ESTIMATIVA POPULACIONAL A PARTIR DE SUPERFÍCIES IMPERMEABILIZADAS

Gabriel Crivellaro Gonçalves

gabriel.goncalves@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Resumo: Superfícies impermeabilizadas estão diretamente relacionadas ao desenvolvimento urbano e crescimento populacional. São utilizadas como indicadores de infraestrura urbana. Pesquisas recentes estudam o potencial de superfícies impermeáveis para realizar estimativas populacionais em períodos em que não há contagem populacional. Para o mapeamento de superfícies impermeabilizadas utiliza-se dados de sensoriamento remoto, como imagens Landsat. O presente trabalho objetivou criar um modelo de estimativa populacional para Sinop – MT e Guaratinguetá – SP. Sinop não apresentou correlação entre as variáveis estudadas resulta em uma baixa precisão de modelgem. Guaratinguetá apresentou resultados melhores devido maior ocorrência de superfícies impermeabilizadas. A metodologia demonstrou eficiência no mapeamento das superfícies impermeabilizadas, entretanto grande erro na modelagem em ambas áreas de estudo.

Palavras-chave: Urbanização, estimativa populacional, Superfícies impermeáveis.

1. INTRODUÇÃO

Superfícies impermeáveis (SI) retomam estruturas que não permitam a penetração da água, em áreas urbanas é uma cobertura do solo feita pelo homem. Refere-se a superfícies de concreto, asfalto, telhado, calçadas, estradas e construções (Arnold & Gibbons, 1996; Weng, 2012). O processo de urbanização e crescimento populacional estão diretamente ligados ao aumento de superfícies impermeáveis (Sutton, Elvidge, Tuttle, & Ziskin, 2010).

Estimativas de distribuição populacionais precisas e realizadas com periodicidade são de extrema importância para que tomadores de decisões possam planejar o crescimento urbano e entender as relações entre crescimento populacional e fatores sociais, econômicos e ambientais (LU; WENG & LI, 2006).

Como alternativa aos métodos tradicionais de contagem populacional, o sensoriamento remoto fornece uma gama de ferramentas e metodologias que permitem estimar a população em grandes áreas e diferentes datas, através de séries históricas de imageamento. A partir da década de 1970, o sensoriamento remoto foi muito utilizado para estimar distribuição populacional através de quatro principais métodos: (a) Contagem de unidades habitacionais (LO 1986, 1995); (b) Relação entre população e áreas construídas (SUTTON et al., 1997; LO, 2001; LU, et al., 2010; LU et al., 2011; AZAR et al., 2013); (c) classificação de uso do solo (LANGFORD et al., 1991; LO, 2003); (d) Características espectrais de pixels (classificações pixel a pixel) (IISAKA and HEGEDUA, 1982; WEBSTER, 1996; HARVEY, 2002; JENSEN et al., 2010).

A parir da década de 1990 estimativas populacionais a partir de superfícies impermeabilizadas (SI) começaram a ser estudadas por diversos autores no mundo. Superfícies impermeáveis são relativamente estáveis e suas proporções dentro de unidades de administrativas dependem da natureza dos padrões de uso da terra (LU; WENG & LI, 2006).

Para detecção das SI em dados de sensoriamento remoto óticos, o Modelo Linear de Mistura Espectral é recebe destaque na literatura, sendo utilizado em regiões distintas e diferentes escalas de análise (LU; WENG & LI, 2006;WU and MURRAY 2003, LU and WENG 2004; WU 2004; ZU et al., 2015).

A partir do exposto, este trabalhou teve como objetivo criar um modelo de estimativa populacional para a cidade de Sinop – MT e Guaratinguetá – SP a partir de dados censitários e superfícies impermeáveis obtidas de dados de sensoriamento remoto adaptando a metodologia de LU, WENG & LI (2006).

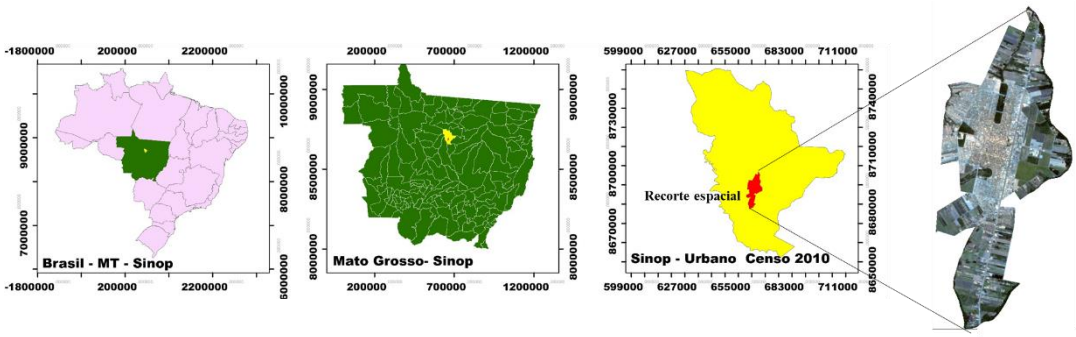
2. METODOLOGIA

2.1.Área de estudo

2.1.1. Sinop – MT

Sinop situa-se na porção médio norte do estado do Mato Grosso (Figura 1), de acordo com o IBGE (2016) o município possui uma área de 3942,229 km² com uma população de 113099 habitantes em 2010 e estimada de 139935 habitantes em 2018. Conforme o IBGE (2016) a cidade encontra-se sob o bioma Amazônico e clima Equatorial e Tropical quente e úmido.

