



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DCET - DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
BACHARELADO EM URBANISMO

Beatriz Gomes Santos

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FOTOINTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO
SUPERVISIONADA NA IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO
DO SOLO URBANO**

SALVADOR-BA

JULHO/2024



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DCET - DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
BACHARELADO EM URBANISMO

Beatriz Gomes Santos

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FOTOINTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO
SUPERVISIONADA NA IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO
DO SOLO URBANO**

Trabalho de Conclusão do Curso (artigo científico) apresentado à Universidade do Estado da Bahia, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Urbanismo.

SALVADOR-BA

JULHO/2024

BEATRIZ GOMES SANTOS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FOTOINTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO
SUPERVISIONADA NA IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO
DO SOLO URBANO**

Trabalho de Conclusão do Curso (artigo científico) apresentado à Universidade do Estado da Bahia, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Urbanismo.

Salvador, 08 de Julho de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Barreto Franco - Orientador
Universidade do Estado da Bahia

Profa. Dra. Ednice de Oliveira Fontes Baitz
Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Eduardo Manuel de Freitas Jorge
Universidade do Estado da Bahia

SUMÁRIO

RESUMO	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. METODOLOGIA	8
2.1. Delimitação da área de estudo	8
2.2. Métodos utilizados	9
2.2.1. Fotointerpretação	9
2.2.2. Classificação Supervisionada	10
2.3. Acurácia e parâmetros de comparação entre métodos	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.1. Padrões de uso e ocupação do solo por fotointerpretação	16
3.2. Padrões de uso e ocupação do solo por classificação supervisionada	18
3.3. Análise comparativa entre métodos	20
4. CONCLUSÃO	26
5. REFERÊNCIAS	27

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FOTOINTERPRETAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA NA IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO

Beatriz Gomes Santos

Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra I, Bacharelado em Urbanismo, Salvador, BA, Brasil
beagomesnt@gmail.com

Gustavo Barreto Franco

Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra I, Docente do Curso de Urbanismo e do Mestrado em Estudos Territoriais, Salvador, BA, Brasil
gbfranco@uneb.br

RESUMO

Este trabalho visa realizar uma análise comparativa dos métodos de fotointerpretação e classificação supervisionada na identificação de padrões de uso e ocupação do solo urbano, com o intuito de identificar as vantagens, limitações e aplicabilidades em diferentes tipologias urbanas. O estudo teve como área de estudo, o bairro do Tororó, localizado em Salvador (BA). Para aplicação dos procedimentos, foram utilizadas fotografias aéreas de Salvador, anos 2016 e 2017, resolução espacial de 10 cm, escala cartográfica 1/1000, no software QGIS em conjunto com os complementos dzetsaka e AcATaMa. As classes foram construídas e adaptadas para a comparação entre os dois métodos, sendo elas: edificado, vegetação, solo exposto, recurso hídrico e malha viária. Os resultados demonstram que a fotointerpretação é essencial para análise detalhada de uma localidade, enquanto a classificação supervisionada possui grande utilidade em distinguir Áreas edificadas e não edificadas, destacando a importância de utilizar múltiplos métodos para uma análise abrangente. Conclui-se, portanto, que a combinação entre fotointerpretação e classificação supervisionada pode fornecer uma identificação mais precisa do uso e ocupação do solo urbano, contribuindo para o desenvolvimento de políticas e intervenções urbanas mais eficazes.

Palavras-Chave: Sistema de informação geográfica. Geoprocessamento. Planejamento urbano.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do geoprocessamento como ferramenta de apoio ao planejamento e gestão do solo urbano tornou-se basilar, dada a necessidade de mensurar as mudanças espaciais de maneira integrada e eficaz (Matos, 2019). Assim, as gestões de governança pública têm recorrido às imagens digitais obtidas pela fotogrametria e sensoriamento remoto, e tratadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para identificação e gestão do espaço urbano.

Mapeamentos urbanos apresentam grande potencial de uso, tendo em vista que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), mais de 84,35% da população brasileira vive nas cidades. O avanço e a otimização do mapeamento das áreas urbanas podem auxiliar, por exemplo, no planejamento e no melhoramento dos modais de transporte, no entendimento das dinâmicas e da evolução das ocupações nos espaços urbanos, no planejamento de políticas públicas e na modelagem de dinâmicas epidemiológicas.

Ao longo do tempo, o monitoramento das mudanças na cobertura da terra e dos padrões de uso e ocupação do solo tem trazido importantes avanços com o surgimento e a evolução de técnicas de imageamento por sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto compreende um conjunto de técnicas que capturam a imagem da superfície terrestre por meio da detecção, medição e interação da radiação eletromagnética com a superfície, sem que ocorra um contato físico entre o sensor e o objeto (Meneses et al., 2012). Seu surgimento está atrelado ao desenvolvimento da fotografia aérea, em especial a fotogrametria, e vinculada ao uso militar desde o princípio. As primeiras fotografias aéreas são datadas da guerra civil americana, em 1862, sendo posteriormente utilizadas na Primeira e Segunda Guerra Mundial e Guerra Fria (Florenzano, 2011).

As imagens obtidas pelo sensoriamento remoto fazem o uso de energia de radiação eletromagnética, seja ela natural, como a luz do sol ou artificial, como o flash de uma câmera e sinais emitidos por radares (Florenzano, 2011). A radiação eletromagnética interage com os objetos de modo micro e macroscópico, sendo a última interação a que será destacada nesta análise. Neste caso, as imagens são resultado da intensidade com que um objeto reflete a radiação em relação ao tamanho de onda e textura da superfície captada (Meneses et al., 2012). Desta forma, a partir da

imagem capturada pelo sensor os dados são armazenados em formato de arquivo digital (Figueiredo, 2005).

A classificação de imagem, seja por fotointerpretação ou classificação supervisionada, é uma excelente forma de identificar os tipos de uso da terra, limites territoriais, identificar problemas ambientais, monitorar áreas de risco e de proteção ambiental; estruturar redes de energia, água e esgoto; realizar estudos de modelagens de expansão urbana; subsidiar o controle de ocupações irregulares, etc; servindo de instrumento para o planejamento urbano e regional (Carvalho, 2010).

A fotointerpretação é uma técnica de análise de imagens que examina, reconhece e identifica os objetos na fotografia através da dedução do seu significado utilizando elementos de reconhecimento como cor, tamanho, textura, posição, sombra, padrão e forma (Franco et al., 2022). O objetivo desta técnica é reduzir o tempo de obtenção de dados de uso e ocupação do solo em comparação ao levantamento convencional em campo (Rosa, 2009).

No caso da classificação supervisionada, ao invés de analisar todos os objetos individualmente, trabalha com uma amostra dos padrões existentes previamente identificados pela fotointerpretação, classificando os elementos por meio de um software de SIG (Oliveira et al., 2014). Deste modo, a técnica identifica as classes previamente determinadas a partir dos comportamentos espectrais diferentes dos elementos da poligonal a ser trabalhada, utilizando algoritmos de classificação que conseguem extrair e classificar feições com base nos padrões de cada categoria (Vale et al., 2018).

