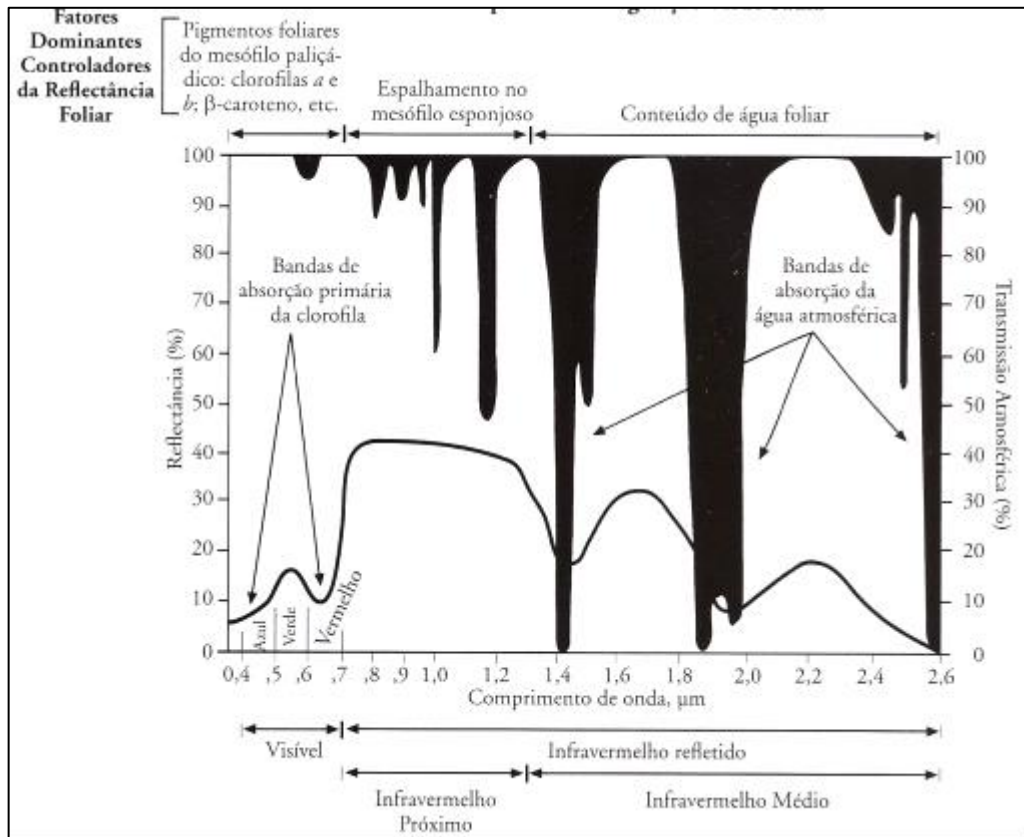
2.3.2.1 Comportamento espectral dos alvos

De acordo com os autores Ponzoni et al. (2012), a reflexão, transmissão e a absorção, são processos de interação que ocorrem com qualquer objeto sobre o qual incida determinada quantidade de radiação eletromagnética. Nessa perspectiva, o comportamento ou a assinatura de um alvo ou objeto é caracterizado por como e o quanto esse alvo reflete ou emite ao longo do espectro eletromagnético, sendo determinantes em relação às características da reflectância e as variáveis de reflectância nas inúmeras faixas do espectro, assim conceituadas como atributos (RICHARDS, 1993; SOUZA; KUX, 2005)

Diante disso, em relação à vegetação, Jensen (2009), afirma que as estruturas internas e externas das plantas e suas interações com a radiação eletromagnética, implicam diretamente em como os dosséis e as folhas vegetais aparecem espectralmente (Figura 4). Assim, na região do visível ($0,4 \mu\text{m} - 0,72 \mu\text{m}$), a presença de pigmentos fotossintetizantes existentes nas folhas caracteriza a intensa absorção da radiação eletromagnética. Devido a predominância destes pigmentos, as plantas absorvem a radiação eletromagnética nas regiões do azul ($0,45 \mu\text{m}$) e vermelho ($0,67$

μm), apresentando um pico de reflectância na região do verde (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Figura 4. Característica da curva espectral de uma folha verde sadia.



Fonte: Jensen, 2009.

Segundo os autores Ponzoni et al. (2010), para a região do infravermelho próximo ($0,72 \mu\text{m} - 1,1 \mu\text{m}$), devido a interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo, há o espalhamento interno da radiação eletromagnética na folha, sendo esperada uma relação direta da reflectância com a biomassa de um dossel (JENSEN, 2009).

Diante do exposto, o emprego de tecnologias avançadas como o uso de Satélites LANDSAT, CBERS e o mais recente AMAZONIA1, entre outros, para fornecer dados de SR para observar e monitorar os recursos naturais como, cobertura vegetal, corpos hídricos, dinâmica geomorfológica da terra, etc, tem sido frequentemente adotada em trabalhos e pesquisas que visam compreender as questões ambientais (INPE, 2021).

2.3.2.2 Satélites CBERS

O CBERS (Satélite SinoBrasileiro de Recursos Terrestres) é um programa criado através de uma parceria entre o governo brasileiro, representado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE, e o governo chinês representado pela *China Academy of Space Technology* - CAST, no dia 6 de julho de 1998. Nesta parceria ambos contribuem com recursos financeiros e capacidade técnica com o propósito de formar uma rede completa de sensoriamento remoto que se adeque às necessidades internacionais (MISSAGIA; GUIMARÃES, 2020).

Segundo INPE (2018), com o sucesso dos lançamentos dos primeiros satélites de sensoriamento remoto, CBERS -1 e 2, Brasil e China acordaram em realizar o lançamento de mais três satélites de Sensoriamento Remoto - SR, o CBERS-2B, CBERS-3 e CBERS-4. As principais aplicações do programa CBERS estão no âmbito ambiental, como segue:

“Suas imagens são usadas em importantes campos, como o controle do desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, o monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo, em educação e em inúmeras outras aplicações” (INPE, 2018).

Na madrugada do dia 20 de dezembro de 2019, no Centro de Lançamento de Satélites de Taiyuan, na China, foi lançado o sexto satélite do programa, o CBERS-04A, sendo este o mais recente lançamento (INPE, 2020). A uma altitude 628,6 km o CBERS-04A está embarcado com sensores que permitem a obtenção de dados para as mais diversas finalidades, sendo eles: Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), Câmera Multiespectral (MUX) e Câmera Imageadora de Campo Largo (WFI) (Quadro 1).

Quadro 1: Características das Câmeras do Satélite CBERS-04A.

Câmeras do Satélite CBERS-04A			
Câmeras	WPM	MUX	WFI
Resolução espacial	2 m (pancromática)	16,5 m	55 m
	8 m (multiespectral)		
Resolução espectral	(B) 0,45-0,52 μ m (G) 0,52-0,59 μ m (R) 0,63-0,69 μ m (NIR) 0,77-0,89 μ m (PAN) 0,45-0,90 μ m	---	---
Largura da Faixa Imageada	92 km	95 km	684 km
Revisita	31 Dias	31 Dias	5 Dias

Fonte: INPE (2019) formulado pelo autor.