Figura 1: Mapa com a mancha urbana e localização da cidade de Sinop no estado do Mato Grosso no Brasil.



Fonte: (IBGE (2018), elaborado pelo autor.

Na década de 1970, em virtude da política de ocupação adotada pelo governo federal, a colonizadora Sinop (Sociedade Imobiliária do Noroeste Paranaense) deu início ao processo de colonização da região norte do Mato Grosso. Na época, a área era inteiramente coberta por floresta, então iniciou-se a retirada gradativa da vegetação com corte raso para a implantação da cidade.

Em 1974 a colonizadora Sinop, instalou o núcleo urbano da cidade as margens da BR-163 (Cuiabá-Santarém) a 500 km de Cuiabá – MT. Com a proximidade da BR-163, a cidade obteve uma posição estratégica dentre as demais cidades instaladas pela

colonizadora no norte do estado. Sinop se tornou um centro de comercio e serviços, uma vez que o crescimento urbano observado foi maior que as demais cidades.

A grande maioria dos colonizadores vieram dos estados do sul do Brasil em virtude da venda de lotes de terras ofertados pela colonizadora Sinop e pelos incentivos financeiros promovidos pelo Governo Federal e pela Superintendência do Desenvolvimento do Centro-oeste (SUDECO) (Teixeira, 2006; CAPANEMA, 2017).

Durante a década de 1980 o cultivo de café e arroz fracassaram na cidade de Sinop devido as condições climáticas desfavoráveis à estas culturas. Em virtude do fracasso na agricultura incentivos fiscais forçaram a instalação da Sinop Agroquímica, usina de álcool a partir de mandioca, entretanto devido a falta de planejamento de mercado consumidor, encerrou suas atividades em 1994.

Em todo período retratado, a madeira sempre foi a principal econômica da cidade, com grande número de madeireiras instaladas na região. Porém, com o avanço do desmatamento as madeireiras precisaram migrar em busca de proximidade com as florestas. Em 1994, a chegada da energia via rede de transmissão minimizou os efeitos negativos na econômica da madeira devido à redução nos custos do processamento da madeira. Outro fator que impactou na economia madeireira foi o aumento na regulamentação e legislação da exploração madeireira.

Tabela 1: Número de empresas madeireiras instaladas em Sinop - MT

Anos	**Número de madeireiras**	**Variação (%)**
1975	109	-
1982	602	452,3
1994	570	-5,31*
1997	428	-24,9*

*O sinal de negativo (-) expressa exclusivamente a redução das indústrias madeireiras.

Fonte: SOUZA (1999)

A partir de 1995 chega o agronegócio na região, a soja ocupa áreas de pastagens e mandioca iniciando um novo rumo na economia da cidade, atraindo a instalação de empresas multinacionais como Bunge e Cargill.

Em 2004 a polícia federal desencadeou a operação curupira, na qual diversas empresas madeireiras foram fechadas desacelerando mais ainda a exploração da madeira.

Neste momento a agricultura ocupa sob todas as áreas de pastagens antigas e demais usos do solo, definindo a agricultura como principal economia do município (MOURA, 2006; MACEDO E RAMOS, 2015).

2.1.2. Guaratinguetá – SP

Guaratinguetá é uma importante cidade do Vale do Paraíba no estado de São Paulo. A cidade foi fundada em 1630 (388 anos), o povoamento iniciou-se devido ao seu ponto estratégico na rota o ouro, como ponto de início da viagem ao porto de Paraty – RJ.

Hoje, a cidade a cidade é sede de microrregião e uma das sub-sedes da Região Metropolitana do Vale do Paraíba. Conhecida como capital do fundo do vale, Guaratinguetá tem grande importância para as cidades vizinhas devido a oferta de serviços buscada pela população. Também a cidade possui importância turística e industrial (SAMPAIO; DIAS & BALESTIERI, 2013).

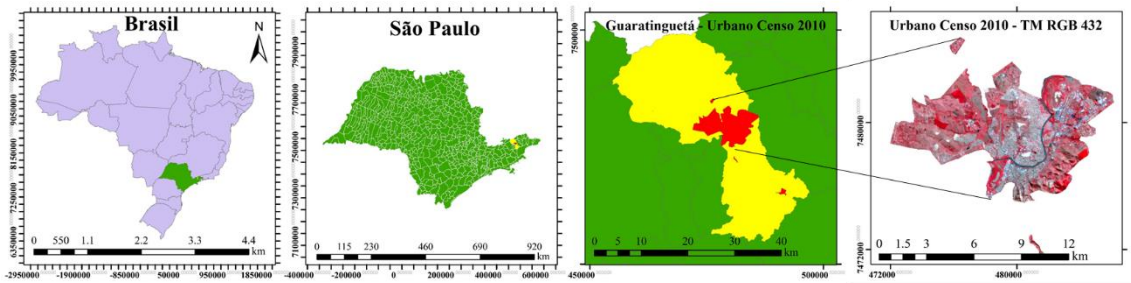


Figura 2: Mapa com a localização de Guaratinguetá.

A cidade foi escolhida para efeito de comparação, representando uma cidade com mesmo contingente populacional que Sinop-MT. Possui um processo de ocupação consolidado e antigo, totalmente diferente de Sinop que situa-se em uma fronteira agropecuária na Amazônia e com histórico recente de ocupação.

