

Modelo de regressão logística para analisar determinantes de conversão de uso do solo urbano no município de Passo Fundo - RS

Gabriel Crivellaro Gonçalves¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

gabriel.goncalves@inpe.br

Resumo:

O município de Passo Fundo no Rio Grande do Sul teve rápido crescimento nos últimos 30 anos. Ampliando sua população em mais de 50.000 habitantes, valor acima da média para cidades médias brasileiras. Entretanto o crescimento urbano ocorreu de forma desordenada sem planejamento, problema comum nas cidades brasileiras devido à ausência de plano diretor até início do século XXI, portanto, esse crescimento acarreta diversos problemas infra-estruturais na cidade. Assim, é necessário o estudo destes fenômenos para identificar padrões e determinantes que direcionam e forçam o crescimento da mancha urbana. A utilização de ferramentas de análise espacial em conjunto com dados de sensoriamento remoto possibilitam o estudo desses fenômenos de maneira mais rápida e eficiente. Assim esse trabalho objetivou identificar determinantes do crescimento urbano na cidade de Passo Fundo através da GWR logística. Foi observado que a distância dos novos fragmentos urbanos das perimetrais da cidade pode ser uma das determinantes do crescimento urbano no setor noroeste da cidade.

Palavras-chave: Crescimento urbano, GWR logística, sensoriamento remoto, análise espacial.

1. Introdução

A cidade de Passo Fundo situa-se ao norte do estado do Rio Grande do Sul (RS). Possui grande importância na economia do estado do RS pois é uma cidade centro regional, assim pessoas deslocam-se de diversas cidades do norte do RS em busca de serviços, sistema de saúde e de ensino superior e até mesmo empregos nas indústrias (FERRETO, 2012).

Segundo dados dos Censos, Passo Fundo passou de 121.156 habitantes em 1980 para 184.869 habitantes em 2010 e população estimada em 2017 de 198.799 habitantes (IBGE Cidades), revelando um rápido crescimento urbano de forma não planejada. O crescimento urbano desordenado traz implicações ao município, como a impermeabilização irregular do

solo, ausência de saneamento básico e máquinas públicas para atendimento da população (FERRETO, 2012).

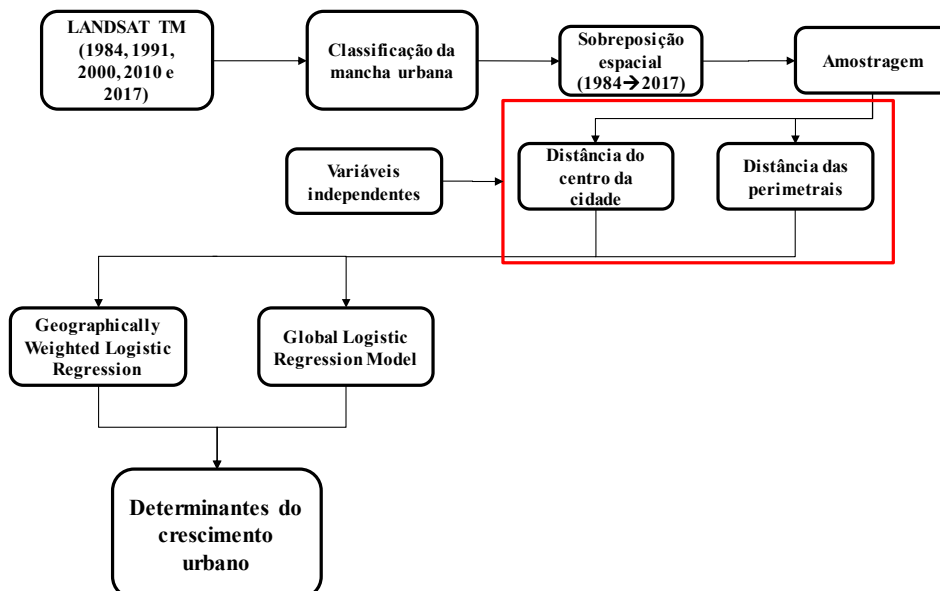
Com os avanços na modelagem espacial, sistemas de informação geográficos (SIG) e sensoriamento remoto, pesquisadores têm desenvolvido diversos modelos para analisar os padrões de crescimento urbano em cidades do mundo todo (ZANG, WEI e MENG, 2017).

Modelos de expansão urbana tendem a revelar padrões de crescimento a partir de uma visão global, isso assume que, a influência de diversos fatores são aplicados uniformemente na área de estudo com pequena variação espacial. Entretanto, o crescimento urbano acontece de forma não-estacionária através do espaço (MACDONALD & DEAN, 2004). Estudos recentes têm levado em conta a não-estacionariedade entre o crescimento urbano e fatores explicativos utilizando modelos espaciais explícitos como o *Geographical weighted regression* (GWR) (WEI & LUO, 2009).