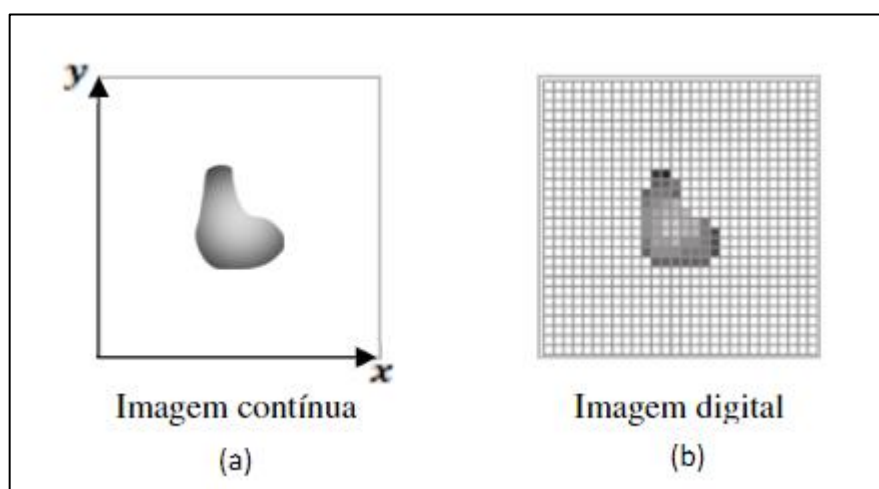
Dessa forma, o Satélite CBERS pode ser utilizado em diferentes aplicações como: na observação e análise da vegetação, uma vez que as bandas estão situadas na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo, o que permite bons contrastes entre vegetação e outros tipos de objetos, podendo auxiliar nos estudos municipais ou regionais devido a ampla largura de faixa imageada; a observação de objetos ou fenômenos cujo detalhamento seja importante; a identificação de anomalias antrópicas no meio ambiente; apoio em levantamentos geológicos e de solos, entre outros (INPE, 2019).

2.3.3 Processamento Digital de Imagem

O processamento de imagens digitais envolve procedimentos normalmente expressos sob forma algorítmica (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999). Assim, definir uma imagem como uma função bidimensional, $f(x, y)$, onde x e y são coordenadas espaciais (plano) e a amplitude de f , em qualquer par de coordenadas, denomina-se de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. Diante do exposto, quando os valores de intensidade e de x, y , são quantidades finitas e discretas, chama-se de imagem digital (LUCAS JUNIOR; SOARES, 2019).

De acordo com os mesmos autores, a transformação de uma imagem contínua (Figura 5 (a)) em uma imagem digital (Figura 5 (b)), consiste na discretização espacial (amostragem) e a discretização em amplitude (quantização), convertendo a imagem analógica em uma matriz de m por n pontos, denominados pixels e a quantização faz com que cada um desses pixels assuma um valor inteiro.

Figura 5. Transformação da imagem contínua em imagem digital



Fonte: Lucas Junior; Soares, 2019.

O processo de classificação de imagens multiespectrais se dá, segundo Meneses e Sano (2012), através da associação dos pixels de uma imagem a um determinado número de classes individuais que espelham as características do espaço em análise. Desta forma, a designação de um pixel a uma classe, ocorre através de algoritmos classificadores que analisam a probabilidade de um determinado pixel pertencer à uma dada classe (NOVO, 2010).

A maneira mais comum utilizada em *softwares* como no QGgis, de realizar o processamento de imagens, pode ser através da orientação do usuário (Classificação Supervisionada) ou por um processo automatizado no computador (Classificação não Supervisionada). No processo de classificação supervisionada é necessário que o algoritmo seja treinado pelo analista para que possa diferenciar as classes. Neste momento, o analista recolhe pequenas amostras na imagem com algumas centenas de pixels que representam espectralmente os padrões e feições de alvos desejados. (MENESES; SANO, 2012). De acordo com Filho (2000), ao final dos procedimentos de classificação de imagem, obtém-se o mapa temático da área em estudo onde cada cor representa uma classe (região urbana, floresta, água, solo exposto, etc.).

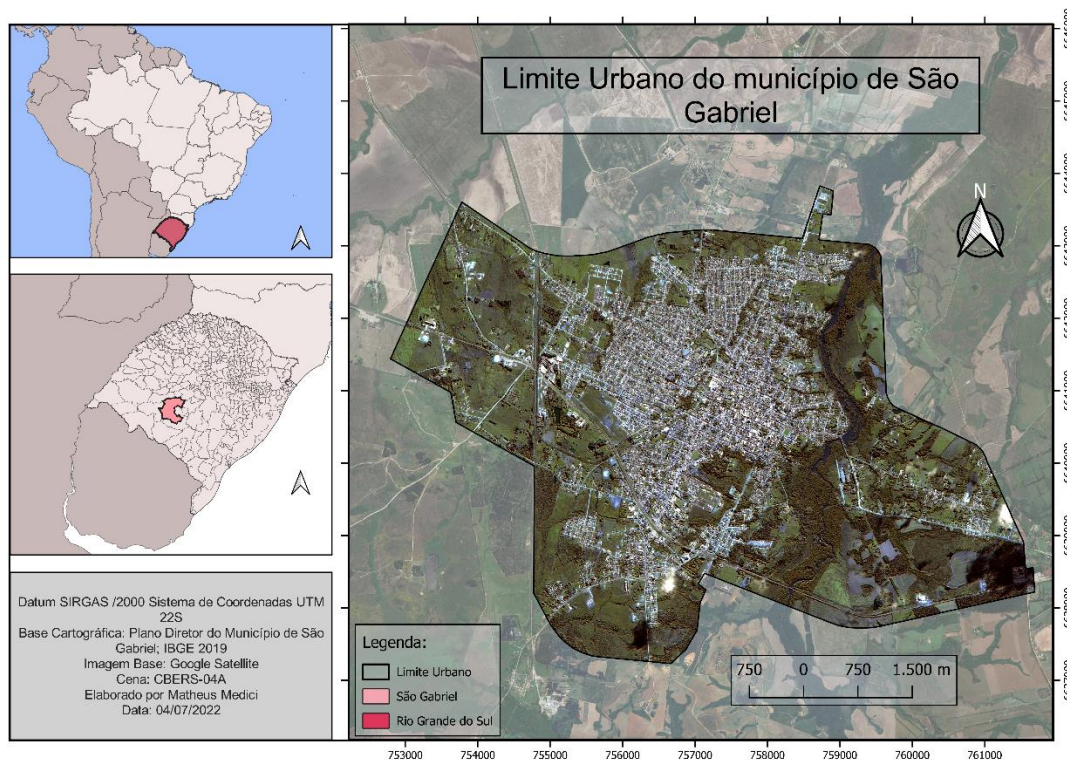
3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O presente estudo tem como base o perímetro urbano do município de São Gabriel, localizado na metade sul do estado do Rio Grande do Sul (Figura 6), entre as longitudes 754.235mE e 758.041mE e entre as latitudes de 6.643.614mS a 6.637.729mS, com coordenadas referenciadas no datum SIRGAS-2000, Projetadas no Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 21, zona J.