A cidade possuía no ano de 2010 112072 habitantes, e a população estimada de 121073 habitantes em 2018 (CENSO, 2010; IBGE Cidades, 2018).

2.2.Dados utilizados

No presente trabalho foram utilizadas duas bases de informações. A primeira, utilizada para determinar as áreas impermeabilizadas foram imagens Landsat 5 TM as imagens foram obtidas da plataforma EarthExplorer da U.S. Geological Survey, com correção geométrica e atmosférica.

A imagem utilizada para Sinop (Órbita/Ponto:226/63) foi adquirida pelo satélite no dia 19 de abril de 2010, esta data foi escolhida propositalmente, pois todas as áreas de agricultura no entorno da cidade encontram-se cultivadas, assim reduzido as áreas de solo exposto que normalmente são confundidas com área urbanas devido as semelhanças espectrais.

A imagem de Guaratinguetá (Órbita/Ponto: 218/76) foi adquirida pelo satélite no dia 01 de agosto de 2010. A imagem foi escolhida com o mesmo critério de Sinop, dado que estás possuem calendários agrícolas diferentes as datas escolhidas foram diferentes.

Para o processamento das imagens e identificação das superfícies impermeabilizadas foi utilizada uma composição com as seis bandas reflexivas do Landsat 5, bandas 1,2,3,4,5 e 7.

A segunda base de dados utilizada foi o Censo populacional de 2010, os setores censitários das duas áreas de estudo foram acessados na base de informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Para determinar a densidade populacional nos setores, foi utilizada a planilha “básico” variável 002 a qual apresenta o volume populacional dentro do setor. A densidade populacional é o quociente da divisão da população pela área da unidade de análise, neste estudo foi utilizado como unidade de área km², assim a densidade populacional é expressa em habitantes/km².

2.3.Mapeamento das superfícies impermeabilizadas

Para análises de média resolução espacial, o **M**odelo **L**inear de **M**istura **E**spectral é muito utilizado para mapear superfícies impermeáveis devido a eficácia e simplicidade da ferramenta (Weng, 2012; Lu et al., 2006).

O MLME assume que a refletância espectral de um pixel é uma combinação linear dos espectros da cobertura territorial dentro do pixel. Os espectros puros dessas características da cobertura da terra são chamados de ***Endmembers*** (Smith et al. 1990, Adams et al. 1995). A representação matemática do MLME é:

$$R_b = \sum_{i=1}^{N} f_i R_{(i,b)} + e_b$$

Equação 1.

Onde R_b é a refletância para cada banda b, N é o numero de *endmembers*, f_i é a fração do *endmember* i na banda b, e e_b é o erro para a banda b.

O software utilizado para utilização do MLME foi o ENVI 5.4.3, nele a partir da análise dos *endmembers*, foram escolhidas quatro frações para criar a imagem de superfícies impermeabilizadas (SI). Concreto, telhados, calçadas e grandes construções compões a fração **alto albedo**, asfalto, água e sombra compõem a fração **baixo albedo, florestas,** vegetações secundárias, agricultura e qualquer outro tipo de vegetação compõem a fração **vegetação**, e a fração **solo exposto** (LU et al., 2006) (Figura 3)**.**

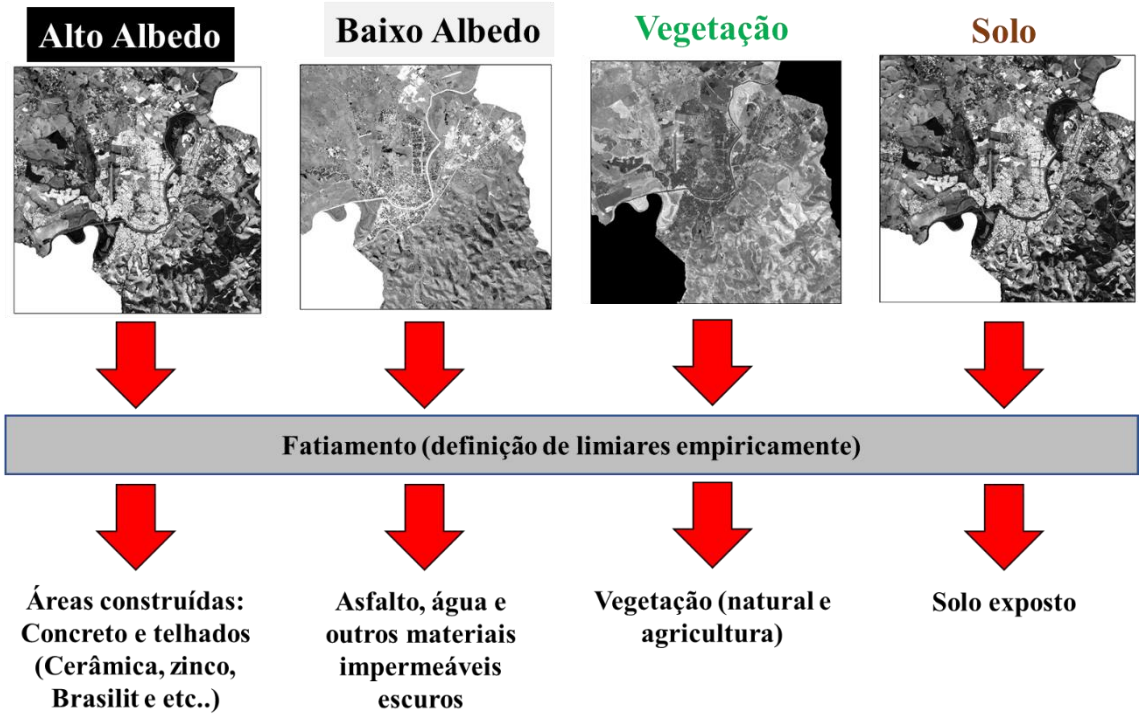


Figura 3: Frações de imagens do MLME.