Neste estudo, o objetivo é realizar uma análise comparativa entre fotointerpretação e classificação supervisionada para identificar padrões de uso e ocupação do solo urbano. A análise visa comparar a precisão entre as técnicas, identificar suas vantagens, limitações e aplicabilidades em diferentes tipologias urbanas, além de avaliar como a utilização conjunta das duas técnicas pode se complementar em termos de eficácia e acurácia.

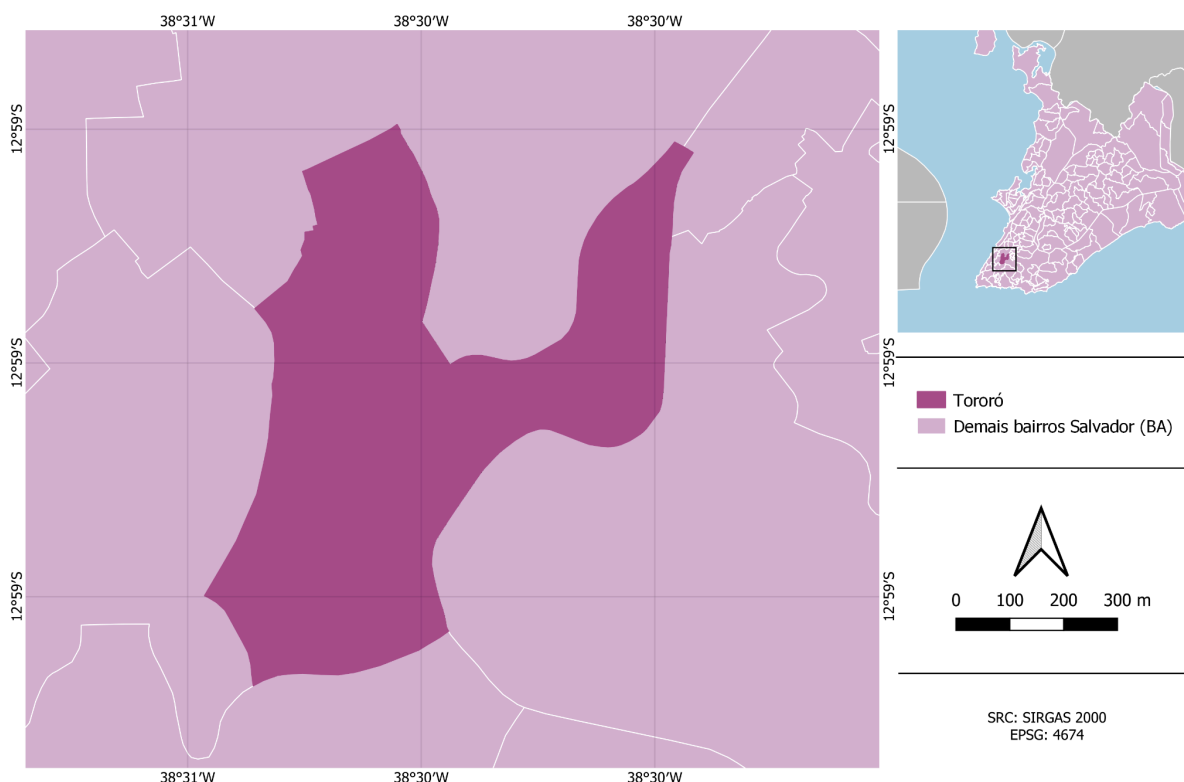
2. METODOLOGIA

2.1. Delimitação da área de estudo

O estudo realiza uma análise comparativa entre a fotointerpretação e a classificação supervisionada, na realização do mapeamento de padrões de uso e ocupação do solo urbano, tendo como área de estudo o bairro Tororó, localizado na cidade de Salvador, Bahia.

A poligonal em questão está situada na área mais antiga da cidade, e é notável pela presença do Dique do Tororó (manancial natural, tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN), que ocupa uma parte significativa do uso do solo na localidade (Figura 1) (Franco et al., 2024).

Figura 1 - Mapa de localização do bairro Tororó, Salvador (BA)



A escolha do bairro como objeto de estudo se deu a partir da análise do percentual entre áreas construídas e recursos naturais de acordo com os estudos de Franco et al. (2022) e Franco et al. (2024). O Tororó foi escolhido devido a presença marcante de recursos naturais e edificações com diferentes padrões construtivos (Figura 2).

Figura 2 - Edificações (a) e recursos naturais (b) no bairro do Tororó



(a)



(b)

Fonte: Google Maps (2022).

2.2. Métodos utilizados

2.2.1. Fotointerpretação

A fotointerpretação caracteriza-se pela identificação de padrões de uso e ocupação do solo com base no reconhecimento de elementos como cor, tamanho, textura, posição, sombra, padrão e forma de uma determinada feição. Neste estudo, utilizou-se a metodologia descrita por Franco et al. (2022) para identificar os padrões de uso e ocupação do solo urbano na zona sul de Salvador, Bahia.

Além do reconhecimento de elementos, a fotointerpretação também faz uso de uma análise socioeconômica sobre a localidade estudada, uma vez que elementos históricos, sociais e econômicos podem influenciar diretamente na atribuição das classes.

A identificação das classes foi realizada utilizando o software QGIS versão 3.10, ortoimagens na escala 1:1000 e a ferramenta Google Maps com o módulo Street View para observar a paisagem em 3D ao nível do solo.

As classes foram definidas com base no conhecimento histórico de uso e ocupação do solo, nas características socioeconômicas e naturais da área e nos elementos de reconhecimento da fotointerpretação (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de uso e ocupação do solo urbano na zona sul de Salvador (BA)

CLASSES	CARACTERÍSTICAS
Área Pública e de Lazer	Áreas públicas e de lazer como campo, praça, praia, parque, largo e quadra.
Área Verde	Áreas de reserva e/ou proteção ambiental como aglomerados de árvores, terrenos baldios e gramíneas.
Comércio e Serviço	Lojas diversas, shopping, restaurante, escritório, consultório, clínica, oficina, estacionamento, posto de combustível, banco, farmácia, academia etc.
Institucional	Edificações que sediam atividades de educação, pesquisa, cultura, militar, religião e saúde.
Recurso Hídrico	Rio, lagoa e oceano.
Residencial 1	Edificações de cunho residencial de médio e alto padrão construtivo (4 ou mais pavimentos).
Residencial 2	Edificações de cunho residencial de médio e alto padrão construtivo (até 3 pavimentos).
Residencial 3	Edificações de cunho residencial de baixo padrão construtivo, em geral até 4 pavimentos.
Uso Indefinido	Edificações em que não foi possível quantificar o pavimento e a função de uso, sendo, em geral, pequenas e adensadas, organizadas de forma desordenada e em vias estreitas.
Zona Mista	Edificações que têm mais de um uso.

Fonte: Franco et al. (2022).

2.2.2. Classificação Supervisionada

A classificação supervisionada é um método semi-automatizado que classifica o solo com base na identificação de comportamentos espectrais das feições atribuídas a cada classe (Vale et al., 2018). Para isso, é necessário treinar um algoritmo de identificação utilizando amostras de polígonos correspondentes a cada classe designada. O objetivo é facilitar a distinção através de pixels representativos ou padrões de feições facilmente reconhecíveis (Meneses et al., 2012).