A partir de tais premissas, o presente trabalho objetivou identificar determinantes do crescimento urbano na cidade de Passo Fundo no RS através de metodologias de análise espacial.

2. Metodologia

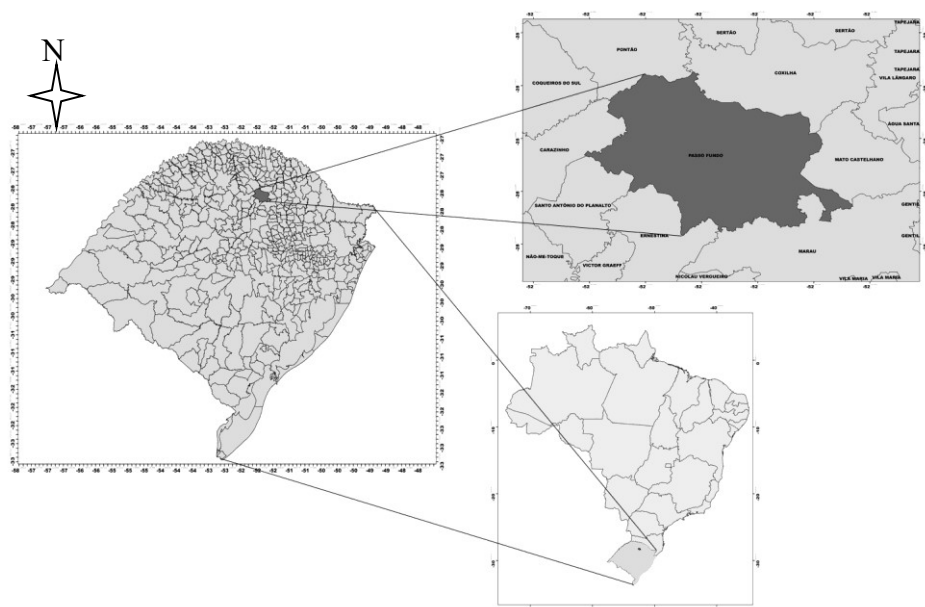
Figura 1: Fluxograma da metodologia do trabalho.



2.1 Área de estudo

Passo Fundo possui 160 anos de história, cidade que cresceu devido a sua posição estratégica na logística do RS. Em 2010 contava com uma população de 184.826 habitantes com 97% residindo na zona urbana, também é o 12º município mais populoso do estado e a 9ª maior economia do RS. A população estimada pelo IBGE para 2017 é de 198.799 habitantes. Na Figura 2 está a cidade de Passo Fundo localizada no Norte do estado RS.

Figura 2: Localização da cidade de Passo Fundo no RS e Brasil.



A economia do município é movimentada muito por atividades terciárias, entretanto o agronegócio constituiu-se como carro chefe da economia regional. A partir do início do século XXI, o cenário econômico tem tido mudanças com a instalação de um grande número de empresas nacionais e multinacionais no distrito industrial do município (FERRETO, 2012).

Também no século XXI, com diversos programas de incentivo da construção civil por parte do governo federal, o setor imobiliário teve grande expansão. O fenômeno ocorre tanto nas periferias urbanas através de loteamentos e conjuntos habitacionais populares como em regiões nobres da cidade como condomínios horizontais e verticais de luxo para a população de maior poder aquisitivo (FERRETO, 2012).

Todos esses fenômenos levaram a uma expansão abrupta na mancha urbana do município, tanto no adensamento de regiões já consolidadas até novos fragmentos urbanos que surgiram em áreas de agricultura nos limites do perímetro urbano.

2.2 Dados

Para o trabalho foram utilizados mapas temáticos (TM) Landsat 5 (L5) e 8 (L8). Para os anos de 1984, 1991, 2000 e 2010 foram utilizadas imagens L5 nas bandas 4, 3 e 2. Para o ano de 2017 foi utilizada imagem L8 nas bandas 5, 4 e 3. Todas imagens foram adquiridas no site da USGS (earthexplorer.com).

2.3 Classificação e amostragem

As imagens foram classificadas digitalmente e manualmente através do software ArcGis 10.3. Para isso foram criadas 4 classes de uso e cobertura do solo, área urbana, água, agricultura e floresta. Primeiramente as imagens foram submetidas a um processo de segmentação utilizando limiar de similaridade de 15 e limiar de área 20, esses parâmetros foram definidos empiricamente através de testes até que a segmentação apresentasse um padrão visual compatível com as classes previamente definidas. Após segmentadas as imagens, foram coletadas amostras para todas as classes adotadas e então aplicada a classificação supervisionada.

