



Modelagem de Conhecimento Locacional para Implantação de Estação de Tratamento de Esgoto: Estudo de Caso no Município de Criciúma (SC - Brasil)
Knowledge Modelling for Wastewater Treatment Plant
Site Selection: Case Study in the City of Criciúma (SC – Brazil)

Émilin de Jesus Casagrande de Souza¹; Fernando Basquioto de Souza¹;
Gustavo José Deibler Zambrano² & Merisandra Côrtes de Mattos Garcia²

¹Instituto Atta de Inovação Ambiental. Av. Centenário, 3980, Centro, 88802-000, Criciúma, SC, Brasil

²Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Av. Universitária, 1105, Universitário, 88806-000, Criciúma, SC, Brasil

E-mails: emilinj@hotmai.com; fernandob.desouza@gmail.com; gdz@unesc.net; mem@unesc.net

Recebido em: 01/02/2019 Aprovado em: 27/05/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_341_349

Resumo

O crescimento acelerado e desordenado da população ao longo dos anos contribuiu com a necessidade de implantação de infraestruturas básicas nas cidades, acarretando em diversos problemas no saneamento básico. Para solucionar os problemas de ordem hídrica, uma das vertentes está no desenvolvimento de sistemas de tratamento de esgoto, sendo a seleção do local de instalação de suas estruturas físicas uma questão complexa. Diversos fatores de ordem física, química, biológica e social devem ser interpretados, objetivando uma análise robusta. Nesse contexto a análise multicritério é amplamente utilizada para selecionar alternativas locais objetivando a instalação de uma estação de tratamento de esgoto (ETE). Um modelo baseado em lógica difusa é proposto para potencializar as análises dos locais de implantação de estação de tratamento de esgoto, os critérios utilizados no modelo foram: distância da área urbana; pedologia; uso do solo; altitude e declividade, sendo utilizada a cidade de Criciúma (SC) como estudo de caso. O modelo apresentou bons resultados indicando as melhores alternativas locais para implantação de uma estação de tratamento de esgoto em Criciúma segundo os parâmetros estabelecidos, inclusive, coincidindo com as definições do zoneamento do Plano Diretor. **Palavras-Chave:** Lógica Difusa; Geoprocessamento; Estação de Tratamento de Esgoto

Abstract

The increasing and disorderly urban growth through the years has contributed to the necessity of basic infrastructures in the cities, leading to multiple problems with the disposal of waste and sewage. To solve these problems, wastewater treatment systems are proposed, being the definition of the installation site a complex question. Many physical, chemical, biological and social factors should be emphasized. In this context, multi-criteria analysis can be used to select alternative sites to define where a wastewater treatment plant should be installed. A fuzzy-logic based model is proposed to improve this site selection, where the adopted factors are: distance to urban area, pedology, land cover, altitude and slope. The model was applied as a study case to the city of Criciúma (Santa Catarina State, Brazil). The model presented suitable results, where the site alternatives to the wastewater treatment plant in Criciúma agreed with the City Master Plan.

Keywords: Fuzzy Logic; Geoprocessing; Wastewater Treatment Plant

1 Introdução

O Brasil, ao longo dos anos, apresentou um crescimento significativo e acelerado da população urbana, tornando inadequada a infraestrutura das cidades. Isso acarretou em efeitos que são sentidos no abastecimento de água, transporte e tratamento de esgoto doméstico, drenagem urbana e controle de cheias. O acentuado crescimento demográfico nas áreas urbanas, associado ao processo de urbanização não planejado, favorece a ocupação de áreas com condições sanitárias e de infraestrutura restritas, bem como é responsável pela poluição e exploração inadequada de recursos naturais (Tucci, 1999; Jat *et al.*, 2017).

O saneamento é um dos principais indicadores de desenvolvimento, devido à sua relação com a saúde pública. Ele pode ser definido como o conjunto de ações que objetivam a melhoria da salubridade, abrangendo os serviços de abastecimento de água com qualidade e quantidade; a coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos e esgoto sanitário; a drenagem das águas pluviais; a promoção da disciplina sanitária do uso e ocupação do solo; o controle de vetores transmissores de doenças; a fim de promover a saúde e o bem estar da população (OMS, 2011).

O Esgotamento Sanitário (ES) pode ser entendido como um conjunto de obras e instalações que propicia coleta, transporte, afastamento, tratamento e disposição final das águas residuárias. O sistema de esgoto existe para afastar a possibilidade de contato de dejetos humanos com a população, com as águas de abastecimento, com vetores de doenças e alimentos (Oliveira, 2004).

Para Braga *et al.* (2010), com o tratamento do esgoto doméstico surgem outros problemas que também devem ser avaliados e mitigados, como a emissão de gases, que além de poluir o ar, ainda causam incomodo e problemas de saúde aos moradores do entorno das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Tais problemas devem ser levados em consideração quando da instalação destes empreendimentos, tendo em vista o controle dos impactos físicos, químicos, biológicos e sociais causados.