A identificação dos padrões foi realizado por meio do processamento de fotografias aéreas ortorretificadas de Salvador, com resolução espacial de 10 cm. As imagens correspondem aos anos de 2016 e 2017, disponibilizadas pela Prefeitura de Salvador no site Cartografia Digital de Salvador.

As classes referentes a este método diferem das apresentadas anteriormente devido às limitações do algoritmo, que não interpreta diferentes tipologias urbanas de forma detalhada e subjetiva, como as observações feitas por interpretação de imagens





e/ou visitas de campo (Franco et al., 2022). Portanto, a classificação deve ser limitada a categorias mais gerais (Barbosa, 2021).

Segundo a metodologia descrita por Rosa (2018), as classes atribuídas para realização da classificação supervisionada aplicadas a espaços urbanos buscam identificar e diferenciar principalmente recursos naturais e padrões de edificação, podendo ser adensados ou não. Em Fitz et al. (2019) também é feita a identificação através do parâmetro de elementos naturais e áreas antropizadas, que correspondem a edificações.

Assim, foi elaborada uma nova classificação mais simplificada, utilizando quatro classes. Isso facilita a identificação pelo algoritmo e, posteriormente, para a comparação dos proveitos, limitações e desafios entre os dois métodos (Quadro 2).

Quadro 2 - Classes de uso e ocupação do solo urbano para comparação entre métodos, adaptado de Franco et al. (2022)

FOTOINTERPRETAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	CARACTERÍSTICAS	EXEMPLO
Área Pública e de Lazer	Área verde	Áreas de reserva e/ou proteção ambiental, parques, campos, aglomerados de árvores e gramíneas.	
Área Verde			
Recurso Hídrico	Recurso Hídrico	Rio, lagoa e oceano.	

Área Pública e de Lazer	Edificado	Áreas com a presença de edificações independente do tipo de uso ou número de pavimentos e Áreas de lazer como praças, largos e quadras.		
Residencial 1				
Residencial 2				
Residencial 3				
Comércio e Serviço				
Institucional				
Uso Indefinido				
Zona Mista				
Não classificado	Malha viária	Vias de circulação de pessoas e automóveis.		

Fonte: Os autores (2024).

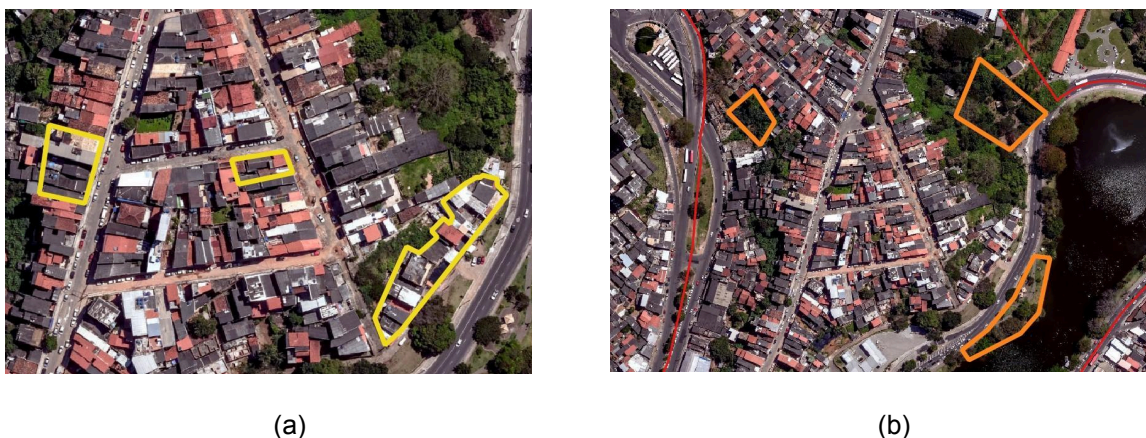
As classes relativas aos usos residencial, comercial e de serviços, institucional, misto, uso indefinido, praças, largos e quadras foram agrupadas na classe "Edificado". As áreas verdes e de lazer, como parques e campos, foram atribuídas à classe "Vegetação". A classe "Recurso Hídrico" permaneceu inalterada, e as áreas

que não foram classificadas com nenhum uso específico foram atribuídas à classe "Malha Viária", uma vez que correspondem as vias de circulação.

Para o estudo foram coletados polígonos com base em Fitz et al. (2019), que afirma que para realizar uma classificação supervisionada eficaz, é necessário treinar o algoritmo com pelo menos 50 amostras de polígonos por classe.

Portanto, no presente estudo foram processadas 200 áreas de treinamento, com 50 polígonos para cada uma das classes definidas. Os polígonos foram selecionados de acordo com os padrões que tiveram correspondência com os elementos de reconhecimento de cada classe estabelecida (Figura 3).

Figura 3 - Exemplo de coleta de polígonos para as classes Edificado (a) e Vegetação (b)



Fonte: Os autores (2024).

Dessa forma, a análise foi feita com o complemento *dzetsaka* (Karasiak, 2016), que possui o algoritmo de classificação em conjunto com o módulo *r.report* do QGis versão 3.28.14, para gerar os dados quantitativos de extensão territorial de cada classe identificada pelo algoritmo treinado (Fitz et al., 2019). Para o treinamento, foi utilizado o método Random Forest (RF), elaborado por Breiman (2001), que opera a partir de árvores de decisão para realizar a classificação por meio de regressão.

Em conjunto, foram analisadas as variações percentuais entre os valores encontrados por cada procedimento. Vale ressaltar que foram realizadas dez testagens com amostragens diferentes para alcançar o resultado final abordado nesta pesquisa.

2.3. Acurácia e parâmetros de comparação entre métodos

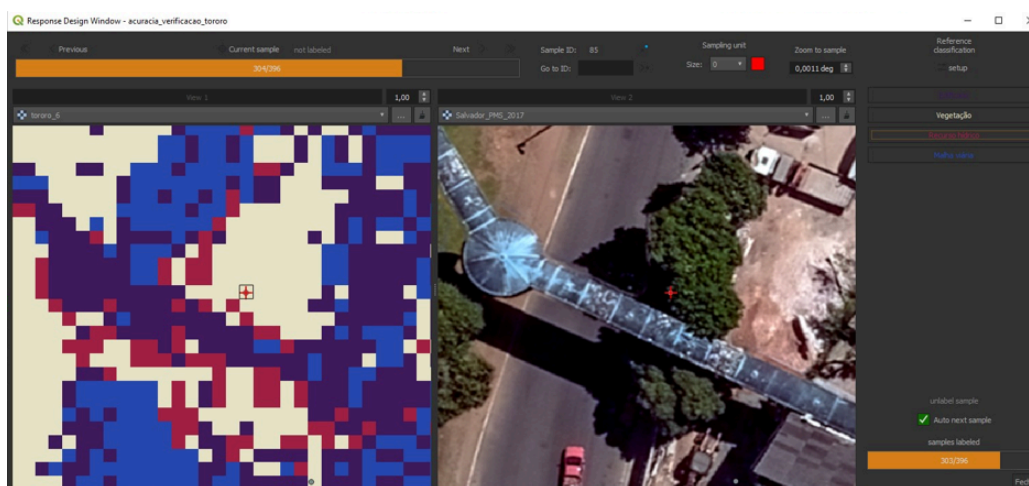
Além da produção cartográfica resultante tanto da fotointerpretação quanto da classificação supervisionada, serão elaboradas tabelas contendo os valores das áreas correspondentes a cada categoria. Dessa forma, a análise será conduzida através da comparação da correspondência quantitativa das categorias análogas de cada técnica. Para correspondência entre os métodos, será utilizada a variação percentual entre as áreas encontradas.

$$VP = \frac{\text{Valor (novo)} - \text{Valor (inicial)}}{\text{Valor (inicial)}} \times 100 \quad (1)$$

No qual o valor inicial é correlato às áreas encontradas previamente no estudo de Franco et al. (2022) por meio da fotointerpretação e o valor final referente ao quantitativo encontrado pela classificação supervisionada.