O município concentra 60.425 mil habitantes, sendo 53.775 mil residentes da área urbana. Possui 5.051,854 km² de extensão territorial, dos quais 34,71 km² correspondem a área urbana (IBGE, 2010). De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (2019), a área urbana está dividida em 45 bairros (Figura 9), com maior adensamento populacional no centro.

Figura 6 - Mapa de Localização do limite urbano do município de São Gabriel.



Fonte: autor (2022).

O clima da região é do tipo Cfa, clima temperado úmido com verão quente e

chuvas bem distribuídas ao longo do ano, conforme a classificação de Köppen (PESSOA, 2017). As médias das temperaturas anuais variam de 14,2 °C para mínimas e 24,9 °C nas máximas, e a média de precipitação pluviométrica acumulada anual é 1.590,5 mm (WREGGE et al., 2011).

O município de São Gabriel está inserido no bioma Pampa, além disso São Gabriel possui três diferentes tipos de solos: planossolos, argissolos e gleissolos. Fazem parte da vegetação natural os campos nativos com diferentes espécies de gramíneas, leguminosas e matas de galeria, além de uma grande variedade de espécies herbáceas, arbustos e árvores de pequeno porte (BOLDRINI, 2009).

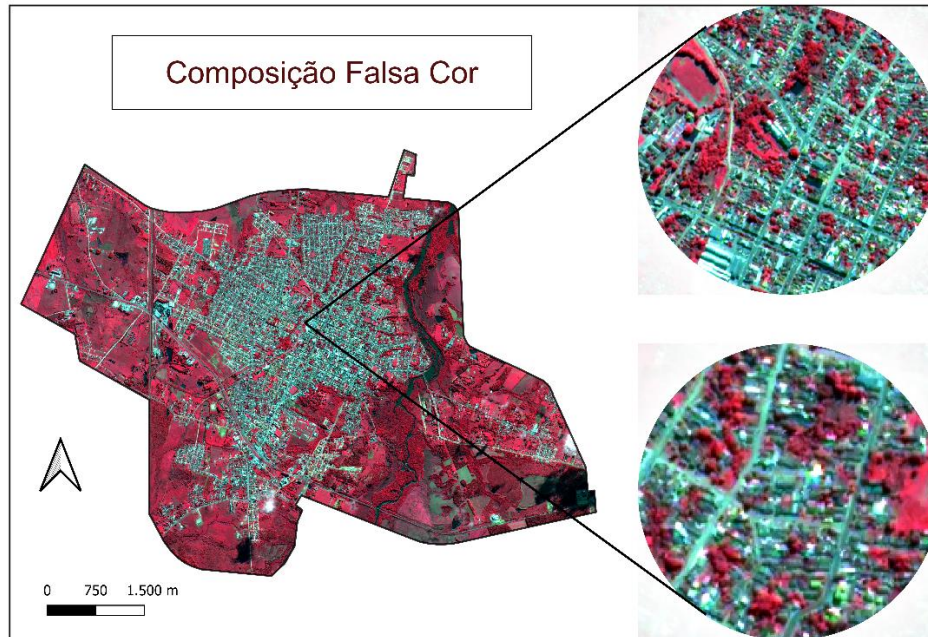
3.2 Organização e pré-processamento dos dados espaciais

Para cobrir a área de estudo utilizou-se apenas uma cena do satélite CBERS-04A, sensor WPM, de 07/05/2022, obtida gratuitamente através da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE). A câmera WPM possui 8 metros de resolução espacial nas faixas do visível e infravermelho próximo e 2 metros na banda pancromática. A escolha da cena se deu mediante a disponibilidade de imagens que possuíssem menores porcentagens de nuvens e também de imagens com datas recentes.

O processamento da imagem se deu no *software* QGIS 3.16.16, onde primeiramente foi feita a reprojeção dos dados, a fim de modificar o sistema de referência de coordenada de todas as bandas de WGS 84/UTM 22 S (EPSG: 32722) para SIRGAS 2000/ UTM 22 S (EPSG: 31982). Em seguida, as cenas foram recortadas para o local de estudo através da função “Recortar raster pela camada máscara”. A camada máscara utilizada foi o mapa do plano diretor da cidade, disponibilizado pela Prefeitura municipal de São Gabriel, contendo a informação do limite urbano do município. Para tanto foi necessário realizar o georreferenciamento deste mapa, pois o mesmo não possuía coordenadas geográficas, apenas coordenadas de tela.

Após, adotou-se na imagem a composição falsa-cor através do empilhamento das bandas espectrais infravermelho próximo, vermelho e verde (432 RGB). Essa composição permite que a vegetação tenha um maior destaque (com a cor vermelha), o que favorece a sua posterior classificação (Figura 7).

Figura 7. Composição Falsa Cor



Fonte: Autor

Em seguida, com o auxílio do *algoritmo* “Pansharpening”, foi feito o processo de fusão das bandas multiespectrais (de 8 metros) com a banda pancromática (2 metros de resolução espacial). Esse processo é realizado com a finalidade de melhorar a resolução espacial da imagem multiespectral que originalmente é de 8 metros. O processo de fusionamento fez com que as bandas passassem a ter 2 metros de resolução espacial, sendo de suma importância para que a classificação ocorra com melhor nível de detalhamento espacial. Uma copa de árvore, por exemplo, que possui 24 metros de diâmetro, com as imagens de 8 metros de resolução espacial, seria representada por apenas 3 pixels, já nas imagens com resolução espacial de 2 metros, a mesma árvore seria representada por 12 pixels.

3.3 Classificação e quantificação da cobertura arbórea

Para o cálculo da área de cobertura arbórea no limite urbano do município de São Gabriel foi feita uma classificação supervisionada através do “*Semi-Automatic Classification Plugin*”, disponível no QGIS. Como o foco deste estudo é a cobertura arbórea, foram realizadas 20 coletas para a classe “árvores”. Para outras classes como, água, sombra de nuvem, campo e solo exposto foram realizados apenas 10

coletas para cada uma, a fim de aumentar a diferenciação e a precisão entre a classificação do que de fato era cobertura arbórea do restante dos alvos.

Para testar a concordância entre os resultados obtidos da classificação da imagem e as amostras coletadas, utilizou-se o índice Kappa. O índice Kappa pode ser entendido como uma grandeza de associação para testar a confiabilidade e precisão em uma determinada classificação (KOTZ; JOHNSON, 1983).

O produto gerado pela classificação supervisionada foi convertido para o formato *shapefile*, onde posteriormente fez-se o uso de vetores dos bairros, estes disponibilizados pelo plano diretor do município de São Gabriel, como máscaras para realizar o corte das feições e assim efetuar o cálculo de área da cobertura arbórea para cada bairro.