A classificação apresentou grande número de erros devido a pixels de diferentes classes possuírem assinatura espectral similar, assim os arquivos matriciais foram convertidos para vetores e então manualmente com o editor vetorial do *software* esses erros foram corrigidos. Após a classificação da mancha urbana, foram criadas máscaras de crescimento urbano para os anos previamente definidos visando quantificar o incremento da mancha urbana para cada um dos períodos.

A amostragem foi realizada no TerraView 5.4.2 sobrepondo o incremento 84/17 a uma matriz celular de 800 x 800 metros. Com a ferramenta de preenchimento celular foram coletados 160 pontos onde ocorreram conversão de uso do solo de não urbano para urbano. Áreas onde ocorreu conversão de uso tiveram valor de 1, e randomicamente foram coletados mais 160 pontos de não conversão de uso com o valor 0.

2.4 Logistic Regression Model

Modelos logísticos de regressão são utilizados em diversos estudos para analisar determinantes de conversão de solo urbano. Verburg et al. (2004) utilizaram a regressão logística global para analisar mudanças de uso do solo urbano na Holanda e descobriram que a expansão de áreas residenciais, industriais/comerciais e de lazer são explicadas por combinações entre políticas espaciais e interações de vizinhanças.

No presente trabalho foi utilizada a regressão logística global para identificar as determinantes do crescimento urbano da cidade de Passo Fundo. A variável dependente “y” na regressão logística é binária, ou seja, onde ocorreu conversão de uso do solo foi utilizado o valor 1 e onde não ocorreu, valor 0.

Na Equação 1 está a equação geral da regressão logística:

$$\text{logit}(Y) = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k X_k + \varepsilon$$

Equação 1

Onde X_k , é a variável independente e Logit (y) é a função linear das variáveis independentes; β_0 é a constante; β_k é o coeficiente da variável independente X_k a ser estimado e ε é o erro.

A regressão foi realizada no software GWR4.

2.5 Geographically weighted logistic regression

A regressão logística global apresentada acima é amplamente utilizada nos modelos de mudança de cobertura do solo urbano, entretanto ela pode ocasionar problemas quando empregada em níveis locais, uma vez que esta ferramenta assume que a mudança de uso do solo possui um comportamento espacial estacionário.

Portanto também foi utilizada a *geographically weighted logistic regression* (GWR) para a modelagem da expansão urbana. A GWR é uma técnica de regressão local para investigar processos espaciais não-estacionários. O software GWR4 utiliza um estimador Kernel adaptativo para criar uma matriz de peso para todos os pontos analisados, ponderando-os de acordo com suas vizinhanças. Assim a GWR pode modelar complexas variações locais dos parâmetros estudados. A Equação 2 apresenta a equação geral da GWR:

$$Y_i = \beta_{0i} + \sum_{k=1}^n \beta_{ki} X_{ki} + \varepsilon_i$$

Equação 2

A equação é basicamente igual a Equação 1, porém os parâmetros e variáveis são aplicados as localizações específicas “i”.

Todas as regressões foram realizadas pelo software GWR4.