As frações do MLME foram então submetidas a uma álgebra de rasterr para extrair as informações. Empiricamente foi definido um limiar do valor do pixel para cada alvo, na fração alto albedo construções resultam em valores médios do pixel a cima de 0,8; asfalto na fração baixo albedo apresenta valores entre 0,7 e 1,05 e água a cima de 1,5; Vegetação, todos valores a cima de 0,3 e solo todos valores a cima de 0,1. Esta operação resulta em imagens booleanas, “1” pixels que atendem a equação e “0” que não atendem.

Nesta etapa foram criadas cinco imagens, área construída, asfalto, água, vegetação e solo exposto. As quatro imagens booleanas foram então combinadas gerando a imagem de superfícies impermeáveis e permeáveis (Figura 4). As frações vegetação, água e solo exposto são utilizadas como mascaras para remover áreas que foram classificadas como impermeáveis de erroneamente.

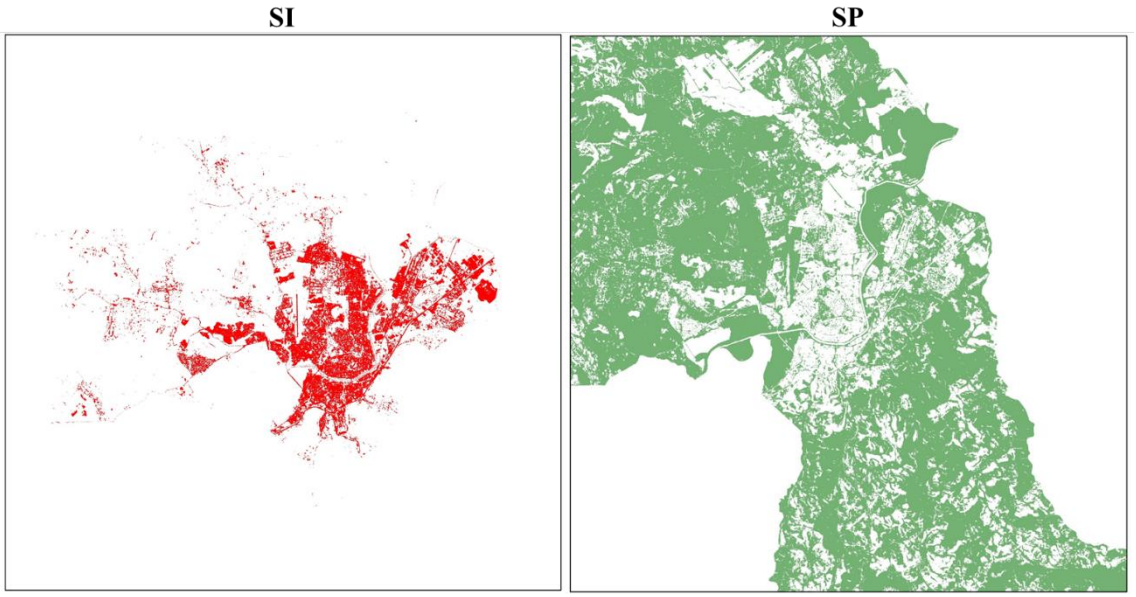


Figura 4: Mapa de superfícies impermeáveis (SI) e permeáveis (SP).

2.4. Estimativa populacional

Através da métrica *percentual of landscape* (pland) a intensidade de impermeabilização dentro do setor censitário foi determinada no software de mineração e dados GODMA. A métrica pland foi escolhida pois ela calcula o percentual que uma determinada classe que intersecta com a unidade de análise (setores censitários). A intensidade de impermeabilização (1-100%) foi utilizada como variável independente no modelo de estimativa populacional.

Utilizando os dados de volume populacional dos setores censitários foi calculada a densidade populacional (hab/km²), utilizada como variável dependente do modelo de regressão.

Para regressão linear, foram separadas metade das amostras para criação do modelo e outra metade para validação a posteriori. A regressão foi feita no software RStudio.

2.4.1. Avaliação de precisão

Avaliação de acurácia do modelo é um importante passo na criação de um modelo de estimativa populacional. Em complemento ao R^2, normalmente utilizado para avaliar a performance do modelo, o erro relativo foi utilizado para avaliar a performance do

modelo baseado em dados de validação (50% das amostras separadas). Equação utilizada para calcular o erro:

$$\mathrm{RE} = \left(P_{\mathrm{e}} - P_{\mathrm{g}}\right) / P_{\mathrm{g}} \times 100$$

Equação 2

Onde P_e e P_g são os valores estimados e de referência, respectivamente. Os resíduos (P_e-P_g) para alguns casos individuais podem ser negativos ou positivos, para determinar valores absolutos dos resíduos foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Mean relative error (MRE)} = \frac{\sum_{k=1}^{n} |RE_k|}{n}$$

Equação 3

MRE é normalmente influenciado por valores extremos, e pode não ser capaz de avaliar a performance do modelo. Para evitar isso, a mediana do erro relativo também foi calculada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 podemos observar que Sinop não apresenta correlação entre as variáveis. Em apenas a parte central (comercial) e industrial possuem asfalto nas ruas, os demais bairros residenciais possuem ruas de terra. As regiões com as maiores densidades populacionais são as que possuem menores intensidades de impermeabilização.