Dessa forma, os métodos multicritérios vêm sendo muito utilizados na solução de problemas de localização de ETEs, uma vez que eles procuram esclarecer ao decisor qual é a melhor opção diante de várias escolhas com diversos parâmetros (Campos, 2011).

Reami (2011) salienta que existem diversos métodos de auxílio à tomada de decisão, sendo eles: Métodos baseados na teoria da Programação Matemática Multiobjetivo; Programação por Compromisso; *Surrogate Worth Trade-Off*; Métodos baseados na Teoria da Utilidade Multi-Atributo (MAUT); Método Lexicográfico; Método Semops; Análise Hierárquica de Processos (AHP); Método Macbeth; Sistemas de inferência difusa; dentre outros. Dentro dos sistemas de inferência difusa é adotada a lógica difusa (*fuzzy logic*), a qual reflete a maneira como as pessoas pensam, tentando modelar o seu senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum. Como consequência, a introdução da Lógica Difusa tem conduzido as pesquisas para sistemas inteligentes adequados à realidade (Shahmarodi & Isalou, 2007; Mansouri *et. al.*, 2013; Marro *et al.*, 2015).

A lógica difusa diferencia-se da lógica clássica, pois a primeira permite trabalhar em um intervalo de valores entre 0 e 1 (onde 0 refere-se ao totalmente falso e 1 ao totalmente verdadeiro) – enquanto a segunda trabalha apenas com 0 e 1 (onde 0 é falso e 1 é verdadeiro) (Ross, 2004).

A partir desses conceitos, o sistema de inferência difusa interpreta os valores de entrada, os quais são convertidos em números difusos por meio de uma função de pertinência. Os números difusos podem então ser combinados com diferentes operadores (por exemplo, E e OU) e regras para obter-se um número difuso de saída, o qual ainda pode ser defuzificado (ou seja, convertido para um número *crisp*) (Mendel, 1995).

Esse tipo de modelagem de conhecimento pode ser realizado utilizando-se *softwares* de Geoprocessamento, tal como o ArcGIS, por meio da ferramenta *Fuzzy Membership* e *Fuzzy Overlay*, sendo que Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais para se chegar a um objetivo específico (Silva, 2007).

1.1 Revisão Bibliográfica

O Geoprocessamento, aliado as ferramentas de análises multicritérios, incluindo a lógica difusa, vem sendo utilizado para determinar, especialmente, locais de instalação de empreendimentos. Por exemplo, o trabalho de Santos *et al.* (2017) buscou indicar os melhores locais para instalação de áreas de reflorestamento, levando em conta a redução de custos com produção e transporte. Ribeiro *et al.* (2018) utilizaram Geoprocessamento (especificamente álgebra de mapas) para identificar áreas para instalação de uma ETE no município de Coronel Sapucaia (MS).

Similar aos trabalhos anteriores, Chang *et al.* (2008) juntaram lógica difusa com Sistema de Informações Geográficas (SIG) para determinar a localização de um aterro sanitário no sul do Texas (Estados Unidos).

Outros autores também utilizaram lógica difusa para determinar a localização de uma ETE. Os autores Shahmoradi & Isalou (2013) aplicaram técnicas de lógica difusa juntamente com Método de Análise em Rede (MAR) para determinar a localização de uma estação de tratamento de esgoto no município de Kahak no Irã.

A fim de determinar a melhor área para instalação de uma estação de tratamento de esgoto em Falavarjan no Irã, Mansouri *et al.* (2013) utilizaram a lógica difusa, a Análise Hierárquica de Processos (AHP) e o método de TOPSIS.

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o uso de lógica difusa e geoprocessamento para seleção de uma área para instalação de uma ETE no município de Criciúma (SC), considerando atributos como altimetria, declividade, distância de centros urbanos, pedologia e uso do solo.

2 Materiais e Métodos

A fase inicial dos estudos foi marcada pelo levantamento e formação do banco de dados. As pesquisas foram realizadas com levantamentos em fontes bibliográficas, bancos de dados digitais, fon-

tes de dados disponíveis na Internet, legislações pertinentes e definição dos critérios.

De posse dessas informações, realizou-se o levantamento de dados referentes à área de estudo, definindo-se assim os principais critérios a serem utilizados para delimitar a melhor área para implantação de uma ETE.

Os dados obtidos foram inseridos no *software* ArcGIS 10.1, onde estes foram utilizados nas ferramentas de lógica difusa, possibilitando a sobreposição dos resultados para a obtenção dos mapas com a representação das áreas mais indicadas para instalação de uma ETE.

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Criciúma (Figura 1) com coordenadas geográficas de Latitude: 28°40'42" Longitude: 49°22'13", a qual compreende uma área de 235,6 km², sendo vizinho dos municípios de Içara, Siderópolis e Cocal do sul.