3.4 Indicadores quantitativos de cobertura arbórea

O ICAH (Índice de Cobertura Arbórea por Habitante) diz respeito à proporção entre a área de cobertura arbórea em metros quadrados (m²) e o número de habitantes de um determinado local. O cálculo do ICAH foi feito por meio da razão entre a área de cobertura arbórea encontrada através da classificação da cena do satélite CBERS-04A e o número de habitantes da área urbana de São Gabriel segundo o censo IBGE 2010. O ICAH, cuja unidade é m² habitante⁻¹, é determinado pela seguinte equação:

$$ICAH = \frac{CA}{NH}$$

Onde:

CA – Cobertura arbórea (m²)

NH – Número de habitantes

Além do ICAH, foi utilizado também outro índice, o Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) que denota a porcentagem de cobertura arbórea, em função da área total do perímetro urbano, e é realizado através da seguinte equação:

$$PCA = \frac{\sum CA}{AT} \times 100$$

Onde:

CA – Cobertura arbórea (m²)

AT – Área total urbana (m²)

Os índices ICAH e PCA foram calculados considerando a área total do limite urbano do município de São Gabriel, e também para cada bairro. A análise macro (área urbana) possibilita a visualização da situação como um todo, e micro (por bairro) torna possível reconhecer a situação de cada bairro e as diferenças entre eles.

A distribuição de frequência bem como a amplitude de classes para a elaboração dos mapas com as informações de ICAH e PCA, seguiram uma regra matemática. A distribuição de classes foi organizada com o intuito de uma melhor visualização em mapa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

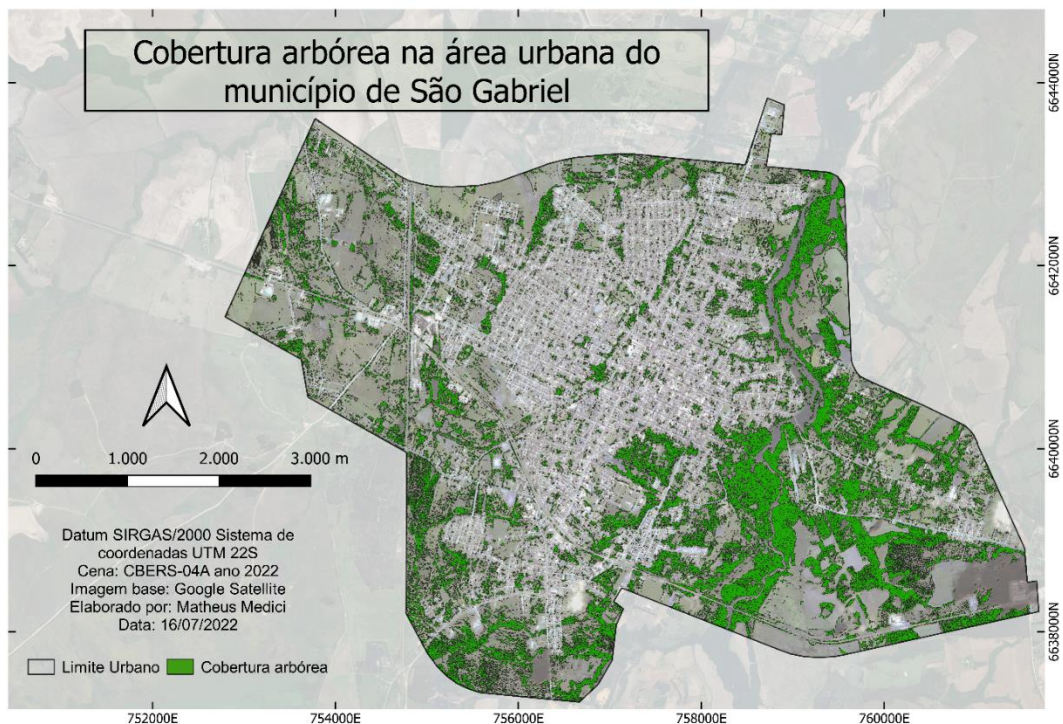
Por meio da metodologia apresentada, observam-se os seguintes resultados:

4.1 Cobertura arbórea na área urbana de São Gabriel

A classificação supervisionada realizada nesse trabalho obteve um valor de índice Kappa de 0,847. Quando o índice k resulta em um valor acima de 0,6 e menor que 0,8, a classificação pode ser considerada como muito boa. Quando o valor do k se dá entre 0,8 e 1,0 a classificação é considerada como excelente (FONSECA, 2000).

Através do uso de imagem CBERS-04A e classificação realizada, foi quantificado para a área urbana do Município de São Gabriel 730,14 ha de cobertura arbórea dentro de um total de 3464,80 ha extensão territorial (Figura 8), resultando em um PCA de 21,07%. A espacialização mostra que as maiores concentrações de cobertura arbórea estão localizadas no entorno dos cursos d'água, principalmente nas margens do Rio Vacacaí, nas porções que ainda não apresentam áreas construídas.

Figura 8: Mapa da cobertura arbórea na área urbana do Município de São Gabriel – RS, 2022.



Fonte: autor (2022).

Em um estudo semelhante para a mesma área utilizando imagens do satélite RapidEye datadas em setembro de 2014 e abril de 2015, Teixeira e Gonçalves (2020) encontrou um valor de PCA de 12,27%. Essa disparidade pode ser devido a diferença de 7 anos entre as imagens utilizadas, o que pode indicar um incremento de 8,8% de cobertura arbórea na área urbana do município de São Gabriel. Outra possível explicação é a diferença entre os satélites utilizados e as características de suas câmeras imageadoras. Para que se tenha dados exatos acerca desta diferença, o ideal é que se faça uma comparação entre mesmos satélites.

Em relação ao Percentual de Cobertura Arbórea encontrado, 21,07%, a *American Forest* (2022) recomenda que haja uma cobertura média de 40% da copa das árvores em áreas urbanas, visto que a média nacional de coberturas de árvores nas principais cidades dos Estados Unidos (EUA) é de 27,1%.

Já para Oke (1974), a Porcentagem de Cobertura Vegetal (PCV) recomendável se encontra na faixa de 30%. Ressalta-se que o valor recomendado faz referência a cobertura vegetal constituída por vegetação arbórea, arbustiva e herbácea, diferentemente do PCA, que considera apenas a arbórea.

Levando em consideração o total de cobertura arbórea mapeada e o número total de habitantes do perímetro urbano do município de São Gabriel, o Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) corresponde a $135,78\text{m}^2.\text{habitante}^{-1}$. Comparativamente, a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU, 1996), recomenda $15\text{m}^2.\text{habitante}^{-1}$ como referência para assegurar a qualidade ambiental.