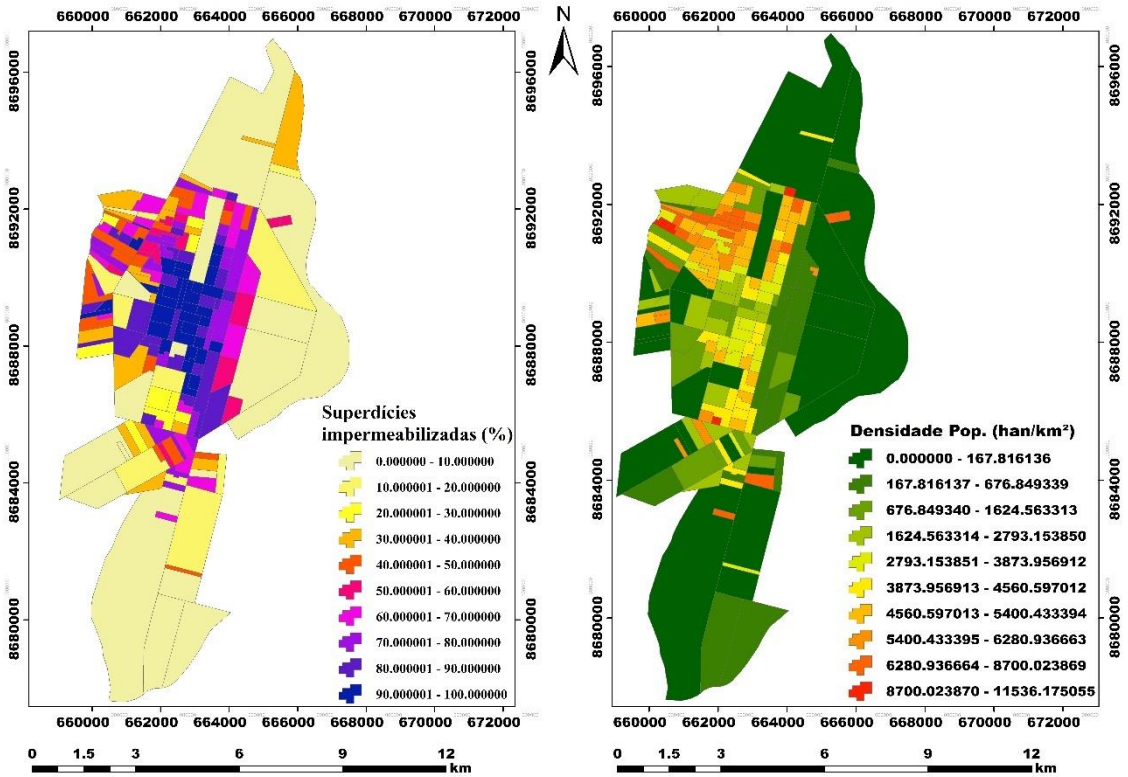


Figura 5: Mapa com intensidade de impermeabilização nos setores censitários e densidade populacional em Sinop - MT.

Na Figura 6 estão apresentados os gráficos de dispersão da modelagem, no eixo y temos a intensidade de impermeabilização e no eixo x a densidade populacional. Como observado nos mapas Sinop não apresentou em nenhuma condição a possibilidade de estimar a população a partir de superfícies impermeabilizadas.

Lu e colaboradores (2006) afirma que existe um intervalo ideal de densidade populacional para esse tipo de análise, de 800 a 3000 hab/km², entretanto em Sinop, após fazer esse ajuste não houve melhora significativa no modelo. Os mesmos autores também

afirmaram que superfícies com intensidade de menores que 25 e maiores que 75% representam áreas rurais e industriais, respectivamente, e possuem baixas densidade populacionais, assim os autores sugerem a remoção destas áreas para uma melhora no modelo. Mas assim como a faixa ideal de densidade populacional, a remoção destas áreas também não apresentou melhoras na modelagem.

Lu e colaboradores (2006) encontrou erro médio de 35, enquanto neste trabalho para Sinop o erro relativo médio foi de 169,8, demonstrando que o modelo não possui acurácia e precisão. Mas devemos salientar as diferenças de estruturas urbanas e históricos de ocupação em cidades da Amazônia da cidade que Lu et al. (2006) estudou, uma comparação direta entre as cidades é dúbia e equivocada.