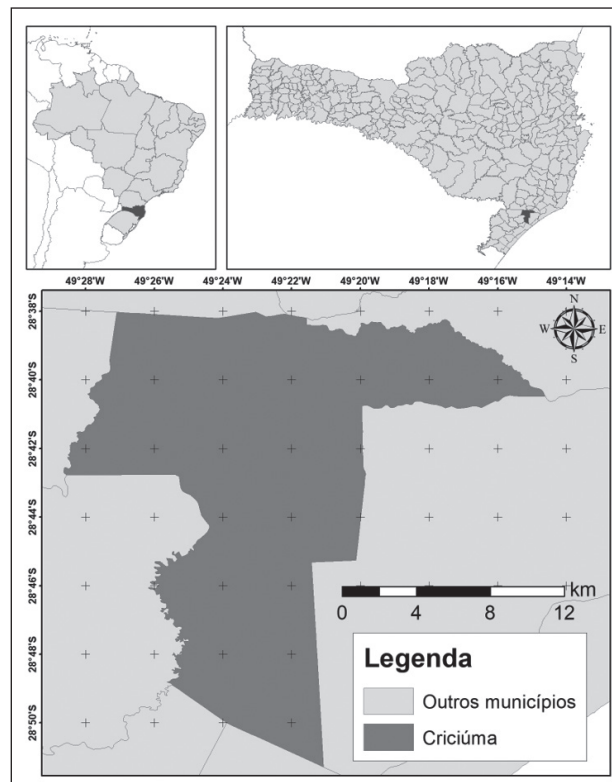


Figura 1 Mapa de Localização do município de Criciúma (SC – Brasil).

2.2 Critérios Analisados

Os critérios analisados e selecionados se deram por meio de pesquisas realizadas em outras literaturas (Tabela 1), visando auxiliar-nos na escolha de uma área para ETE, bem como na seleção e classificação de regras para o problema proposto. No entanto, algumas modificações foram feitas para que os critérios se adequassem à realidade local.

Atributos	Renou et al. (2008)	Amaral & Rios (2012)	Born (2013)	Mansouri et al. (2013)	Shahmoradi & Isalou (2013)
Distância da Área Urbana	X		X	X	X
Pedologia		X		X	X
Uso do Solo				X	X
Altimetria				X	X
Declividade				X	X

Tabela 1 Critérios selecionados de acordo com a literatura científica.

Os aspectos propostos foram os seguintes: distância da área urbana; pedologia; uso do solo; altitude e declividade.

Para a distância da área urbana, foi adotado como áreas urbanas os locais mapeados por Bendo (2013), a qual analisou as áreas de riscos de ocupação urbana no município de Criciúma. A partir disso, utilizou-se a distância euclidiana (*Euclidian Distance*) no *software* ArcGIS para estabelecer a distância da área urbana.

Para o aspecto pedologia, utilizou-se o levantamento pedológico do Plano Diretor Participativo (2012). Salienta-se que os cuidados quanto a seleção e o tipo de solo para o local de implantação da ETE são de extrema importância e quando se escolhe um local para a instalação da ETE, deve-se avaliar as características do solo, tais como permeabilidade, resistência e possibilidade de seu aproveitamento para terraplenagem.

Da mesma forma que o aspecto pedologia, o uso do solo adotado para este estudo foi aquele disponibilizado pelo Plano Diretor Participativo (2012).

O aspecto altitude representa a elevação do terreno, sendo comparada com o nível do mar. No

município de Criciúma, ela varia entre 0 e 300 metros (SIGSC, 2010). Para este estudo, utilizou-se o modelo digital de terreno de 2010 disponibilizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SDS).

A declividade é o grau de inclinação que o relevo apresenta entre dois pontos, sendo usualmente calculada dividindo-se a diferença entre a altura e a distância entre dois pontos. A obtenção deste aspecto foi realizada utilizando-se a derivação do modelo digital do terreno adotado para a altitude, por meio da ferramenta *Slope* do ArcGIS para determinar a declividade do município de Criciúma.

2.3 Aplicação de Lógica Difusa com ArcGIS

A partir dos parâmetros anteriormente levantados, estabeleceu-se funções de pertinência para definir as condições ideais para o local onde será instalado a ETE. Tais funções de pertinência foram criadas no ArcGIS, por meio da ferramenta *Fuzzy Membership*. Os parâmetros adotados dentro desta ferramenta são apresentados na Tabela 2.

Parâmetro	Função	Midpoint	Spread
Distância das Áreas Urbanas	<i>Fuzzy Large</i>	150	3
Pedologia	<i>Fuzzy Large</i>	2,5	3
Uso do Solo	<i>Fuzzy Large</i>	2,5	3
Altitude	<i>Fuzzy Small</i>	25	5
Declividade	<i>Fuzzy Small</i>	7	5

Tabela 2 Parâmetros e funções de pertinência adotadas na ferramenta *Fuzzy Membership*.