A acurácia das classes identificadas pelo algoritmo de treinamento foi validada pelo complemento *AcATaMa* (Llano, 2022). Este gera uma matriz de erros com as referências necessárias para realizar o cálculo da exatidão global e coeficiente de Kappa. Os dados são obtidos ao verificar a correspondência das áreas de treinamento com o pixel identificado na classificação a partir de uma amostragem aleatória definida pelo componente. Foram gerados 396 pontos para a verificação da acurácia da classificação supervisionada (Figura 4).

Figura 4 - Exemplo de verificação da acurácia da classificação supervisionada do bairro do Tororó com o AcATaMa



Fonte: Os autores (2024)

O cálculo da exatidão global (G) é realizado por meio da divisão entre soma da diagonal principal da matriz de erros x_{ii} e número total de amostras coletadas:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n} \quad (2)$$

O sobre o coeficiente Kappa (K), Figueiredo et al. (2007, p. 5757) afirma que é “[...] uma medida da concordância real (indicado pelos elementos diagonais da matriz de confusão) menos a concordância por chance (indicado pelo produto total da linha e coluna, que não inclui entradas não reconhecidas), ou seja, é uma medida do quanto à classificação está de acordo com os dados de referência.” Assim, pode ser definido pela seguinte fórmula:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}} \quad (3)$$

Assim a interpretação do coeficiente Kappa pode ser associada a qualidade da classificação, segundo Landis e Koch (1977) (Quadro 3):

Quadro 3 - Qualidade da classificação associada aos valores do coeficiente Kappa

COEFICIENTE KAPPA	QUALIDADE
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

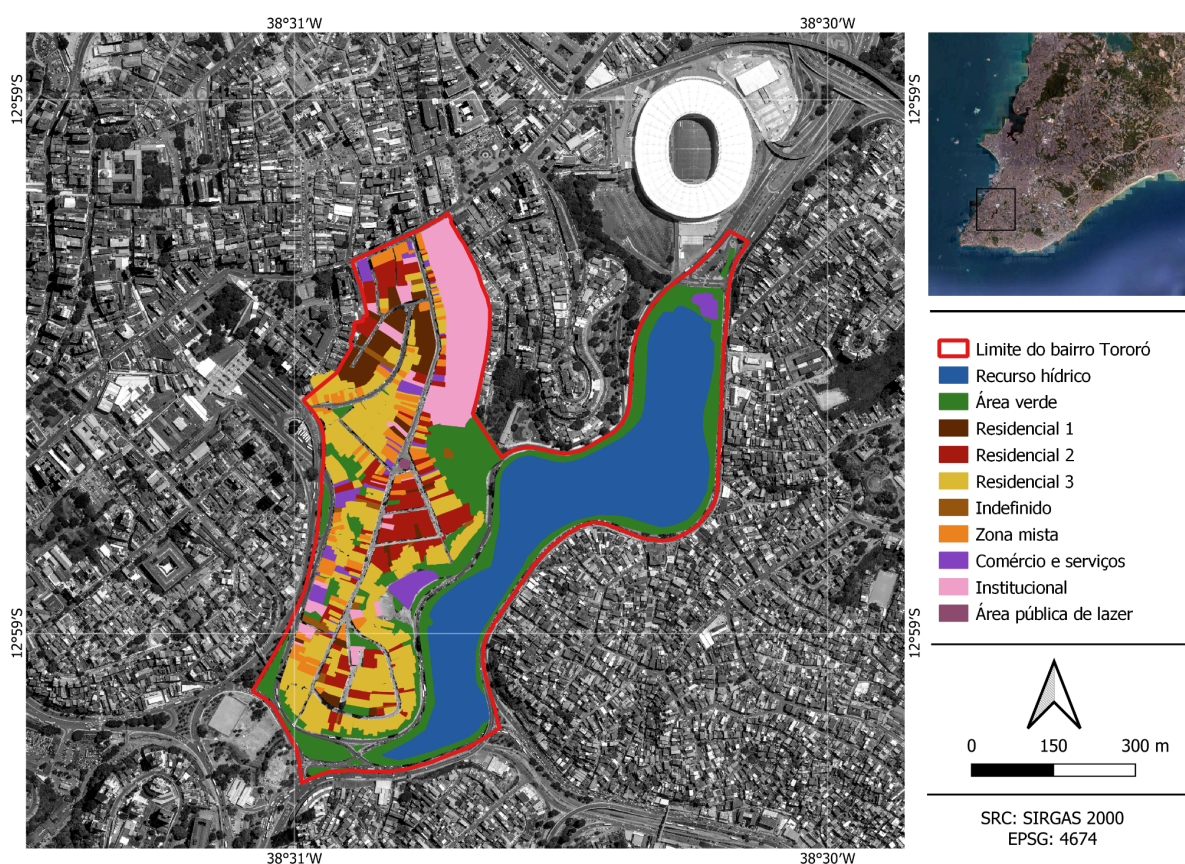
A precisão na comparação visa avaliar as vantagens e desvantagens de cada método. O objetivo é identificar em que e como cada um pode ser aplicado. Além disso, busca-se entender em quais circunstâncias elas podem ser combinadas e simplificar a identificação de padrões de uso e ocupação do solo urbano, facilitando o trabalho do corpo técnico responsável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Padrões de uso e ocupação do solo por fotointerpretação

A princípio, em Franco et al. (2022), foram elaboradas classes para identificação de padrões de uso e ocupação do solo de Salvador (BA), tendo como base a zona sul da cidade. Seus resultados evidenciam como a distribuição de equipamentos e infraestrutura urbana estão correlacionados com a renda e a raça, revelando as desigualdades socioespaciais (Figura 5).

Figura 5 - Uso e ocupação do bairro do Tororó, Salvador (BA)



Fonte: Prefeitura Municipal de Salvador (2017). Adaptado de Franco et al. (2022). Organização: Os autores (2024).

Em termos técnicos, a utilização da fotointerpretação como um instrumento de identificação de fenômenos urbanos é eficaz para potencializar a produção e classificação de padrões do uso do solo em escala de detalhe (Flach et al., 2018). No entanto, o método de Franco et al. (2022) possui limitações em localidades mais adensadas, as quais não podem ser acessadas por meio de ferramentas como o Google Street View, resultando em classes cujo uso é indefinido.

Além disso, o processo de identificação dos padrões é caracterizado pela observação de elementos da fotointerpretação definidos por Rosa (2009), o que demanda pessoal técnico qualificado para que possa ocorrer a análise o mais próximo da realidade observada.