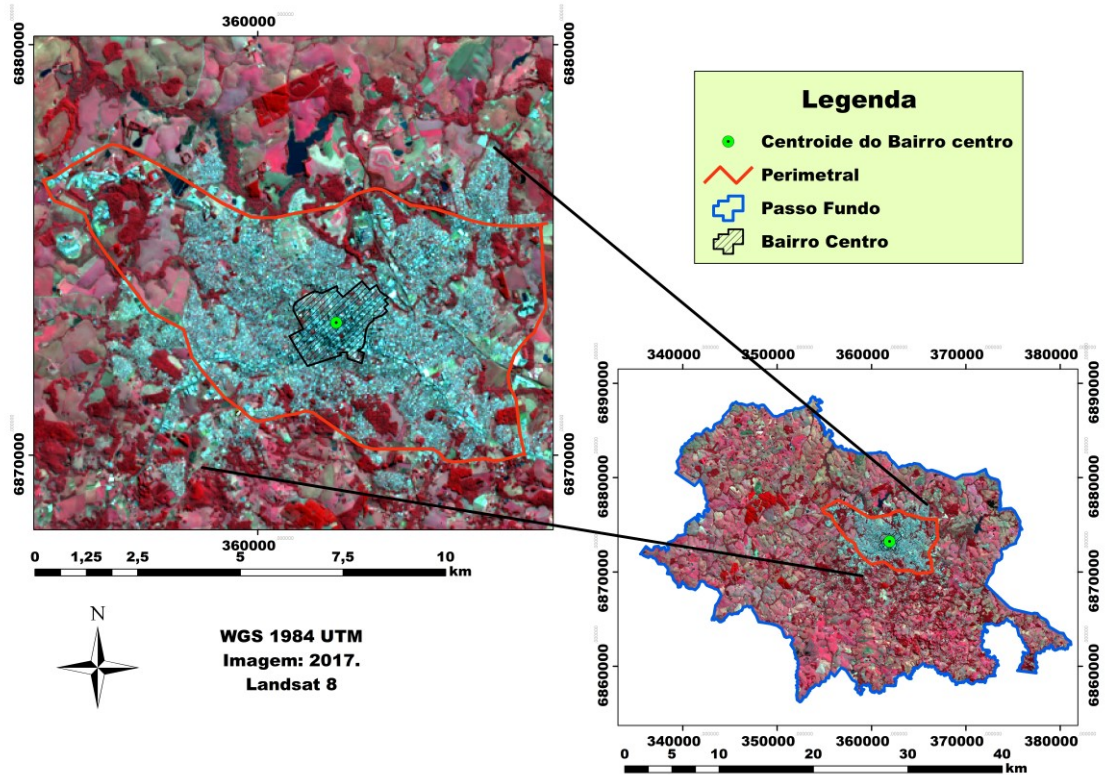
2.6 Especificação das variáveis independentes

A cidade de Passo Fundo possui a maioria das atividades de serviços e comércio no centro da cidade, esse bairro foi o primeiro da cidade assumindo um crescimento radial a partir do mesmo. Assim a primeira variável independente é distância euclidiana do centro da cidade aos pontos de conversão de uso do solo (DIS2CEN).

O desenvolvimento de Passo Fundo também se deu a sua posição estratégica no norte do estado, por onde passava a principal linha ferroviária do RS nos séculos XIX e XX. Posteriormente no século XX foram construídas as estradas BR-285, que passa ao norte da mancha urbana de Passo Fundo; BR-153 (Transbrasiliana), passando a Oeste da cidade; RS-135 que liga o norte ao sul do RS passando pelo centro da cidade que originou a Avenida Brasil, principal rua da cidade e a RS-324 que liga o noroeste ao sudeste do RS. Todas essas rodovias passando pela cidade originaram uma rede de perimetrais no município, que hoje funcionam como principais vias alternativas para o deslocamento mais rápido de um setor da cidade para outro (FERRETO, 2012).

Assim no presente trabalho a segunda variável independente é a distância euclidiana das perimetrais aos pontos com conversão de uso do solo. Na Figura 3 está apresentado um mapa com a rede de perimetrais do município assim como o bairro centro e o centroide do mesmo.

Figura 3: Rede perimetral da cidade (vermelho) e localização do bairro centro no município de Passo Fundo.



As Figura 4 e Figura 5 apresentam a estatística descritiva das amostras.

Figura 4: Boxplot da com análise estatística das amostras da variável distância do centro.

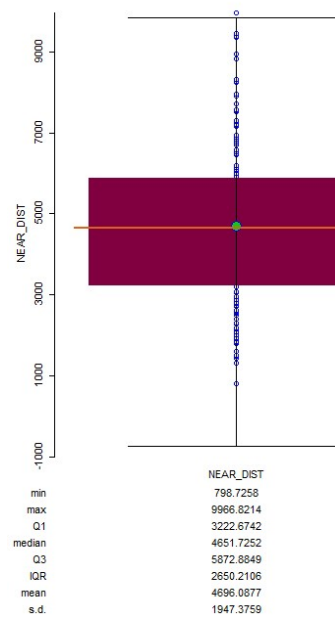
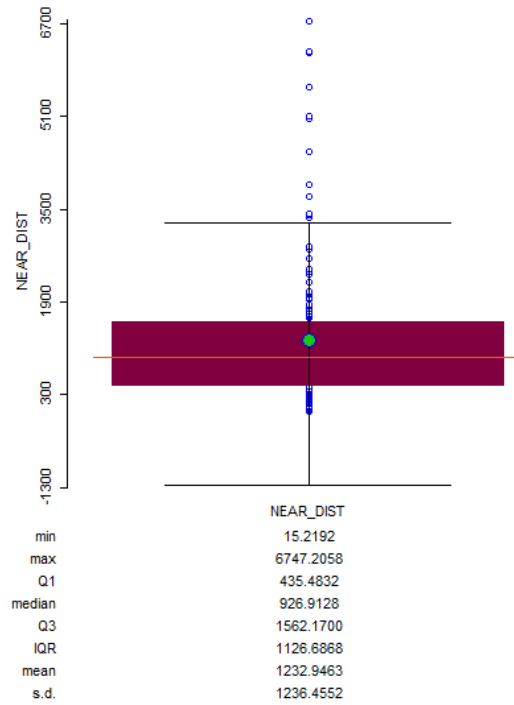


Figura 5: Boxplot da com análise estatística das amostras da variável distância das perimetrais.