Na ferramenta *Fuzzy Membership*, é possível adotar diferentes funções de pertinência (desde funções gaussianas à lineares), porém, neste estudo, foi adotado as funções *Fuzzy Large* e *Fuzzy Small* – as quais retratam melhor a relação entre os parâmetros estudados e a localização da ETE.

A Figura 2 mostra tais funções, sendo que os *Midpoints* representam valores de entrada que pertencem apenas 0,5 à determinada função, enquanto o *Spread* determina o grau de inclinação da curva da função.

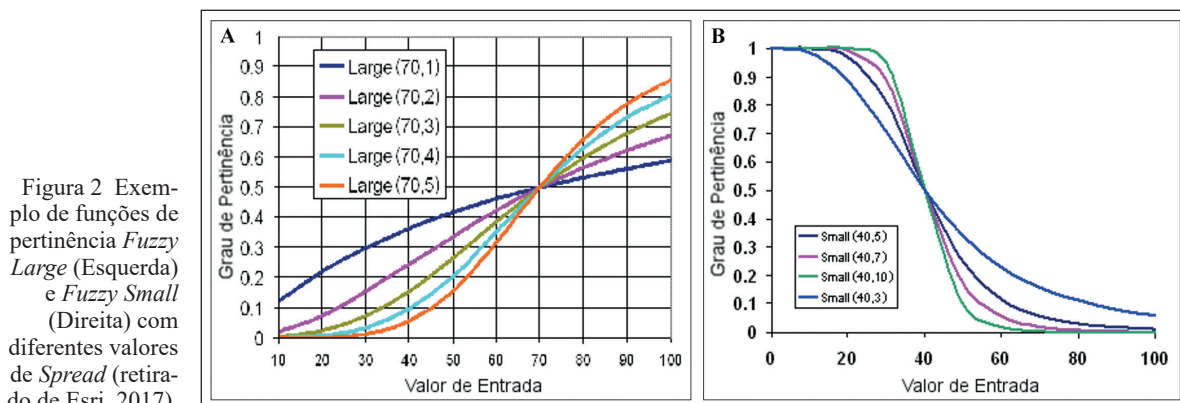


Figura 2 Exemplo de funções de pertinência *Fuzzy Large* (Esquerda) e *Fuzzy Small* (Direita) com diferentes valores de *Spread* (retirado de Esri, 2017).

A função *Fuzzy Large* recodifica o parâmetro de entrada colocando para os valores menores, resultados menores; logo os valores de entrada maiores obterão maiores valores de saída (grau de pertinência à função). A função *Fuzzy Small* funciona da forma inversa à *Fuzzy Large*, conferindo resultados maiores para valores de entrada menores e vice-versa.

Além disso, foram criados pesos para os parâmetros Pedologia e Uso do Solo, pois tratam-se de mapas qualitativos, devem ser convertidos para quantitativos. Dessa forma, atribuiu-se as classes desses parâmetros valores entre 1 e 5, onde 1 representa os locais que não são propícios à instalação de

Tipo de Solo	Peso
Área Urbana	0
Argissolos	1
Nitossolos	2
Gleissolos	3
Cambissolos	4
Bota-Fora	5

Tabela 3 Pesos adotados para uso na *Fuzzy Membership* para o tipo de solo.

uma ETE e 5 os locais adequados. A Tabela 3 e Tabela 4 mostram tais valores adotados.

Posteriormente, os mapas gerados na ferramenta *Fuzzy Membership* foram inseridos em *Fuzzy Overlay*, onde eles foram sobrepostos e a partir do operador E (AND), obteve-se os valores mínimos entre os mapas envolvidos no processo.

O resultado representa o grau de indicação de determinada localidade para a instalação de uma Estação de Tratamento de Esgoto, onde valores próximos de zero não são aconselháveis e valores próximos de um são ideais. O procedimento adotado é representado graficamente na Figura 3.

Uso do Solo	Peso
Área Urbana	0
Hidrografia	1
Vegetação Secundária	2
Agroecossistema (Inclui pastagens)	3
Reflorestamento	4
Áreas Degradadas	5

Tabela 4 Pesos adotados para uso na *Fuzzy Membership* para uso do solo.