Ainda assim, trata-se de um método que, para além da qualificação, exige tempo e dedicação do profissional, uma vez que cada componente do espaço urbano é analisado individualmente. Ademais, é necessário a utilização de outras ferramentas de visualização para maior precisão, dificultando a sua utilização em larga escala pelas gestões governamentais.

O detalhamento proporcionado pelo método desenvolvido por Franco et al. (2022) tem impacto positivo nas análises que demandam conhecimento aprofundado nas localidades estudadas, uma vez que podem identificar a presença ou não de equipamentos e infraestrutura urbana, com potencial de influenciar diretamente nas políticas públicas existentes.

Todavia, para a análise em questão, foram adaptadas as classes definidas por Franco et al. (2022), a fim de facilitar os parâmetros de comparação entre os dois métodos trabalhados, de acordo com a área equivalente de cada uso (Tabela 1).

Tabela 1 - Adaptação das classes de uso e ocupação estabelecidas por fotointerpretação

Classe	Classe adaptada	Quantitativo correspondente (m²)
Área Pública e de Lazer	Área verde	276,45
Área Verde	Área verde	79.124,00
Recurso Hídrico	Recurso hídrico	115.545,00
Comércio e Serviço	Edificado	12.282,10
Institucional	Edificado	35.219,50
Residencial 1	Edificado	14.157,80
Residencial 2	Edificado	27.593,30
Residencial 3	Edificado	59.726,29
Uso Indefinido	Edificado	4.499,15
Zona Mista	Edificado	12.238,80
Não preenchido	Malha Viária	79.058,61
Total		439.721,00

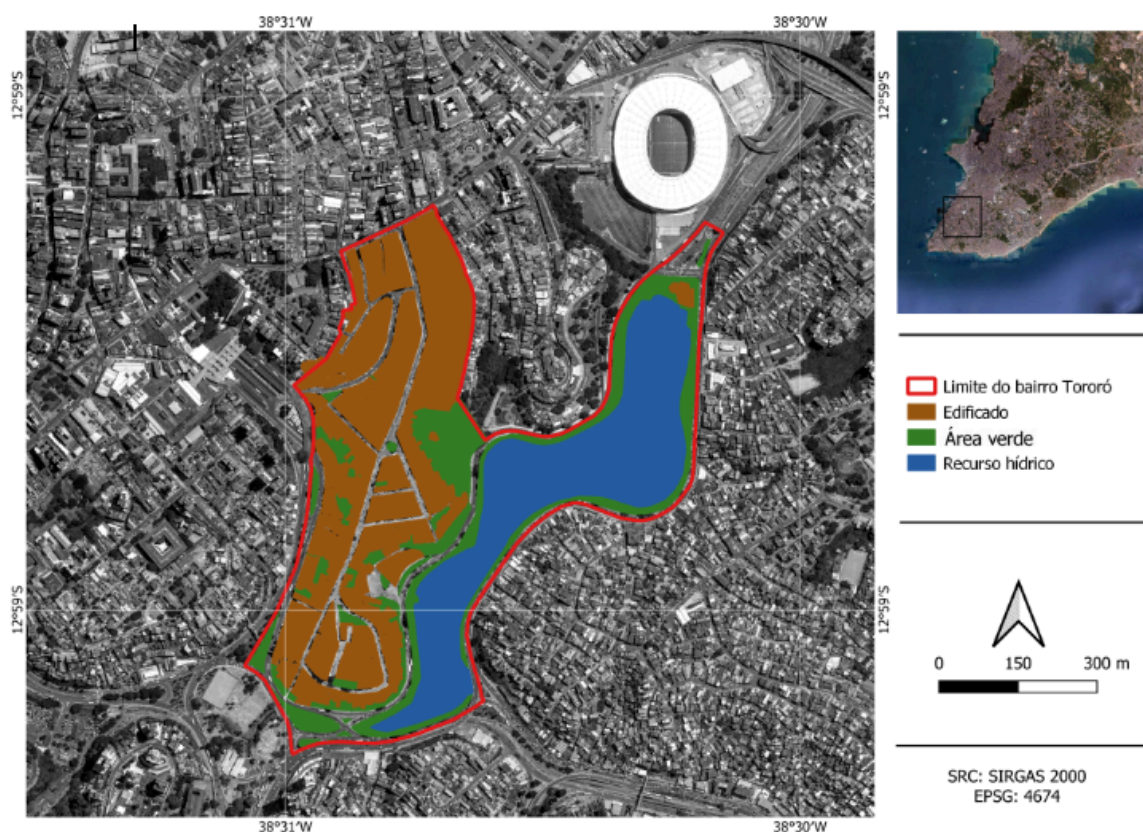
Fonte: Adaptado de Franco et al. (2022). Organização: Os autores (2024).

As classes foram adaptadas conforme a correspondência nas categorias mais

abrangentes. Os usos Residenciais, Comércio e Serviço, Institucional, Zona Mista e Indefinido foram adaptados para a classe Edificado, uma vez que os elementos que compõem essas classes correspondem a edificações de qualquer padrão construtivo e sem limitação de pavimento.

A classe Área Pública e de Lazer, no caso específico do Tororó, foi classificada como Área Verde, devido a predominância de árvores e gramíneas. Por fim, permaneceram sem alterações as classes Área verde e Recurso hídrico (Figura 6).

Figura 6 - Uso e ocupação do bairro do Tororó, Salvador (BA) com classes adaptadas



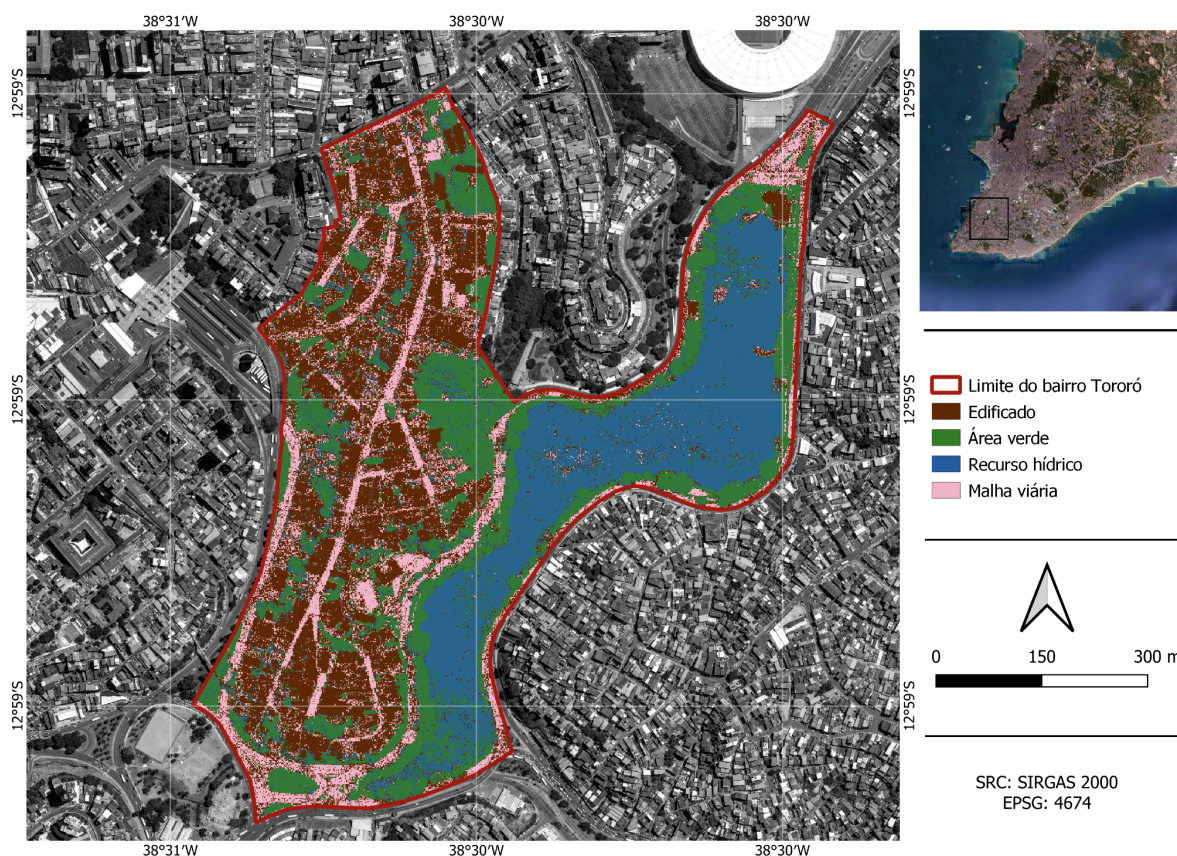
Fonte: Os autores (2024).