3. Resultados e Discussão

3.1 Crescimento Urbano

Nas Figura 6, Figura 7 e Figura 8 estão respectivamente apresentados os mapas temáticos com as manchas urbanas nos anos analisados, o gráfico com o crescimento em hectares e população nos intervalos dos anos analisados e o gráfico da taxa de crescimento anual nos intervalos dos anos analisados.

Figura 6: Crescimento urbano da cidade de Passo Fundo, 1984-1991 (Amarelo); 1991-2000 (Azul); 2000-2010 (Rosa); 2010-2017 (Verde).

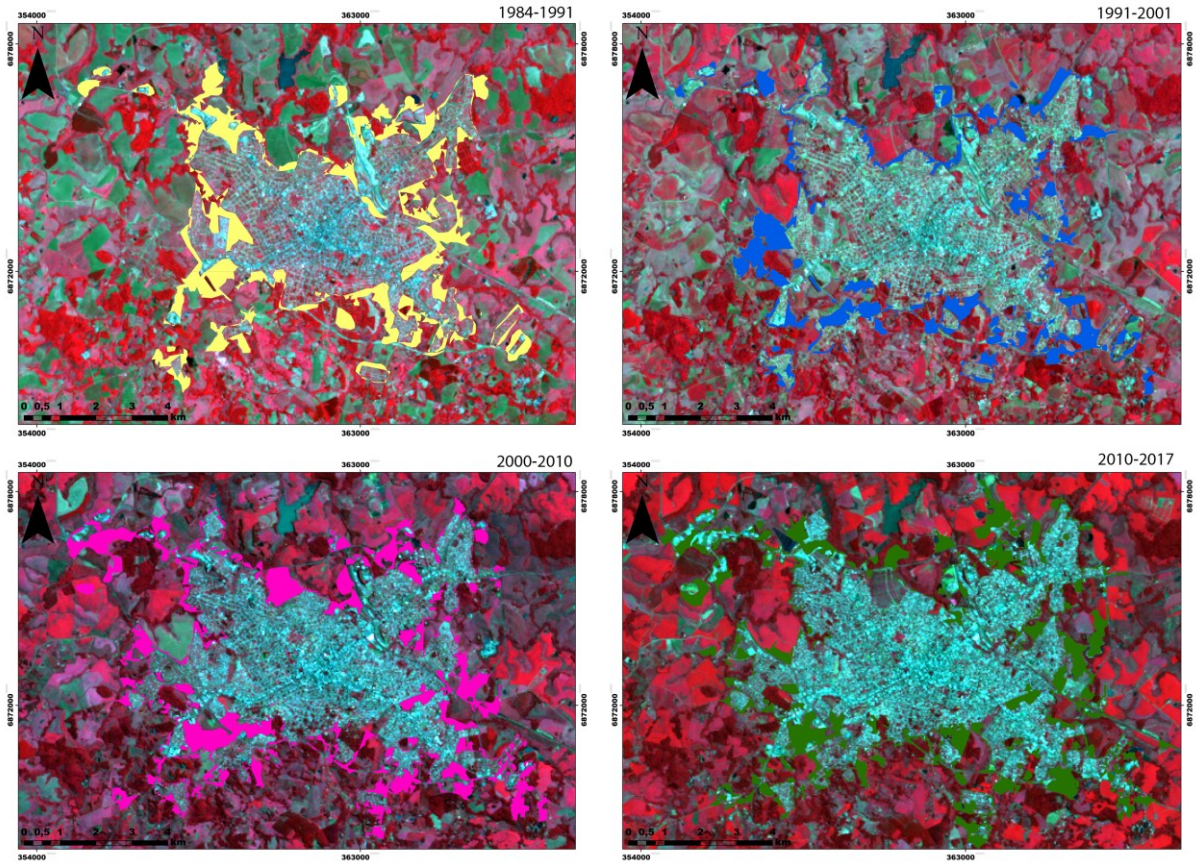
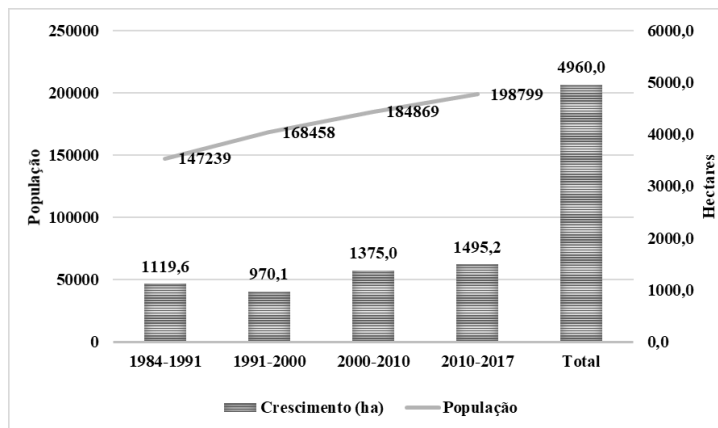
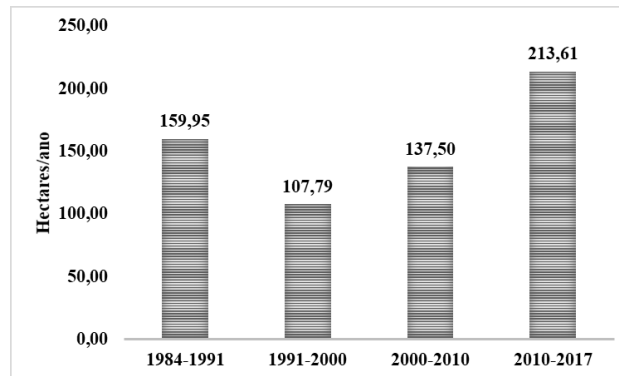