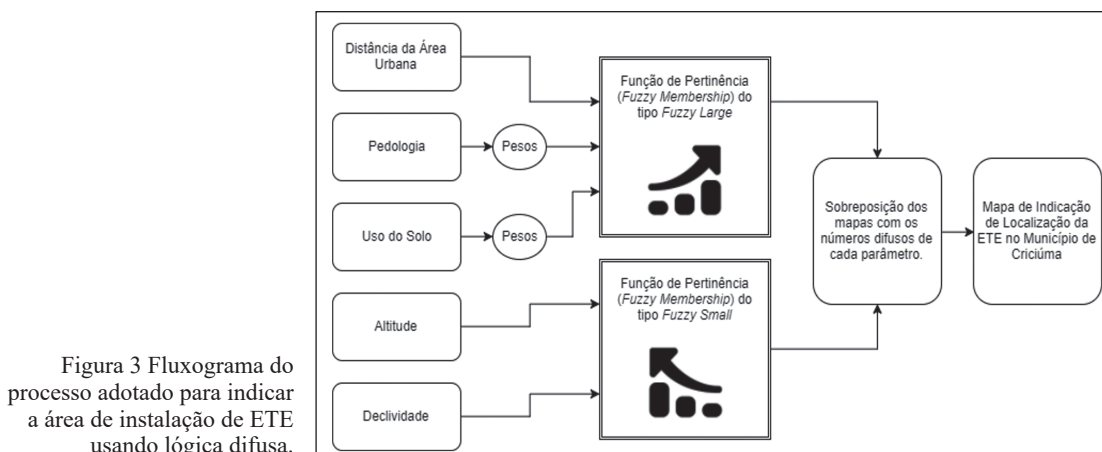


Figura 3 Fluxograma do processo adotado para indicar a área de instalação de ETE usando lógica difusa.

Vale salientar que o município de Criciúma já possui Estação de Tratamento de Esgoto, porém a escolha deste município como área de estudo se deve ao fato das reclamações de moradores do entorno da ETE referente ao constante odor da estação (Engeplus, 2015; Engeplus, 2016). Por fim, os valores obtidos serão analisados em conjunto com o macrozoneamento do plano diretor do município de Criciúma (Plano Diretor Participativo, 2012), de forma a avaliar se o modelo proposto está em consonância com o planejamento da cidade.

3 Resultados

De modo geral, obteve-se como resultado, para o município de Criciúma, o valor médio de 0,07 com desvio padrão de 0,16, sendo os graus de indicação máximos e mínimos 0,89 e 0,00, respectivamente.

A Figura 4 apresenta o grau de indicação para instalação de uma ETE de forma contínua, onde bairros como Demboski, Linha Anta e Linha Batista (Leste de Criciúma); Sangão, Santa Líbera e Santa Luzia (Meio-oeste de Criciúma) e São Roque, Verdinho, Quarta Linha e Vila São Domingos (Sul de Criciúma) apresentaram pontuação mais elevada.

É relevante notar que nestes locais existe a sobreposição ótima dos parâmetros estudados (Distância de Áreas Urbanas, Pedologia, Uso do Solo, Altitude e Declividade), ou seja, todos esses parâmetros apresentaram valores elevados nas funções de pertinência para indicação de local para instalação de ETEs. Uma análise mais apurada pode ser realizada considerando somente os valores acima de 0,5, ou seja, onde, no mínimo, todos os parâmetros estudados apresentaram grau de pertinência

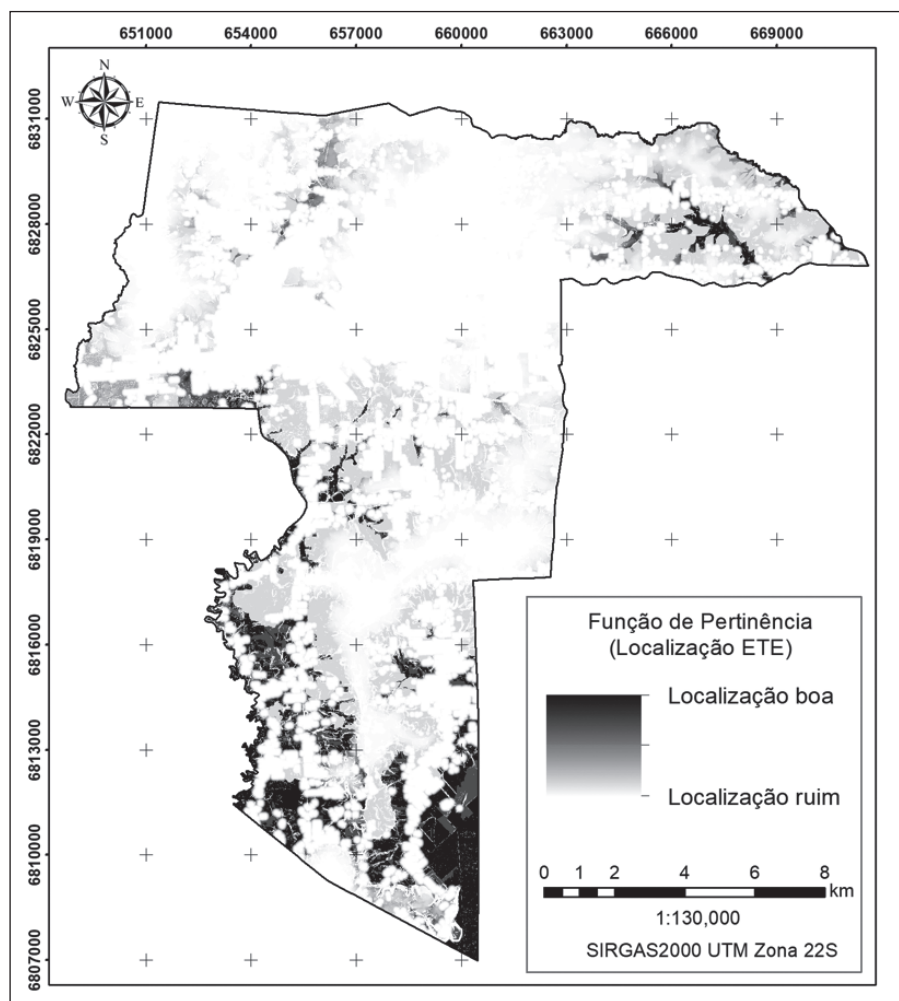


Figura 4 Grau de indicação (contínuo) para instalação de ETE.