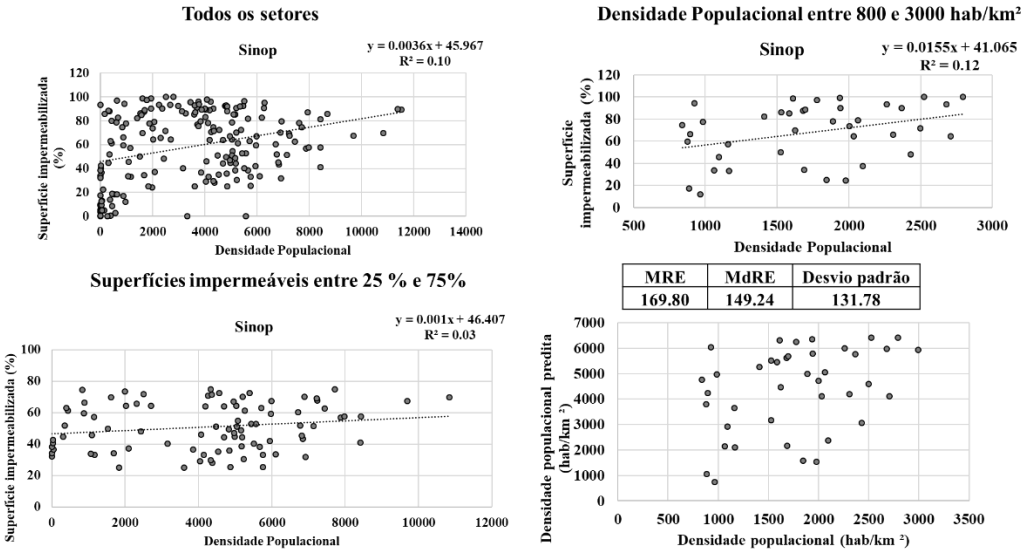


Figura 6: Gráficos com os modelos criados para a cidade de Sinop – MT.

Guaratinguetá, no estado de São Paulo apresentou correlações melhores que Sinop, devido a estrutura urbana mais consolidada e altamente impermeabilizada característica de cidades do Vale do Paraíba. Na Figura 7 podemos ver que nas áreas com maiores densidades populacionais também há maiores intensidade de impermeabilização. Entretanto a região central da cidade apresenta alta intensidade de verticalização, com isso a densidade populacional nessa região chega a 18000 hab/km². Nestas áreas verticalizadas a estimava com base em superfícies impermeabilizadas não é possível.

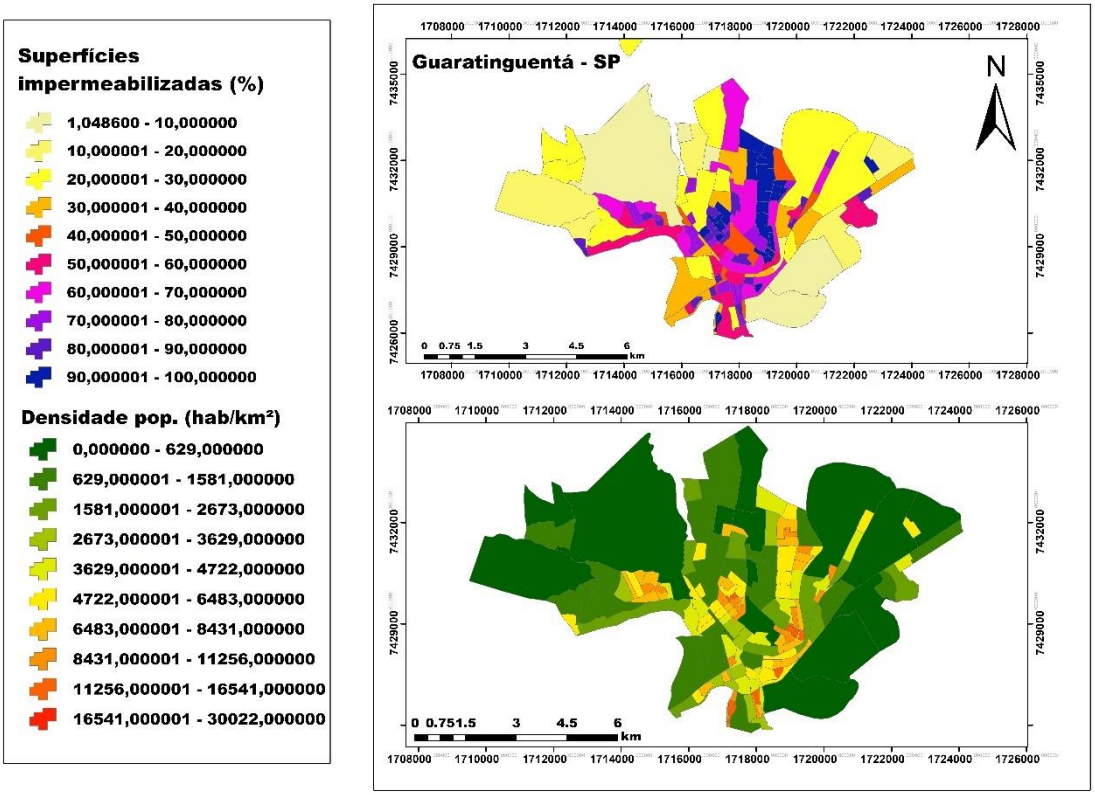


Figura 7: Mapas com as superfícies impermeabilizadas e densidade populacional nos setores censitários em Guaratinguetá - SP.

A partir dos gráficos apresentado na Figura 8 observa-se que o modelo aplicado para Guaratinguetá foi expressivamente melhor, em termos de R^2, que o de Sinop. Com a remoção de áreas com mais de 13500 hab/km² que representam os bairros verticalizados da cidade o R^2 foi de 0,36 para 0,5. Ainda assim o erro relativo médio foi quase quatro vezes maior que o encontrado para Sinop e mais de dez vezes encontrado por Lu e colaboradores (2006).