3.2. Padrões de uso e ocupação do solo por classificação supervisionada

Ao abordar a classificação supervisionada, é preciso recordar que trata-se de um método cujo objetivo principal se dá no treinamento de um determinado algoritmo com amostras selecionadas sobre as classes definidas previamente. Por se tratar de

um procedimento que não interpreta todo o universo estudado, há algumas limitações em relação à identificação do uso e ocupação (Figura 7).

Figura 7 - Uso e ocupação do bairro do Tororó, Salvador (BA) por classificação supervisionada



Fonte: Os autores (2024).

Nos resultados obtidos, não é possível especificar se a ocupação é residencial ou comercial, mas é admissível a diferenciação entre áreas edificadas e não edificadas. No entanto, ao contrário da foteointerpretação, por conta dessas limitações as classes definidas são mais genéricas devido a dificuldade de encontrar padrões distintos dentro espaço urbano.

Os resultados da classificação supervisionada demonstraram uma acurácia satisfatória, considerando a quantidade de amostras definidas por classes. Isso foi avaliado com base na exatidão global e coeficiente Kappa (Tabela 2).

Tabela 2 - Acurácia no mapa de classificação supervisionada no bairro Rio Vermelho, Salvador (BA)

Indicador de acurácia	Valor
Exatidão global	83,1%
Coefficiente Kappa	0,76

Fonte: Os autores (2024).

Os indicadores de acurácia mostram uma boa concordância com a classificação realizada, com uma exatidão global de 83,1% e Coeficiente Kappa 0,76, considerado como Muito Bom, segundo Landis e Koch (1977).

Assim, tendo sido satisfeitos os critérios de acurácia, as classes foram adaptadas e comparadas com as áreas encontradas pelo método da fotointerpretação (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparativo entre as áreas obtidas na identificação de padrões do solo urbano pelos métodos de fotointerpretação e classificação supervisionada

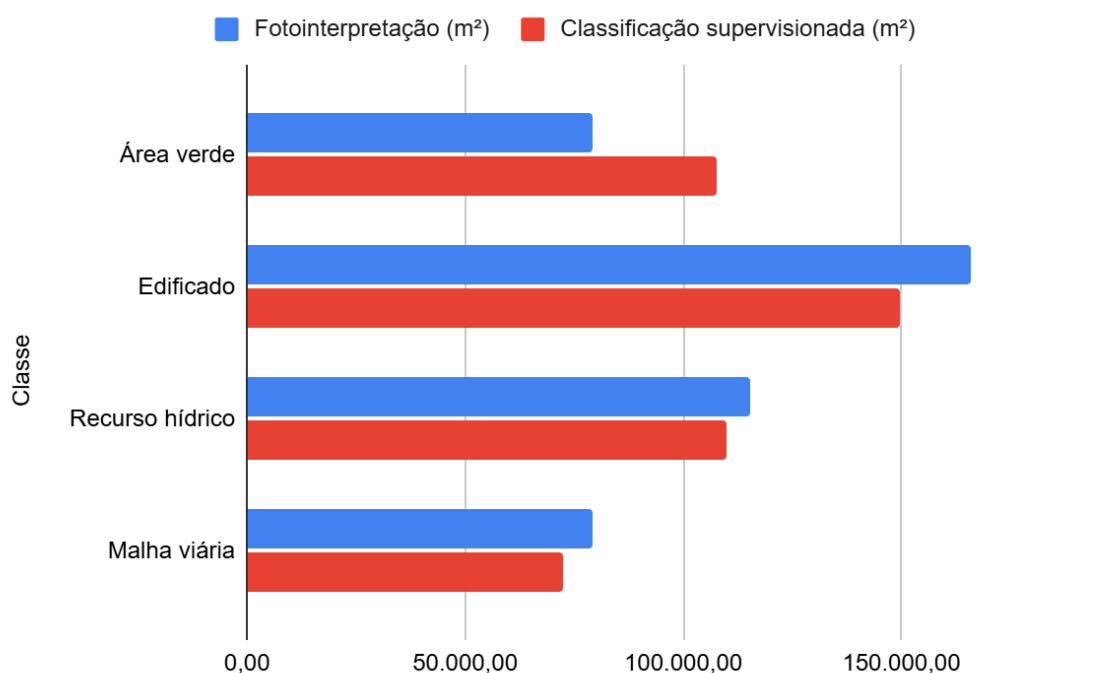
Classe	Fotointerpretação (m ²)	Classificação supervisionada (m ²)	Variação Percentual (%)
Área verde	79.400,45	107.795,74	35,762
Edificado	165.716,94	149.507,02	-9,782
Recurso hídrico	115.545,00	109.775,83	-4,993
Malha viária	79.058,61	72.647,05	-8,110
Total	439.721,00	439.725,64	0,001

Fonte: Os autores (2024).

3.3. Análise comparativa entre métodos

No geral foram observadas pequenas variações percentuais na maioria das classes, indicando que o valor encontrado na classificação supervisionada foi menor que o valor estabelecido na fotointerpretação, apenas com exceção da classe Área Verde, a qual apresentou variação de 35,7% em relação a área coletada pelo outro método (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Comparação entre áreas encontradas por Fotointerpretação e Classificação supervisionada.



Fonte: Os autores (2024).

Tal variação é decorrente, principalmente, da presença das copas de árvores de grande porte que recobrem as edificações e a malha viária, tendo em vista que a classificação supervisionada utiliza-se exclusivamente da visão vertical, ou seja, da vista de cima (Figura 8).

Figura 8 - Copas de árvores em cima da malha viária.



Fonte: Os autores (2024).