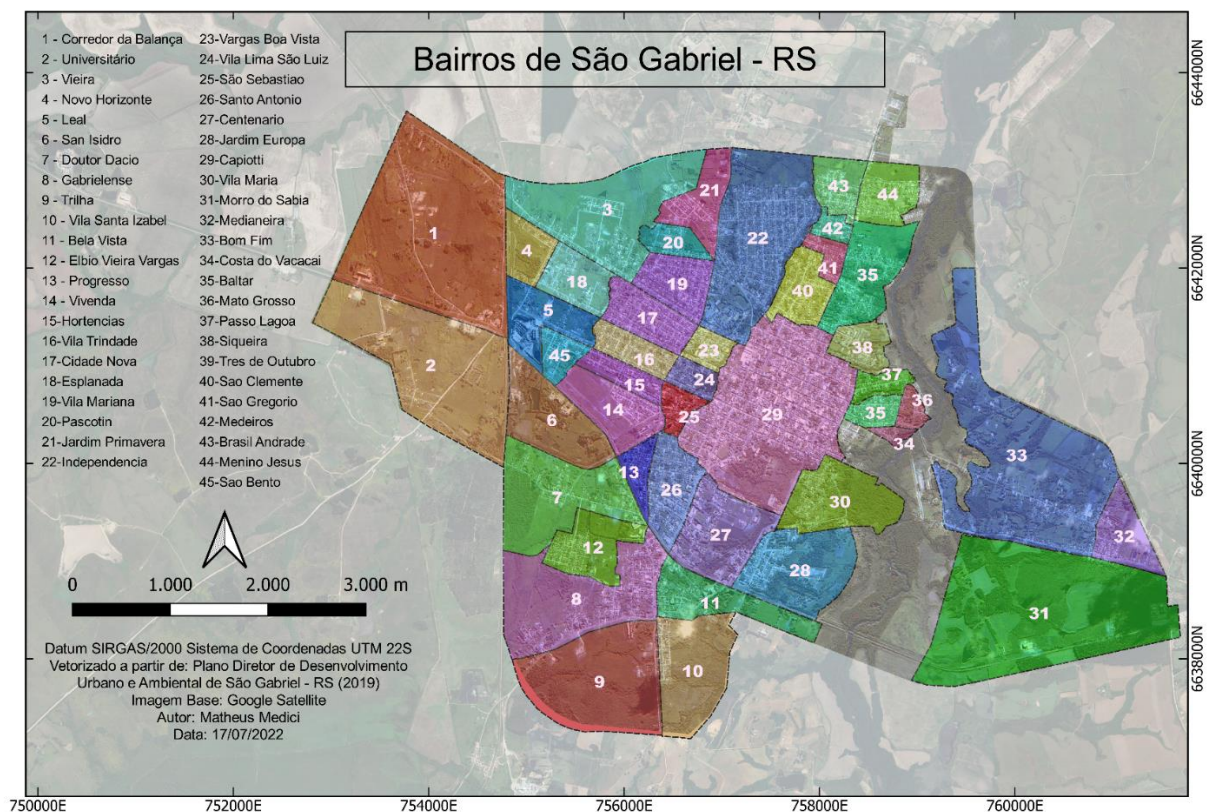
No estudo realizado por Aza (2016), onde foi analisado a distribuição da cobertura arbórea urbana no município de Ipatinga-MG, também foram encontrados índices superiores ao recomendado pela SBAU. No entanto, a autora comenta que é necessário observar se a vegetação não está distribuída de forma homogênea entre os bairros, assim como pode ser visto no caso do presente trabalho.

Constata-se que a maior concentração arbórea está localizada na porção Leste, mais precisamente as margens do Rio Vacacaí, sendo esperado este resultado já que se trata de uma Área de Preservação Permanente (APP). Situação semelhante foi notada por Aza (2016), onde as maiores concentrações arbóreas em termo de proporções territoriais estão localizadas em topos de morros e em encostas.

4.2 PCA e ICAH por bairro na área urbana de São Gabriel

Através do mapa fornecido pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de São Gabriel (2019), foi realizada a vetorização dos bairros da área urbana do município, sendo contabilizados 45 bairros conforme a Figura 9. De acordo com o Censo realizado pelo IBGE no ano de 2010, os bairros Brasil, Andrade, Costa do Vacacaí, Mato Grosso, Medianeira, Pascotin, Passo Lagoa, Progresso, Siqueira e Vieira, não foram contabilizados. É possível que os nove bairros que não foram contabilizados, tenham sido incorporados ao Plano Diretor após o Censo de 2010. Por este motivo, o ICAH não foi realizado para esses bairros.

Figura 9. Bairros do município de São Gabriel - RS

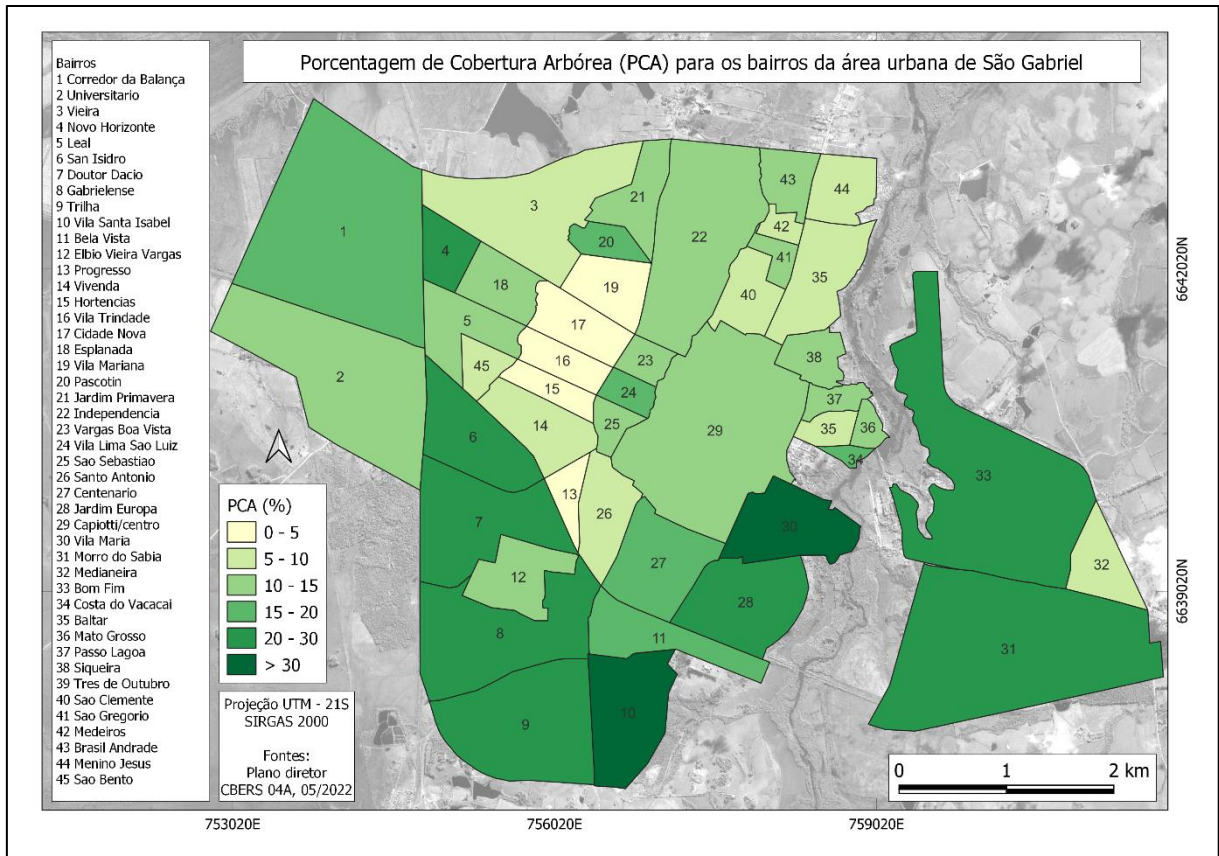


Fonte: Autor, 2022.