às funções de pertinência superiores a 0,50. A Figura 5 apresenta essa classificação fragmentada.

Observando que as áreas apontadas como propícias à instalação de ETEs encontram-se próximas de rios, especialmente por estes estarem em baixas altitudes, contribuindo para a construção da ETE, pois será gasto menos para o descarte do efluente tratado e na instalação de estações elevatórias. Reclasificando o mapa contínuo de indicação de local para instalação de ETE, tem-se que as áreas que apresentaram maior pontuação são aquelas ao longo do rio Sangão e próximo ao fim da rodovia Jorge Lacerda (próximo da BR-101), ambas no bairro Verdinho (região sudoeste do município). Essa região apresenta baixo adensamento populacional, com baixas declividades e altitudes, fatores que contribuem para aumentar o grau de indicação deste local.

No bairro Vila São Domingos (região sudeste do município), uma área extensa com valores entre 0,5 e 0,65 e alguns pontos com valores superiores pode ser visualizada. A região é representada por baixas altitudes e declividades quase planas. Entretanto, a pedologia da região é caracterizada por gleissolos, os quais foram pontuados com pesos intermediários devido à sua baixa permeabilidade. Margeando o rio Linha Anta (nos bairros Linha Anta, Linha Batista e Demboski – na região leste do município), locais com pontuação superiores à 0,5 são destacados, sendo que, novamente, os parâmetros de maior peso foram a distância de áreas urbanas, altitude e declividade. Por mais que tais regiões tenham apontado bons índices, cabe lembrar que ainda é necessário negociar e divulgar tais decisões à comunidade local (por mais que esta seja afastada de centros urbanos). Chang *et al.* (2008) colocam que movimentos do tipo

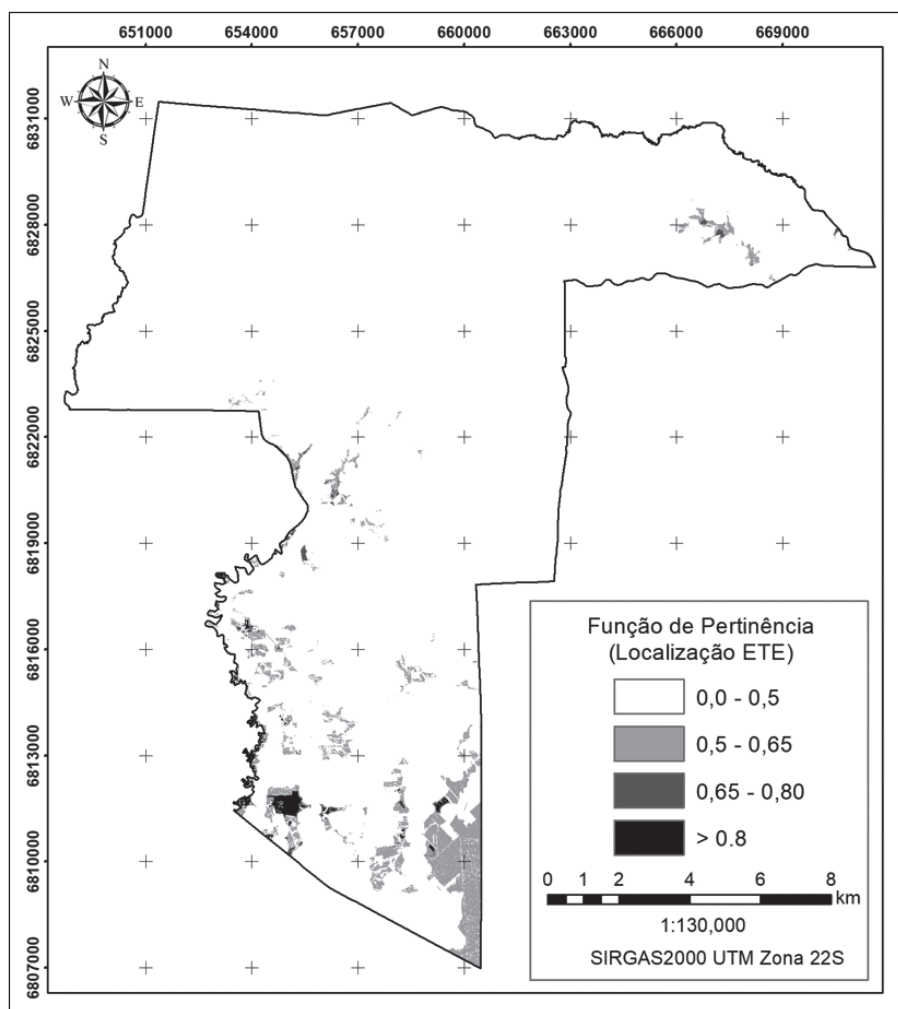


Figura 5 Grau de Indicação (por classes) para instalação de ETE.