Figura 7: Gráfico do crescimento urbano de Passo Fundo e populacional.



Fonte população: CENSO 1991 a 2010.

Figura 8: Taxa de crescimento anual para os períodos analisados.



A partir da classificação realizada foi verificado que a mancha urbana cresceu 4.960 hectares no intervalo de 33 anos analisados, o intervalo de maior crescimento foi entre 2010 e 2017, no qual cresceu 1.495,2 hectares, e também alcançou a maior taxa anual de crescimento 213,61 ha/ano. O crescimento populacional entre 1991 a 2000 foi o maior do período (21.219 habitantes), entretanto a área foi a que menos cresceu (970,1 ha) entre todos os períodos analisados, e conseqüentemente a menor taxa (107,79 ha).

3.2 Logistic Regression Model

A regressão logística global foi aplicada nas amostras estudadas, ambas variáveis apresentaram efeito positivo fraco e também R^2 baixo, demonstrando que as variáveis não possuem relação com o fenômeno de conversão de uso do solo urbano (Tabela 1).

Tabela 1: Resultado da regressão global realizada.

Global						
Variáveis independentes	Coef	STD	Z value	AIC	Pseudo-R²	
DIS2CEN	0,375	0,017	-4,753	201,000	0,126	
DIS2PER	0,290	0,220	-5,756	183,000	0,210	

DIS2CEN: Distância do centro; DIS2PER: Distância das perimetrais.

3.3 Geographically logistic weighted regression

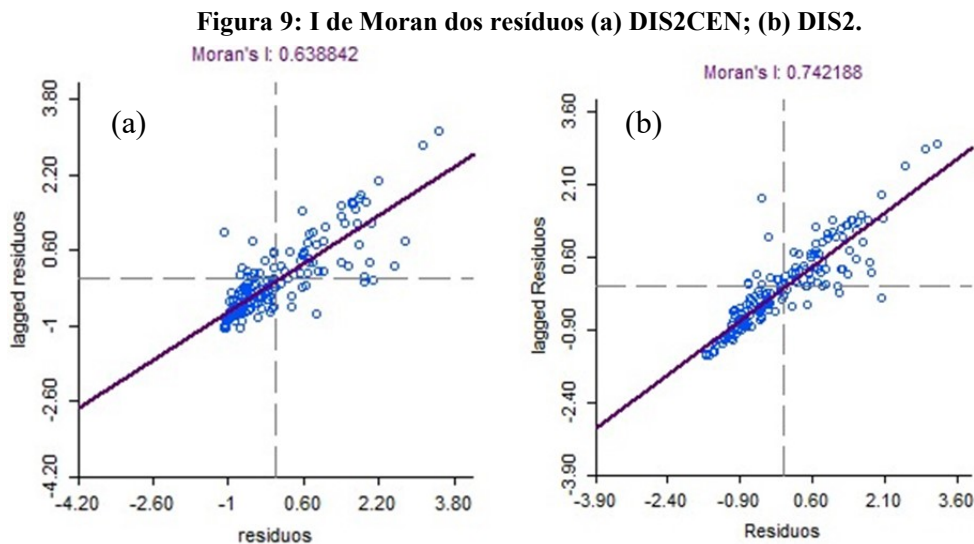
Diferente da regressão global, a GWR realiza a regressão em cada área ou setor ponderando pelas condições de vizinhança. A GWR aplicada demonstrou valores positivos em ambas variáveis assim como a logística global. O R^2 obteve melhora em relação a regressão global nas duas variáveis (Tabela 2). Também houve redução do *corrected Akaike information criterion* (AIC) demonstrando melhora do modelo GWR em relação ao global.