Com relação a análise do PCA em uma escala menor, 5 bairros não atingiram sequer 5% de cobertura arbórea em seus limites territoriais, são eles: Hortência, Cidade Nova, Progresso, Vila Mariana e Vila Trindade, podendo ser observados na Figura 10. Percebe-se que a localização espacial destes bairros está inserida na

região central do perímetro urbano do município. Para Oke (1973), áreas com valores de arborização menor que 5% determinam características semelhantes a um deserto vegetal, estando consideravelmente abaixo do recomendado.

Figura 10. Distribuição da PCA por bairro na área urbana de São Gabriel.



Fonte: Autor

De forma geral, a maioria dos bairros (Figura 10), ao total 31, apresentou índices entre 5,1% e 25% de Percentual de Cobertura Arbórea. Nesse contexto, pode-se constatar que essa situação ocorre nos bairros que estão localizados na porção mais central do perímetro urbano de São Gabriel. Esse fato pode estar relacionado ao desenvolvimento urbano e adensamento populacional.

Segundo Cordeiro (2017), durante o desenvolvimento da arborização em vias urbanas no Brasil, houve a irregularidade de distribuição da vegetação, sendo que somente a partir do século XX, surgem iniciativas no paisagismo que tornam as áreas urbanas de grandes dimensões em espaços arborizados que se caracterizam como centro de lazer e beleza para a população. Oke (1973), afirma que, para propiciar as condições ideais para a conservação da natureza e da paisagem no meio urbano, o

indicado é edificar ou pavimentar, aproximadamente, somente dois terços da superfície do centro, ou seja, 33% da área central da cidade deveriam ser permeáveis e não edificados.

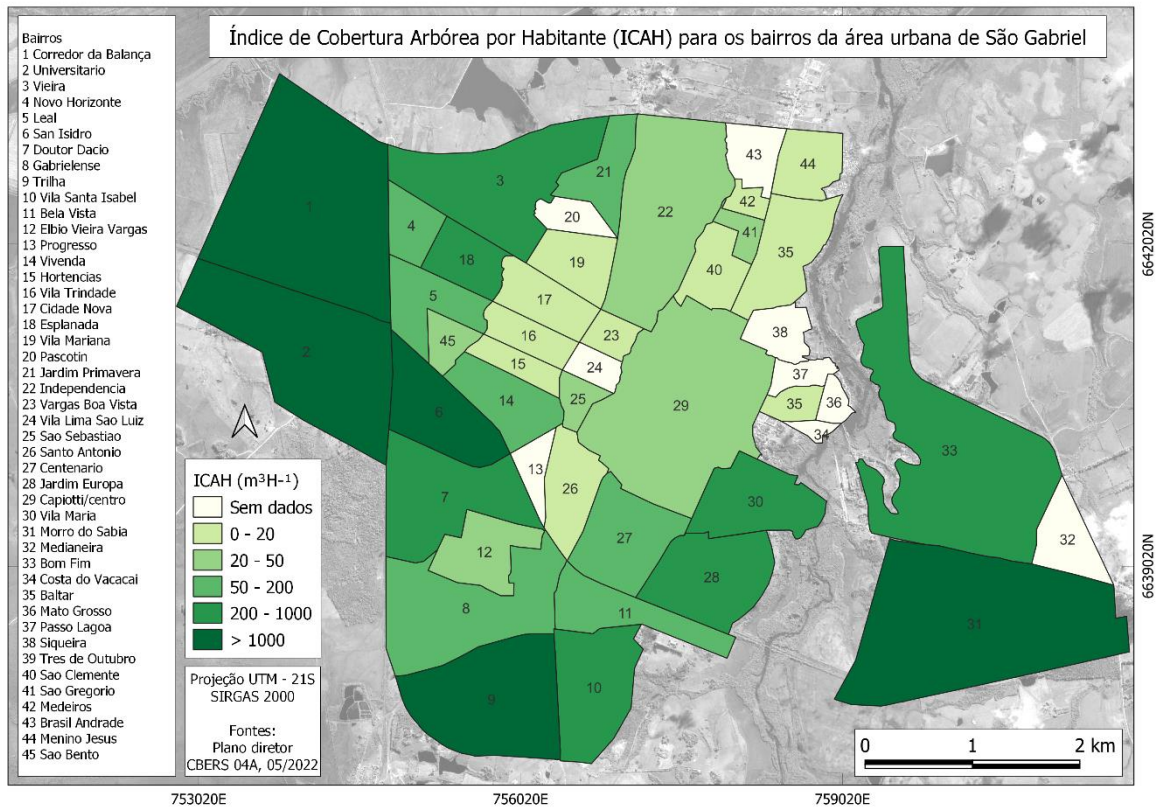
Os bairros que apresentaram maiores índices de PCA foram, Trilha (28,49%), Morro do Sabiá (29,05%), Jardim Europa (29,13%), Bom Fim (29,28%), Santa Isabel (31,03%) e Vila Maria, que apresenta o maior percentual entre os bairros com 63,48%. Esses bairros estão localizados nas porções mais afastadas do centro, conforme o observado no PCA da área urbana total. No caso do bairro Vila Maria, o alto Percentual de Cobertura Arbórea pode ser explicado pelo fato deste estar localizado próximo ao Rio Vacacaí e conseqüentemente de uma Área de Preservação Permanente (Figura 10).

Em relação ao valor do ICAH, embora o perímetro urbano inteiro tenha apresentado valores representativos ($135,78\text{m}^2.\text{habitante}^{-1}$) quando comparado aos resultados obtidos em outros estudos como, no centro de Curitiba com $12,70\text{m}^2.\text{habitante}^{-1}$ (BUCCHERI FILHO & NUCCI et al, 2006) e Distrito de Santa Cecilia com $2,96\text{m}^2.\text{habitante}^{-1}$ (NUCCI, 2001), é necessário ressaltar que as áreas de estudo citadas possuem densidade demográfica maior do que a registrada em São Gabriel, além de não ser considerada a distribuição espacial dessas árvores.

Nessa perspectiva é necessário a avaliação em micro escala, assim o cálculo do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante por bairro fornecerá informações mais precisas. Desta forma, para a área urbana do município de São Gabriel, considerou-se a área de cobertura arbórea em m^2 e o número de habitantes, ambos por bairro.

Entre os 36 bairros considerados para o cálculo do ICAH, os maiores índices ocorrem, todos acima de $1000\text{m}^2.\text{habitantes}^{-1}$, nos bairros Universitário, Corredor da Balança, San Isidro, Morro do Sabia e Trilha (Figura 11). Esse resultado pode ser associado principalmente pelo baixíssimo número de habitantes associada as dimensões da área como, no bairro Trilha que apresenta cinco habitantes distribuídos em uma Área de Cobertura Arbórea de $375.589,37\text{m}^2$, totalizando um ICAH de $75.117,87\text{m}^2.\text{habitantes}^{-1}$. Além disso, pode-se associar esses valores ao fato de que esses bairros estão situados nas periferias da área urbana.

Figura 11 – Índice de cobertura arbórea por habitante para os bairros na área urbana de São Gabriel.



Fonte: Autor.