O algoritmo de identificação não consegue interpretar as camadas que estão abaixo de um elemento predominante na vista vertical. Por conta disso, não é possível identificar a malha viária sob a copa das árvores, uma vez que a visualização desse elemento só é possível a nível do solo. Logo, torna-se natural que a classe Área Verde possua uma variação mais acentuada em comparação às demais classes.

Para interpretar os resultados, é preciso compreender que a classificação supervisionada classifica os usos de acordo com padrões de cor emitidos por cada elemento do solo analisado, logo, mesmo com uma categorização prévia, é possível haver equívocos em relação a locais com cores semelhantes.

Ainda que não tenha apresentado resultados significativos, é possível exemplificar a situação com a classe Recurso hídrico, que por ter uma representação mais próxima ao preto, acaba sendo identificada também na sombra de algumas edificações e vegetação (Figura 9).

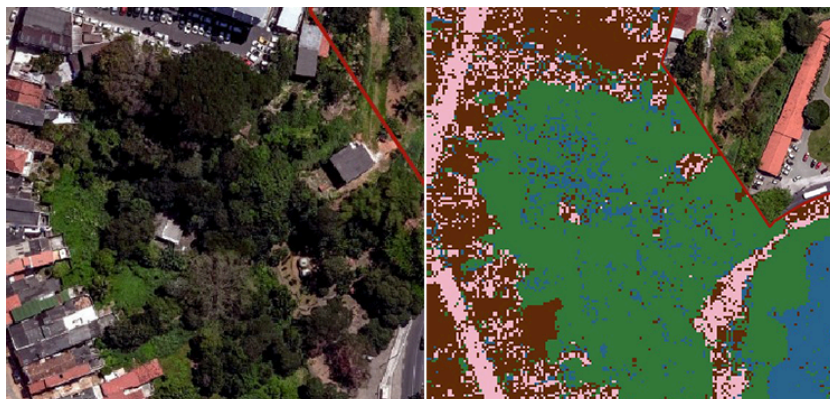
Figura 9 - Recurso hídrico identificado corretamente (a) e sombra de edificação identificada como Recurso hídrico pela proximidade de cor (b)



Fonte: Os autores (2024).

Do mesmo modo, o verde escuro de algumas áreas verdes foram identificados de modo equivocado pelo algoritmo identificador em algumas sombras de edificações e até mesmo no recurso hídrico, sendo referente a trechos com pouca profundidade, nos quais os sedimentos ficam mais expostos (Figura 10).

Figura 10 - Área verde identificada como Recurso hídrico



Fonte: Os autores (2024).

A Malha Viária, por sua vez, também apresentou divergências ao longo da sua classificação, devido à presença de veículos que muitas vezes foram confundidos com edificações e, também, por conta da sombra de edificações e da vegetação. Além disso, há uma problemática peculiar em relação a cor do pavimento e a telha de algumas edificações que se aproximam a tonalidade cinza, o que também proporcionou equívocos na identificação das duas classes (Figura 11)

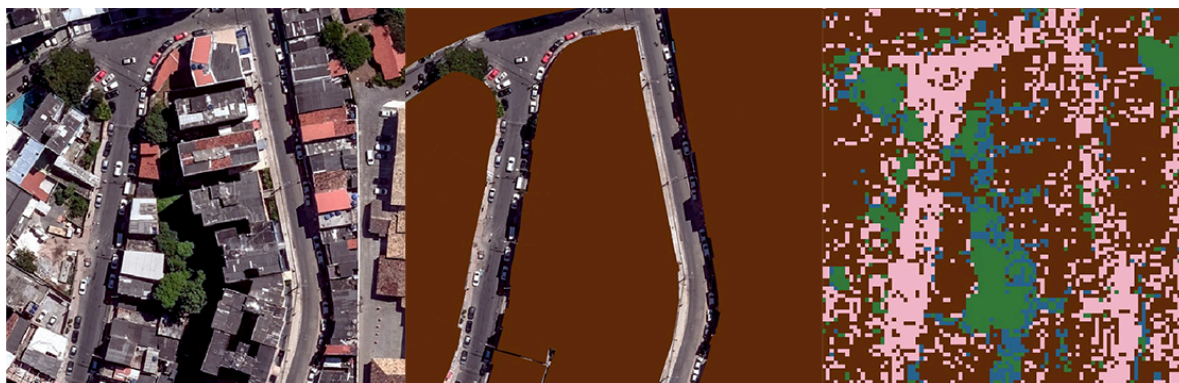
Figura 11 - Malha viária com pontos identificados como edificação



Fonte: Os autores (2024).

Referente a variação percentual da classe Área verde em específico, com exceção aos pontos abordados anteriormente, se deu pela identificação de áreas verdes dentro de lotes edificadas, o que não foi considerado pela análise por fotointerpretação (Figura 12).

Figura 12 - Comparação entre áreas edificadas por fotointerpretação e classificação supervisionada



Fonte: Os autores (2024).

Na análise realizada por Franco et al. (2022), as edificações foram consideradas como um todo, independente da existência de áreas verdes dentro delas, que leva em consideração a própria base vetorial disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Salvador, que só considera as áreas verdes fora de terrenos privados.

No geral, ocorreu uma variação de 0,001%, indicando que a área total identificada pela classificação supervisionada foi maior em relação a fotointerpretação, o que ainda assim não chega a ser uma diferença expressiva em termos de análise mas pode ser justificado pelo corte da poligonal e algumas rebarbas de pixels referentes a aplicação da máscara de corte no raster da ortoimagem (Figura 13).

Figura 13 - Distorção de pixels no raster da ortoimagem após recorte da poligonal classificada



Fonte: Os autores (2024).

Dessa forma é perceptível que os métodos analisados, apesar de possuírem o mesmo propósito de identificar os padrões de uso e ocupação do solo urbano, apresentam especificidades que podem ser utilizadas em determinadas ocasiões (Quadro 4).

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens da fotointerpretação e da classificação supervisionada em solos urbanos

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Fotointerpretação	Detalhamento na identificação dos usos do solo.	Requer equipe qualificada para analisar e interpretar as imagens de cada elemento.
	Observação individual de cada elemento.	
	Possibilidade de visualização 3D por meio de ferramentas como o Google Street View.	Requer tempo para detalhar cada tipo de uso de acordo com o contexto histórico e social da localidade estudada.
	Melhor compreensão na distribuição de equipamentos urbanos e zoneamento.	
Classificação supervisionada	Rapidez para obter padrões de uso do solo urbano.	Menor detalhamento entre as classes por depender de um algoritmo de classificação.
	Ajuda a visualizar indicadores populacionais de ocupação.	
	Monitoramento temporal de áreas de preservação ambiental ou ocupação urbana.	Necessário combinar com outros métodos para obter uma classificação mais precisa.
	Análise inicial para fins de Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM).	

Fonte: Os autores (2024).

Em termos práticos, a classificação supervisionada é o método mais rápido para poder obter o uso do solo urbano, no entanto, por depender de um algoritmo de classificação, não terá tamanho detalhamento quanto a fotointerpretação. Ainda assim, o método torna-se útil quando é preciso analisar e monitorar fenômenos temporais no espaço físico, seja em termos de preservação ambiental ou ocupação urbana.