Tabela 2: Estatística dos dados analisados na GWR.

GWR							
Variáveis independentes	Mínimo	Média	Máximo	STD	I de Moran resíduos	Pseudo-R ²	AIC
Dis2CEN	0,158	0,712	0,993	0,175	0,639	0,296	150,000
Dis2PER	0,162	0,798	1,000	0,184	0,742	0,358	134,000

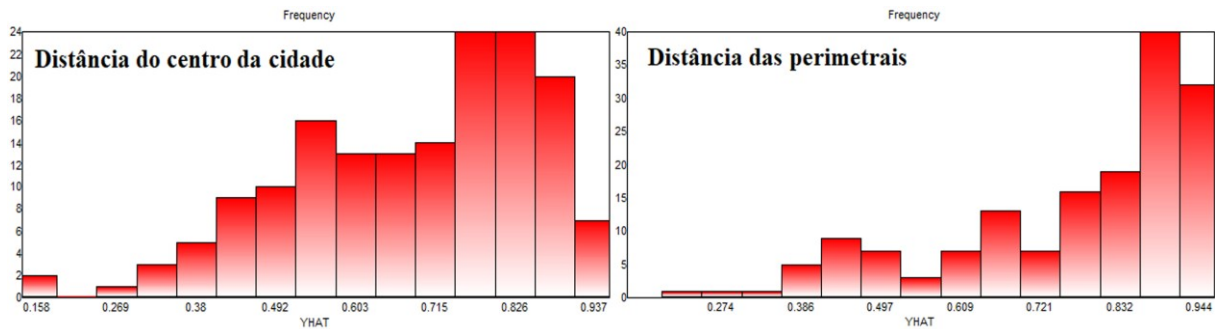
DIS2CEN: Distância do centro; DIS2PER: Distância das perimetrais.

Os “I de Moran” foram determinados nos resíduos da regressão no software GEODA, na Figura 9: I de Moran dos resíduos (a) DIS2CEN; (b) DIS2. estão os gráficos elaborados. A análise demonstrou forte correlação espacial das variáveis.



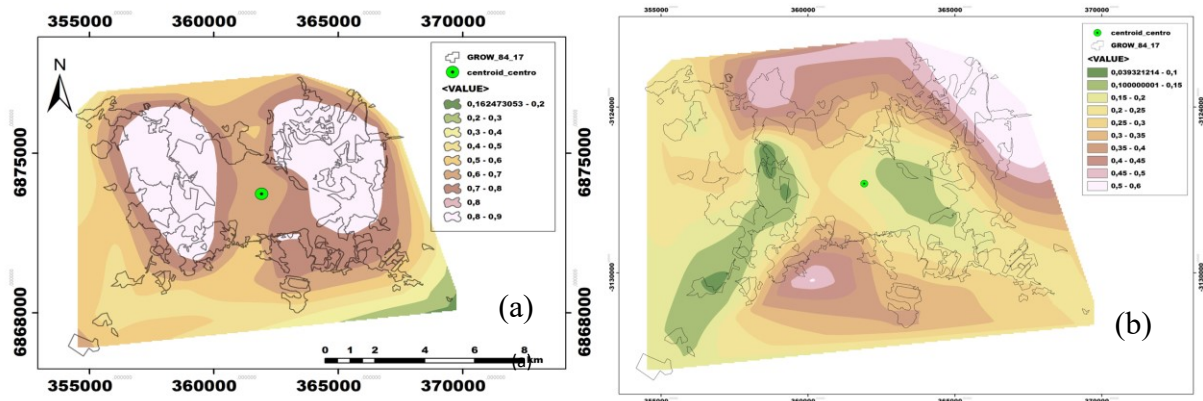
Nas Figura 10, Figura 11 e Figura 12 estão apresentados os gráficos de histograma das variáveis, β_k e R^2 , respectivamente.