O cenário descrito acima também é semelhante aos encontrados nos outros 11 bairros, que apresentam o ICAH entre 116,36 e 624,44m².habitantes⁻¹. Já o ICAH nos valores entre 30 e 100m².habitantes⁻¹, foram encontrados em nove bairros da área urbana da cidade. Valores entre 15 e 30m².habitantes⁻¹ foram obtidos em apenas cinco bairros. Ainda, nove bairros apresentaram o índice menor que 15m².habitantes⁻¹, entre os quais, os bairros Baltar, Cidade Nova, Hortências, Medeiros, Vila Mariana e Vila Trindade apresentaram os índices mais críticos, todos abaixo de 9m².habitante⁻¹, sendo o valor mais baixo de 3,26m².habitante⁻¹.

Diante do exposto, os bairros que apresentaram valores mais baixos em relação ao ICAH estão presentes na área central e seu entorno, já os maiores índices estão localizados nas regiões periféricas da cidade. Em um estudo realizado pelos autores Gomes e Queiroz (2001), afim de realizar a avaliação da cobertura vegetal arbórea na cidade de Birigui em São Paulo, também encontraram situações

semelhantes onde, embora os dados sejam expressivos na média do Índice de Cobertura Vegetal arbórea na cidade, este ocorre de forma desigual pelo espaço urbano de Birigui quando avaliado em micro escala, apresentando os valores menores na área central e os maiores índices localizados nas regiões periféricas da cidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constata-se que embora o índice PCA da área urbana total tenha apresentado um valor consideravelmente alto quando comparado aos dados encontrados na literatura, esse valor quando observado em micro escala demonstra uma não homogeneidade na distribuição arbórea. Essa não homogeneidade está justamente ligada a uma existência concentrada de grandes áreas de cobertura vegetal em locais mais afastados do centro urbano.

De forma geral, é constatado que os bairros localizados mais próximos ao centro apresentam baixos índices de cobertura arbórea. Pode-se associar esse fato com o crescimento urbano sem o planejamento paisagístico para a cidade de São Gabriel, além da concentração populacional maior nesses bairros. Por outro lado, é possível observar que alguns bairros próximos ao centro urbano apresentam níveis médios de concentração de cobertura arbórea, este fato está relacionado a existência de praças e pequenas áreas livres, gerando resultados de maior concentração “verde”.

O desenvolvimento de estudos com objetivo de visualizar e compreender a dinâmica da cobertura arbórea das cidades é de fundamental importância, podendo ser utilizado em planejamentos urbanísticos e paisagísticos por Prefeituras e Secretarias do Meio Ambiente, uma vez que essas informações propiciam um zoneamento de áreas com déficit de arborização dentro do idealizado para fornecer um ambiente equilibrado e saudável. Podendo ser utilizado na elaboração de um Plano Diretor de Áreas Verdes e Arborização de ruas.

Ainda, estudos com o emprego de tecnologias de sensoriamento remoto provam-se capazes de contribuir com dados e informações precisas acerca do meio ambiente, dinâmicas urbanísticas, entre outros. No entanto, é imprescindível que as autoridades competentes façam uso do conhecimento para colocar em prática as demandas ambientais e o bem estar da população.

REFERÊNCIAS

AMERICAN FORESTS. **AF**. 2022. Disponível em: <https://www.americanforests.org>. Acesso em: 15 jul. de 2022.

AZA, N. M. F. **Ânalise da distribuição espacial da cobertura arbórea urbana através da relação das variáveis socioeconômicas, Ipatinga-MG**. Viçosa, Minas Gerais - Brasil, 2016.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. **Geoinformação e ambiente: trazendo a ciência espacial para a Terra**. Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina São Paulo: SENAC, 2008. 283p.

BIONDI, D. **Arborização Urbana: aplicação à educação ambiental nas escolas**. Curitiba: O Autor, 2008.120p

BOLDRINI, I. I.; **A flora dos campos do Rio Grande do Sul**. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009. 403p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 05 de outubro de 1988. Disponível em: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/CON1988_05.10.1988/art_225.asp Acesso em: 30 jul. de 2022.

Brito F, Horta CJG, Amaral EFL. 2001. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**. Open Science Framework Preprints, August 18.

BUCCHERI FILHO, A. T. e NUCCI, J.C. **Espaços livres, áreas verdes e cobertura vegetal no bairro Alto da XV, Curitiba/PR**. Revista do Departamento de Geografia/USP, 18 (48-59), 2006.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO A. M. V. **POR QUE GEOPROCESSAMENTO?** p. 345, 2001.

CANO, W. **Urbanização: sua crise e revisão de seu planejamento**. Revista de Economia Política, Campinas, v.9, n.1, p. 62 – 82, jan. 1989.

CARDOSO, E. J.; SANTOS, M. J.; CARNIELLO, M. F.. **O Processo de Urbanização Brasileiro**, XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – **Universidade do Vale do Paraíba**. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/0088_0295_01.pdf . Acesso em 25/07/2022.

CARVALHO JÚNIOR O. A. **APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS DO SENSORIA-
MENTO REMOTO PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS.** Revista de
Geografia (Recife) V. 35, No. 4 (especial XII SINAGEO), 2018

CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). **Manual de Arborização. Belo Hori-
zonte.** Cemig/Fundação Biodiversitas, 2011.

CORDEIRO, H. T. L. **A arborização das áreas públicas dos bairros de Fortaleza-
Ceará é influenciada pelas condições socioeconômicas da população?** 2017.
118 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade
Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DEÁK, C; SCHIFFER, S. R.: **O processo de Urbanização no Brasil** - 1. ed. 1. reimpr. - São
Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

Duarte, T. E. P. N.; et al. **Reflexões sobre arborização urbana: desafios a serem
superados para o incremento da arborização urbana no Brasil.** Revista em Agro-
negócio e Meio Ambiente, Maringá (PR), 2012. Disponível em: [https://periodicos.uni-
cesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5022/3156](https://periodicos.uni-cesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5022/3156) . Acesso em: 30 jul. de 2022.

EMBRAPA. **Arborização urbana e produção de mudas de essências florestais
nativas em Corumbá, MS.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002.

FERRARA, L. D. **Comunicação espaço cultura.** São Paulo: Annablume, 2008.

FILHO, B. S. S. **Interpretação das imagens da terra. Belo Horizonte:** Universidade
Federal de Minas Gerais, 2000, 17 p.

FITZ, P. R. **Cartografia Básica.** – São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** 3ª ed. Ampliada e atualizada.
São Paulo. Oficina de Textos, 2011.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens.** Instituto Nacional de
Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2000.

GOMES, E. C. F. **A nova legislação ambiental brasileira e seus efeitos sobre a
reestruturação de nascentes e remanescentes florestais.** Pesq. flor. bras., Co-
lombo, v. 38, e201601309, p. 1-10, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo
Demográfico 2010: famílias e domicílios –resultados da amostra. 2010.
Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/familias_e_domicilios/default_familias_e_domicilios.shtm>. Acesso em: 13 julho 2022.