“não no meu quintal” estão cada vez mais populares, gerando maior resistência a implantação de empreendimentos como este em qualquer local da cidade. Os valores obtidos foram comparados com o zoneamento definido no Plano Diretor Participativo do Município de Criciúma/SC (Plano Diretor Participativo, 2012), de forma a avaliar se o modelo proposto encontra-se de acordo com o planejamento urbano do município. Foram realizadas análises estatísticas descritivas (média, mínimo, máximo e desvio padrão - Tabela 5) para cada macrozona estabelecida no plano diretor, sendo elas as seguintes: Zonas Especiais (ZE); Zona de Áreas de Proteção Ambiental (Z-APA); Zonas Mistas (ZM); Zona Agropecuária e Agroindustrial (ZAA); Zonas Industriais (ZI); Zona Rururbana (ZRU); Zonas Residenciais (ZR); Zonas de Especial Interesse (ZEI); e Zonas de Centro (ZC).

Macrozona	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
ZE	0,00	0,6559	0,0291	0,0745
Z-APA	0,00	0,8417	0,0321	0,0937
ZM	0,00	0,6334	0,0178	0,0465
ZAA	0,00	0,8038	0,1940	0,2425
ZI	0,00	0,8038	0,0980	0,1811
ZRU	0,00	0,8889	0,0348	0,0874
ZR	0,00	0,8634	0,0297	0,0760
ZEI	0,00	0,8774	0,0621	0,1358
ZC	0,00	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 5 Resultado dos parâmetros para cada macrozona do Plano Diretor de Criciúma.

Pode-se observar que os valores médios das macrozonas apresentados na Tabela 5 variam de 0 (ZC) a 0,1940 (ZAA), diferindo da média (0,07) obtida para todo o município. O modelo também zerou todos os locais das Zonas de Centros (ZC), conforme proposto nos parâmetros iniciais, onde definiu-se que quanto mais afastado de centros urbanos, melhor será o local para a instalação da ETE. A maior média foi obtida na Zona Agropecuária e Agroindustrial (ZAA), onde são desenvolvidas atividades agrícolas, de pecuária e industrial, com a possibilidade de residências rurais. Tais áreas usualmente apresentam densidades populacionais menores, corroborando com o proposto no modelo de seleção de áreas para instalação de ETE.

Embora a ZAA tenha obtido maior média, foram as zonas Z-APA, ZAA, ZI, ZRU, ZR e ZEI que obtiveram locais com pontuação superior à 0,80. Desconsiderando as peculiaridades de cada zona, tais como proteção ambiental (Z-APA), áreas residenciais (ZR) e de interesse social (ZEI), as outras zonas são propícias para a instalação de uma ETE, considerando os parâmetros aqui estudados. A zona residencial (ZR) ocupa uma grande faixa de expansão urbana, sendo que no mapeamento de Bendo (2013), este não foi incluso como área com ocupação urbana, acarretando na indicação de tais regiões para instalação de uma ETE. As Zonas das Áreas de Proteção Ambiental (Z-APA), em função da sua restrição legal (Áreas de Preservação Permanente e de Proteção Ambiental), também foram indicadas para instalação de ETE. Porém, a própria legislação (Brasil, 2012) possibilita a intervenção nessas áreas especiais em situações de utilidade pública ou de interesse social.

4 Conclusões

A adoção da lógica difusa vem crescendo substancialmente, sendo utilizadas em diversos ramos, inclusive no planejamento territorial. Desta forma, foi proposto o uso dela, aliada ao geoprocessamento, para avaliar áreas apropriadas para construção de uma Estação de Tratamento de Esgoto, levando em conta os parâmetros Distância das Áreas Urbanas, Pedologia, Uso do Solo, Altitude e Declividade. O modelo baseado em lógica difusa apresentou resultados satisfatórios, indicando as áreas no Sul e Leste de Criciúma como possíveis áreas para instalação de um ETE, tais áreas têm declividades baixas e estão em altitudes baixas. Além disso, estão mais afastadas de centros urbanos e apresentam pedologia e uso do solo favoráveis (conforme pesos adotados). Comparando os resultados com o zoneamento do município de Criciúma, as áreas indicadas encontram-se em zonas próprias, exceto as zonas residenciais e de interesse social, que devido às suas peculiaridades foram indicadas pelo modelo. Porém, tal metodologia não substitui a negociação com os moradores locais, pois não será somente uma análise multicritério que solucionará os problemas de áreas para instalação de novas ETes. Além do mais, novos estudos devem ser realizados agregando

outros parâmetros a estas análises, tal como a direção do vento, o qual sofre influência do relevo e do uso do solo, distância das tubulações existentes e expansão urbana.