Figura 10: Histograma dos resultados das predições das variáveis.



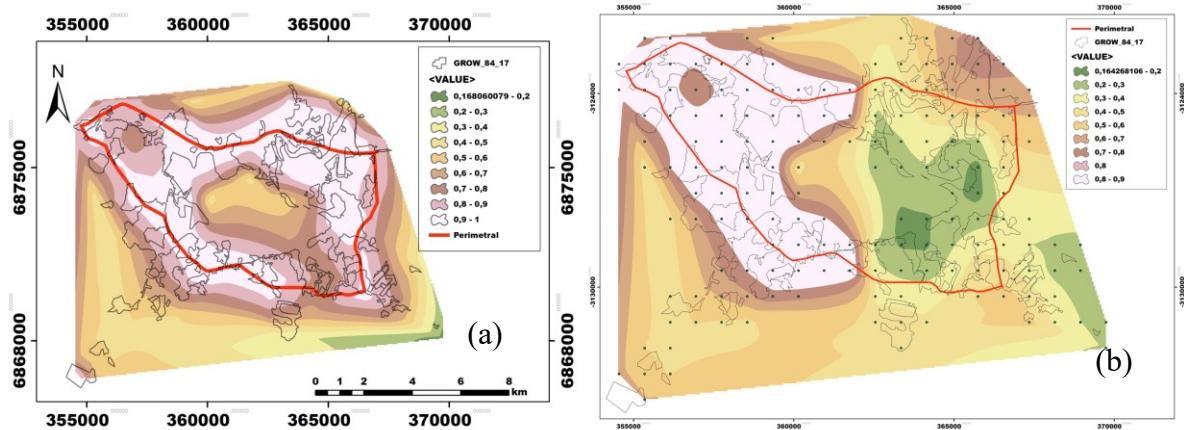
A Figura 11 apresenta a predição e R^2 da variável DIS2CEN. Observa-se que os pontos com maior efeito se situam em duas regiões da cidade, uma a leste do centro e outra a oeste. Porém o R^2 é muito baixo, próximo a 0 nessas áreas, mostrando que o fenômeno de conversão não possui relação com a distância do centro.

Figura 11: Mapa do efeito predito na GWR para a variável DIS2CEN. (a) Predição (β_k); (b) R^2



Na Figura 12 estão os mapas de efeito e R^2 da GWR para a variável DIS2PER. Através do mapa (a) pode-se observar um forte efeito da distância em torno de toda a perimetral, entretanto apenas no setor noroeste da cidade o R^2 apresenta valores altos demonstrando a exatidão da predição.

Figura 12: Mapa do efeito predito na GWR para a variável DIS2PER. (a) Predição (β_k); (b) R^2



4. Conclusão

Através da classificação das imagens pode-se observar um crescimento de 29% entre 1984 e 2017 na cidade de Passo Fundo.

A GWR logística se mostrou mais precisa que a global na predição das variáveis, apresentando redução do AIC e R^2 .

A variável “distância do centro” não apresenta características determinantes do crescimento urbano, uma vez que a GWR apresentou R^2 baixo nas áreas onde o efeito foi maior. Entretanto a variável “distância das perimetrais” aparenta ser uma possível determinante do crescimento urbano no setor noroeste da cidade, onde encontram-se o distrito industrial, zona logística e conjuntos habitacionais de baixo padrão.

Porém, ainda é necessário estudar novas variáveis físicas e socioeconômicas para encontrar as determinantes do crescimento urbano, uma vez que esse processo possui complexidade e diversos fatores externos atuantes.

5. Referências Bibliográficas

FERRETO, D. Passo Fundo: Estruturação de uma cidade média Gaúcha. 176f. **Dissertação.** Universidade de São Paulo. São Paulo – BR. 2012.

Luo, J.; Wei, Y.H.D. Modeling spatial variations of urban growth patterns in Chinese cities: The case of Nanjing. *Landsc. Urban Plan.*, 91, 51–64. 2009.

MACDONALD, R. I. DEAN, L. Spatially varying rules of landscape change: lessons from a

case study. **Landscape and Urban Planning**. V74, 7-20p. 2006.

Verburg, P.H.; van Eck, J.R.R.; de Nijs, T.C.M.; Dijst, M.J.; Schot, P. Determinants of land-use change patterns in the Netherlands. *Environ. Plan. B*, 31, 125–150. 2004.

Zhang, L. WEI, Y. D. Meng, R. Spatiotemporal Dynamics and Spatial Determinants of Urban Growth in Suzhou, China. **Sustainability**. V9. 1-22p. 2017.