INPE - **AMAZONIA 1: Descritivo da Missão e do Satélite**. Brazilian Multi-Mission Platform – MMP AMAZONIA-1, 2021. Disponível em:

http://www.inpe.br/amazonia1/arquivos/A800000-DDD-001_v01-AMAZONIA_1-Descritivo_da_Missao_e_do_Satelite.pdf. Acessado em: 25/07/2022.

INPE. Cbers + inpe, 2018. **CEBERS-1,2 e 2B**. Disponível em:

<<http://www.cbers.inpe.br/sobre/cbers1-2-2b.php>>. Acesso em: 25 de julho. de 2022.

INPE. Cbers+inpe, 2019. **CBERS 04A**. Disponível em:

<<http://www.cbers.inpe.br/sobre/cbers04a.php>>. Acesso em: 25 de julho. de 2022.

INPE. Cbers+inpe, 2020. **Lançamento CBERS 04A**. Disponível em:

<<http://www.cbers.inpe.br/lancamentos/cbers04a.php>>. Acesso em: 25 de julho. de 2022.

INPE. **Introdução ao sensoriamento remoto** - 2022. Disponível em:

<<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#:~:text=Sensoriamento%20remoto%20é%20um%20termo,de%20aparelhos%20denominados%20sensores%20remotos>>. Acessado em: 27 jun. de 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução por Epiphânio, J. C. N. (coord.) et al. 2. ed. São José Dos Campos: Parêntese, 2009.

JÚNIOR, J. J. F.; DANTAS, M. J. F. **Análise do albedo da superfície e índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Pacoti/CE**. Revista Tecnologia, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 1–18, 2018. DOI: 10.5020/23180730.2018.8132. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/8132>. Acesso em: 25 jul. 2022.

Kotz S, Johnson NL. **Encyclopedia of statistical sciences**. New York: John Wiley & Sons; 1983. v.4, p.352-4.

LIMA, C. F. et al. **Arborização urbana: importância para o bem-estar social**. IV Simpósio de Tecnologia da Fatec, Taquaritinga, 2017.

Lucas Jr, J. L. O., Soares, J. B. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação da adesividade agregado-ligante com o uso de processamento digital de imagem**. v. 27, n. 1, 2019.

MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. **Avaliação da arborização urbana pelos residentes – Estudo de caso em Mal. Cândido Rondon – Paraná.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.11, n.1, p.189-193

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MENESES, P. R.; SANO E. E. **Classificação pixel a pixel de imagens.** Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1 ed. Universidade de Brasília, Brasília, p.191-208, 2012.

MISSAGIA, R. S.; GUIMARÃES, V. V. S. **Recuos, avanços e continuidade do Programa de Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS): uma análise de Políticas Públicas (1999-2019).** Revista da UNIFA, Rio de Janeiro, v. 33, n. 2, p. 6 - 16, jul./dez. 2020.

NOSSACK, F. A. **Planejamento da recomposição florestal pela análise multicritério na sub-bacia do córrego do descalvado visando a conservação de recursos hídricos.** 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4a Ed. São Paulo. Blucher: 2010, 387p.

NUCCI, J.C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano.** São Paulo, SP: Humanitas, 2001.

OKE, J.B. **Absolute spectral energy distributions for white dwarfs.** The Astrophysical Journal Supplement, n. 236, v.27, p.21-35, 1974.

PEREIRA N. S. et al. **Importância do Geoprocessamento para a História e o Saber Ambiental.** FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science v.3, n. 2, jul. - dez. 2014, p. 132 - 144.

PESSOA, M. L. **Clima do RS.** Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: < <http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/socioambiental/clima/> >. Acesso em: 13 de julho de 2022.

PIRES, E. V. R. et al. **Geoprocessamento aplicado à análise do uso e ocupação da terra para fins de planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS).** Revista Geonorte, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1528-1538, 2012.

PIROLI, E. L.; BECKER, E. L. S.; BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S. **Análise do uso da terra**

na microbacia do Arroio do Meio – Santa Maria RS, por sistema de informações geográficas e imagem de satélite. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32 n. 3, p. 407-412, 2002

PONZONI, F. I.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação.** São Jose dos Campos: Parêntese, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PORTO, L. P. M.; BRASIL, H. M. S. **Manual de orientação técnica da arborização urbana de Belém: guia para planejamento, implantação e manutenção da arborização em logradouros públicos.** Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, 2013.

QUEIROZ, J. E. R. GOMES, H. M. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens.** Departamento de Sistemas e Computação, UFCG. RITA, Volume VIII, Número 1, 2001.

RECURSOS NATURAIS. Projeto Educa SeRe III-Carta-Imagens CBERS p. 16, 2016.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. **Utilização de Geoprocessamento na Agricultura de Precisão. Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga,** *Interface Tecnológica* - v. 17 n. 1, p. 329-339, (2020).

RIBEIRO, F. A. B. S. **Arborização em Uberlândia: Percepção da população.** *Revista da Católica, Uberlândia*, v. 1, n. 1, p. 224-237, 2009

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction.** 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 340p.

RODRIGUES, T. D. et al. **Percepção da arborização urbana de moradores em três áreas de Pires do Rio – GOIÁS.** *REA – Revista de estudos ambientais (Online)* v.12, n. 2, p. 47-61, jul./dez. 2010

SANTOS, N. R. Z.; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de Vias Públicas: Ambiente x Vegetação.** 1ªed. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, v. 135, 2001

SARQUIS, I.R.; VAZQUEZ, G.H.; VANZELA, L.S **Avaliação quantitativa da cobertura arbórea dos bairros centrais de Macapá (AP).** *RBCIAMB*, n.40, p. 27-42, 2016.

SAUSEN, T. M. **SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES PARA SBAU – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA. Carta a Londrina e Ibipora.** *Boletim Informativo*, v. 3, n. 5, p. 3, 1996.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. *Atlas Ambiental do Município de São Paulo.* São Paulo, 2000: SEMPLA, 1985, 358p.

SCANAVACA, L.; CORRÊA, R. F. M.; **Benefícios ambientais da arborização urbana em**

Mogi Guaçu, SP. XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Minas Gerais, 2014.

SOUZA, E. G. S.; REBELATO, M. G. **Avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Baixo Mogi com uso da geotecnologia.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 411-426 jan./mar. 2021.

SOUZA, U. D. V.; KUX, H. J. H. **Contribuição das novas bandas espectrais do satélite Worldview-II para a classificação de tipos vegetais em habitats costeiros: resultados iniciais.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.9040.

TEIXEIRA, I. F., GONÇALVES, E. B. **Determinação do Percentual de Cobertura Arbórea (PCA) e do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH) para a área urbana de São Gabriel –RS, através de imagens do satélite Rapideye.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 9, p.64126-64139, sep. 2020.

VANI, B.C. **Concepção e Implementação de um Sistema de Controle de Arborização Urbana através da Integração de Softwares Livres e de Código Aberto.** Universidade Estadual Paulista, 2011.

WREGGE, M.S., STEINMENTZ, S., REISSER-JÚNIOR, C. & ALMEIDA, I.R. 2011. **Atlas climático da região Sul do Brasil, Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Embrapa, Pelotas. 333p.

ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento: conceitos e definições.** Revista de Geografia – PPGEU - UFJF. Juiz de Fora, v.7, n.2, p.195-201, 2017.