5 Referências

- Amaral, A.B. & Rios A.S. 2012. Mapeamento do uso e Ocupação do Solo no Alto Curso do Rio Piedade. *Revista de Geografia – PPGEO*, 2(1): 1-8.
- Bendo, R. 2013. *Análise do Risco de Ocupação Urbana sobre Áreas Mineradas em Subsolo no Município de Criciúma (SC) Utilizando Técnicas de Geoprocessamento*. Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Trabalho de Conclusão de Curso. 157p.
- Born, V. 2013. *Avaliação da Aptidão de Áreas para a Instalação de Aterro Sanitário com o Uso de Ferramentas de Apoio à Decisão por Múltiplos Critérios*. Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari, Trabalho de Conclusão de Curso. 103p.
- Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J.C.L.; Mierzwa, J.C.; Barros, M.T.L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N. & Eiger, S. 2010. *Introdução a Engenharia Ambiental: Desafios do Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo, Pearson Education do Brasil, 318p.
- BRASIL. 2012. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 11 jul. 2017.
- Campos, M.B.A. 2011. Métodos Multicriteriais de Tomadas de Decisões. Disponível em: <http://www.mat.ufmg.br/~espec/Monografias_Noturna/Monografia_MariaBetania.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2017.
- Chang, N.B.; Parvathinathan, G. & Breeden, J.B. 2008. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87(1): 139-153.
- Engelplus. 2015. Portal Engelplus - Nova centrífuga é instalada na Estação de Tratamento de Esgoto. Disponível em: <<http://www.engelplus.com.br/noticia/geral/2015/nova-centrifuga-e-instalada-na-estacao-de-tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- Engelplus. 2016. Portal Engelplus - Estação de esgoto na Próspera viabilizada em abril. Disponível em: <<http://www.engelplus.com.br/noticia/saude/2016/97718-estacao-de-esgoto-na-prospera-viabilizada-em-abril/>>. Acesso em: 13 jun. 2017.
- ESRI. 2017. Environmental Systems Research Institute - How Fuzzy Membership Works. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- Jat, M.K.; Choudhary, M. & Saxena, A. 2017. Application of geo-spatial techniques and cellular automata for modelling urban growth of a heterogeneous urban fringe. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(2): 223-241.
- Malinin, L. 2013. On Application of Fuzzy Logic to Decision Making in Solving Inventive Problems. *International Journal of Computer and Information Technology*, 2(3): 458-463.
- Marro, A.A.; Souza, A.M.C.; Cavalcante, E.R.S.; Bezerra, G.S. & Nunes, R.O. 2015. Lógica Fuzzy: Conceitos e Aplicações. Disponível em: <http://aquilesburlamaqui.wdfiles.com/local--files/logica-aplicada-a-computacao/texto_fuzzy.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- Mansouri, Z.; Moghaddas, N.H. & Dahrazma, B. 2013. Wastewater treatment plant site selection using AHP and GIS: A case study in Falavarjan, Esfahan. *Geopersia*. 3(2): 63-72.
- Mendel, J.M. 1995. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3): 345-377.
- Oliveira, S.V.W.B. 2004. *Modelo para Tomada de Decisão na Escolha de Sistema de Tratamento de Esgotamento Sanitário*. Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado. 197p.
- PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO. 2012. Lei Complementar nº 095, de 28 de dezembro de 2012. Institui o Plano Diretor Participativo do Município – PDDM de Criciúma, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.camaracriciuma.sc.gov.br/documento/lei-complementar-no-95-2012-16105>>. Acesso em: 12 jul. 2017.
- Reami, L. 2011. *Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto: Estudo de caso de Restinga SP*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Tese de Doutorado, 226p.
- Renou, S.; Thomas, J.S.; Aoustin, E. & Pons, M.N. 2008. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. *Journal of Cleaner Production*, 16(10): 1098-1105.
- Ribeiro, V.O.; Correa, N.F.; Carvalho, L.A. & Paranhos Filho, A.C. 2018. Identificação de Área para a Instalação de Estação de Tratamento de Esgoto em Coronel Sapucaia (MS), Utilizando Álgebra de Mapas. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 41(2): 685-698.
- Ross, T.J. 2004. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Inglaterra: John Wiley & Sons, 648p.
- Shahmoradi, B. & Isalou, A.A. 2013. Site selection for wastewater treatment plant using integrated fuzzy logic and multicriteria decision model: A case study in Kahak. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 1(1): 1-12.
- SIGSC. 2010. Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina. Disponível em <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>. Acesso em 03 jul. 2017.
- Tucci, C.E.M. 1997. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, Editora UFRGS, p. 621-652.