Os mesmos recortes foram feitos para Guaratinguetá, tanto a faixa ideal de densidade populacional quanto a remoção de áreas rurais e industriais apresentaram piora nos valore de R^2.

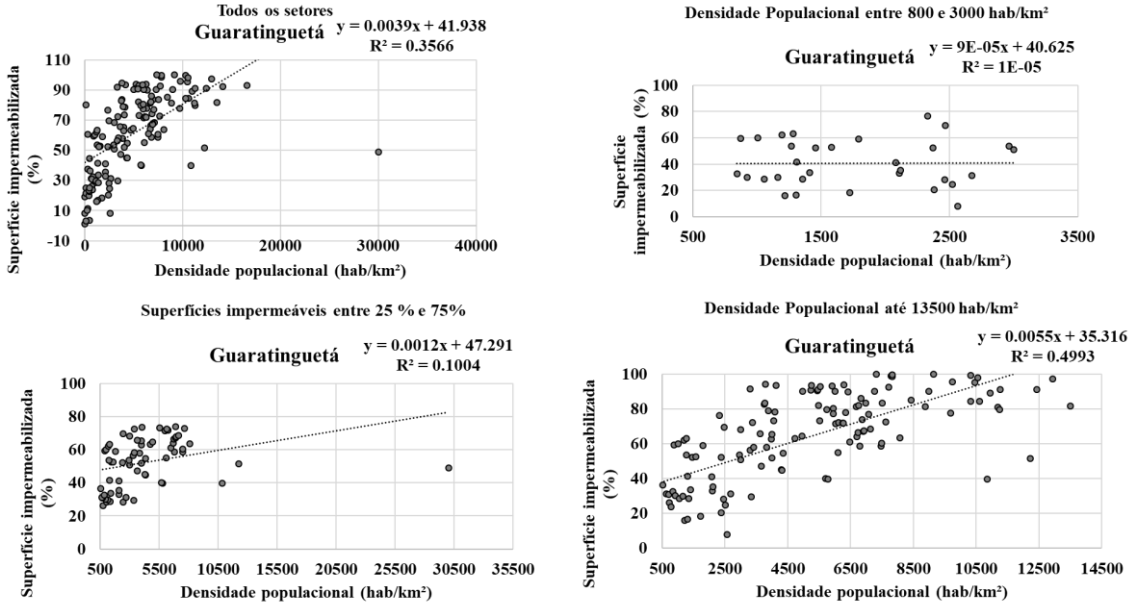


Figura 8: Gráficos com os modelos criados para a cidade de Guaratinguetá – SP.

No gráfico abaixo () é possível observar uma leve tendência linear entre as amostras utilizadas para validação e o predito. Entretanto o erro relativo demonstra baixa acurácia e precisão do modelo.

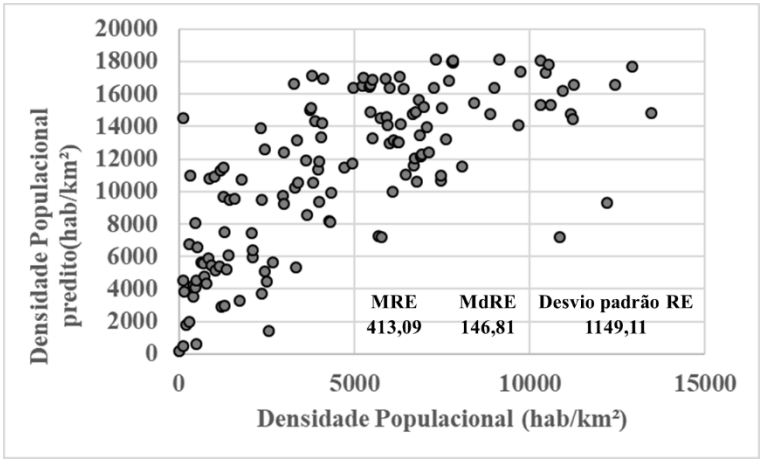


Figura 9: Gráfico com a densidade populacional predita (y) e observada (x) em Guaratinguetá.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstra a importância da utilização das geotecnologias para estudar os sistemas urbanos e como se relacionam com a população e espaço. Através do MLME as superfícies impermeabilizadas foram mapeadas em imagens Landsat. Dados de contagens populacionais foram utilizados para criação de modelos de estimava populacional.

A partir dos resultados obtidos observa-se que a metodologia necessita de uma série de premissas e características urbanas para ser efetiva. Sinop, representando cidades da Amazônia, em 2010 possuía maior parte da cidade sem ruas impermeabilizadas e as habitações possuem características distintas de outras cidades, com menores áreas impermeabilizadas. Essas condições justificam a inexistente correlação entre densidade populacional e superfícies impermeabilizadas.

Para cidades Amazônicas deve-se estudar outras metodologias para estimativa populacional, uma vez que possuem características específicas e distintas de outras regiões brasileiras.

Guaratinguetá – SP, apresentou resultados melhores quanto ao modelo. O alto grau de impermeabilização na cidade permite, minimamente, explorar as relações entre SI e população. Uma das limitações dessa abordagem, são as áreas verticalizadas, estas apresentam densidades populacionais extremamente maiores que regiões residências horizontais, sem a devida variação da intensidade de impermeabilização, reduzindo a acurácia do modelo. Guaratinguetá apresenta grande parte da cidade verticalizada, o que afeta a modelagem.