Também é possível visualizar indicadores populacionais como densidade demográfica, uma vez que, uma localidade com predominância de edificações pode

indicar concentração populacional. Tais diagnósticos podem contribuir na compreensão de fenômenos do espaço urbano, assim como na fiscalização das leis de uso e ocupação do solo de um determinado município

Para fins de Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), a classificação supervisionada pode ser um parâmetro inicial de identificação dos elementos do espaço urbano, podendo delimitar o que é construído e o que é recurso natural. Isso facilita na delimitação de áreas de preservação e identificação de possíveis Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) a depender da quantidade de edificações adensadas em uma localidade. No entanto, para que exista precisão nessas análises, é preciso combinar o método com outros procedimentos, a exemplo da fotointerpretação.

A fotointerpretação apresenta mais detalhes em sua identificação, o que é essencial para políticas públicas urbanas, cujo objetivo é compreender a distribuição de equipamentos públicos, assim como as características de utilização de uma área em específico na atualidade. Ao contrário da classificação supervisionada, é possível detalhar as classes utilizadas ao longo do processo, uma vez que é possível observar cada elemento individualmente, seja pela própria ortoimagem ou pela ajuda de ferramentas como o Street View que permitem ver a localidade em 3D.

Assim, a identificação semi-automática contribui para o entendimento inicial de como está espacializado o solo urbano, trabalhando com categorias mais genéricas que possam ser aprofundadas por meio de métodos como a fotointerpretação. A partir disso, é possível agilizar o processo trabalhando apenas em interpretar os usos daquilo que ainda não foi identificado com precisão.

4. CONCLUSÃO

Ao longo do processo notou-se que a fotointerpretação permitiu uma análise mais detalhada e subjetiva das tipologias urbanas em comparação com a classificação supervisionada, que é limitada a categorias mais amplas.

A fotointerpretação oferece uma compreensão mais aprofundada dos espaços e equipamentos urbanos, especialmente em termos de fatores socioeconômicos que influenciam na classificação do uso do solo, enquanto a classificação supervisionada

é eficiente em identificar áreas construídas e áreas de vegetação predominantes em espaços urbanos de forma rápida.

A desvantagem da fotointerpretação é a demora na identificação dos padrões e a necessidade de mão-de-obra qualificada, pois a análise depende do contexto socioeconômico e geográfico local, tornando o processo mais subjetivo. Em contrapartida, a classificação supervisionada é mais rápida e simplificada, mas carece de detalhes fornecidos pela fotointerpretação, essenciais para identificar características específicas das tipologias urbanas.

No caso dos procedimentos apresentados, em termos de eficiência, a aplicação de ambos métodos não deve ser feita isoladamente. Desta forma, ambos os métodos podem se complementar. A classificação supervisionada demonstrou resultados satisfatórios na identificação de classes como Áreas Verdes e Edificadas, tornando-se eficiente na distinção de áreas construídas e áreas predominantemente vegetadas em ambientes urbanos.

A fotointerpretação entra como elemento secundário no qual, devido ao seu detalhamento, poderá identificar especificamente a categoria de cada uso. Por exemplo, uma área previamente identificada como Edificada pode, pela fotointerpretação, ser interpretada como uma residência ou comércio, entre outras ocupações.

Ademais, recomenda-se a continuidade de estudos que abordem a utilização da classificação supervisionada em áreas urbanas, a fim de ampliar os procedimentos de classificação de forma que sejam abrangentes para a tipologia diversa do espaço urbano. Além disso, é essencial o prosseguimento na análise e associação entre os dois métodos trabalhados para fins de utilização em gestões governamentais, facilitando a aplicação de geotecnologias em políticas públicas.

5. REFERÊNCIAS

ANTUNES, R. R. **Desenvolvimento de técnica para monitoramento do cadastro urbano baseado em classificação orientada a objetos. Estudo de caso: município de Goianésia - Goiás.** 134 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

BARBOSA, F. L. R. **Potencialidades e limitações das novas tecnologias de sensoriamento remoto aplicado no ambiente urbano do Distrito Federal**. 86 f. il. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade de Brasília, Brasília, 11 jan. 2022.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.

CARVALHO, G. A. **Geoprocessamento aplicado à Gestão Urbana: Possibilidades e desafios**. III ENCONTRO DE GEOGRAFIA E VI SEMANA DE CIÊNCIAS HUMANAS. Editora Essentia. 2010. Disponível em: <<https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/ENGEIO/article/view/1656>>. Acesso em: 2 jun. 2024.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005. Disponível em: <https://clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2013/04/conceitos_sm.pdf> Acesso em 11 mar 2024.

FIGUEIREDO, C; COUTINHO, G; OLIVEIRA, A. **Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto**. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf>>. Acesso em 18 abr 2024.

FITZ, P. R.; VIEIRA, J. C.; SOARES, M. C. O uso de polígonos de amostragem em classificações supervisionadas de imagens de satélite. **ENTRE-LUGAR**, [S. l.], v. 10, n. 19, p. 319–341, 2019.

Flach, C.W.; Corrêa, E.A.; Paganotto, V.D. Fotointerpretação e SIG aplicados na identificação de unidades de solos. **XII SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia** - UGB - União da Geomorfologia Brasileira. 10p. 2018.

FLORENZANO, T. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

FRANCO, G. B.; SANTOS, B. G.; DE MAGALHÃES, L. G.; FERREIRA, L. N. Padrões de uso e ocupação da zona sul de Salvador - BA. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 90, p. 252–272, 2022.

FRANCO, G. B.; MAGALHÃES, L. G. de; MOTTA, L. F. de A.; SANTOS, B. G.; SILVA, S. N. da. Padrões de uso e ocupação do solo urbano da Prefeitura-Bairro I (Centro/Brotas), Salvador - BA. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 99, p. 63–83, 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010: população do Brasil é de 190.732.694 pessoas**. agenciadenoticias.ibge.gov.br. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/13937-asi-censo-2010-populacao-do-brasil-e-de-190732694-pessoa-s>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

KARASIAK, N. Dzetsaka Qgis Classification plugin. 2016. Disponível em <<https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>> Acesso em: 10 abr 2024.

LANDIS, J.; KOCH, G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** *Biometrics*, v.33, n. 01, p.159-174, 1977.

LLANO, X. SMBYC-IDEAM. **AcATaMa - QGIS plugin for Accuracy Assessment of Thematic Maps**, version 22.10.23. 2022. Disponível em: <<https://github.com/SMBYC/AcATaMa>> Acesso em: 10 abr. 2024.

MATOS, P; **Geotecnologias no apoio ao planejamento urbano do município de Grossos - RN.** Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). 2019.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento de Imagens em Sensoriamento Remoto.** Brasília, 2012.

OLIVEIRA, G. .; MARTINS, V. .FERNANDES FILHO, E. I.; XAVIER, F. Classificação supervisionada como ferramenta para avaliação da dinâmica do uso e cobertura do solo. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 10, n. 18, 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2717>. Acesso em: 18 mar. 2024.

ROSA, M. Classificação do Padrão de Ocupação Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2. **Geography Department University of São Paulo**, p. 15–21, 9 set. 2018.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Uberlândia: EDUFU, 2009.

VALE, J. R. B.; *et al.* Análise Comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 13, p. 26, 2018.