Para buscar maior precisão no modelo, a utilização de imagens de alta resolução é imprescindível, diversos trabalhos como Li, Liu e Fu (2015), Ma e colaboradores (2009) e Lu, Moran e Hetrick (2010) trelataram grande melhora nos modelos utilizando fusões de imagens de alta e média resolução e somente alta resolução.

5. REFERÊNCIAS

ARNOLD, C. L., & GIBBONS, C. J. (1996). Impervious surface coverage – The emergence of a key environmental indicator. Journal of the American Planning Association, 62(2), 243–258. 1996.

BECKER, B. K. **A Urbe Amazônida**: entre a floresta e a cidade. Rio de Janeiro: Garamond, 2013.

CAPANEMA, V. P. **Fatores de degradação florestal atuantes em diferentes estágios da fronteira agropecuária na amazônia: estudo de caso na região de sinop,** MT. Dissertação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasil. 2017.

Harvey, J. Estimating census district populations from satellite imagery: Some approaches and limitations, International Journal of Remote Sensing, 23(10):2071–2095. 2002.

Iisaka, J., and E. Hegedus. Population estimation from Landsat imagery, Remote Sensing of Environment, 12(4):259–272. 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Rio Janeiro, 2016 Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mt/sinop/panorama> acesso em junho de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em < https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mt/sinop/panorama> acesso em junho de 2018.

KÖRTING, T. S. et al. GeoDMA: A Novel System for Spatial Data Mining**.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING WORKSHOPS, 1.,2008, Pisa. **Proceedings.** [s.l.]: Ieee, 2008. p. 975 - 978.

LANGFORD, M., MAGUIRE, D.J. and UNWIN, D.J, The areal interpolation problem: estimating population using remote sensing in a GIS framework. In Handing Geographical Information: Methodology and Potential Applications, L. Masser and M. Blakemore (Eds), pp. 55–77 (New York: Longman Scientific & Technical/John Wiley & Sons, Inc.). 1991.

Lo, C. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67(9):1037–1047. 2001.

Lo, C., Accuracy of population estimation from medium-scale aerial photography, Proceedings of the American Congress on Surveying and Mapping and American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Annual Convention, Washington, D.C., pp. 1–10. 1986.

Lo, C.P. Automated population and dwelling unit estimation from high-resolution satellite images - A GIS approach, International Journal of Remote Sensing, 16(1):17–34. 1995.

LO, C.P. Zone-based estimation of population and housing units from satellite-generated land use/land cover maps, Remotely Sensed Cities (V. Mesev, editor), pp. 157–180. 2003.
LU, D. WENG, Q. LI, G. Residential population estimation using a remote sensing derived impervious surface approach. International Journal of Remote Sensing. 2006.

Lu, D., and Q. Weng. Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2004

Lu, D., Hetrick, S., Moran, E. Impervious surface mapping with QuickBird imagery. International Journal of Remote Sensing. 2010.

Lu, Z., J. Im, L. Quackenbush, and K. Halligan. Population estimation based on multi-sensor data fusion, International Journal of Remote Sensing, 2010.

Lu, Z.Y., J. Im, and L. Quackenbush. A volumetric approach to population estimation using lidar remote sensing, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2011.

MACEDO, F. C., RAMOS, P. Formação, expansão e diversificação econômica: o caso do município projetado de Sinop/MT. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 7., 2015, Santa Cruz do Sul, RS. **Anais...** São Luiz, MA: UEMA, 2015. n. 3673. p. 22.

MONTE-MÓR, R. L. M. **Modernities in the Jungle:** extended urbanization in the Brazilian Amazon. Ph.D. dissertation, University of California, Los Angeles (UCLA), 2004. Unpublished.

MOURA, D. G. **Mídia e corrupção:** a operação curupira da amazônia. p. 147. Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado. UnB, Brasília, dez. de 2006.

SHIMABUKURO, Y.E. and SMITH, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 29, pp. 16–20. 1991.

SMITH, M.O., USTIN, S.L., ADAMS, J.B. and GILLESPIE, A.R. Vegetation in Deserts: I.A regional measure of abundance from multispectral images. Remote Sensing of Environment, 31, pp. 1–26. 1990

SOUZA, E. L. P**. A organização industrial do setor madeireiro no município de Sinop, Mato Grosso - uma análise da estrutura de mercado**. Belém/PA, Dissertação de mestrado apresentada a UFPA. p. 126. 1999.

SUTTON, P. C., ELVIDGE, C. D., TUTTLE, B. T., & ZISKIN, D. A 2010 mapping of the constructed surface area density for S.E. Asia – Preliminary results. In Proceedings of the 30st Asia-Pacific Advanced Network Meeting (pp. 182–190). 2010.

TEIXEIRA, L. **A colonização no norte de mato grosso:** o exemplo da gleba celeste. Presidente Prudente, 2006: Dissertação de Mestrado. Unesp, p. 117.

Webster, C.J. Population and dwelling unit estimates from space, Third World Planning Review, 18(2):155. 1996

WENG, Q. (2012). Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. Remote Sensing of Environment, 117, 34–49. 2012.

Weng, Q., 2012. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends, Remote Sensing of Environment, 117:34–49. 2012.

Wu, C.S. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM plus imagery, Remote Sensing of Environment, 93(4):480–492. 2004.]

Wu, C.S., and A.T. Murray, 2003. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis, Remote Sensing of Environment, 84(4):493–505. 2003.