



ESTIMATIVA DE POTENCIAL POLUIDOR INDUSTRIAL COM BASE EM DADOS ECONÔMICOS OFICIAIS E LÓGICA DIFUSA

INDUSTRIAL POTENTIAL POLLUTER ESTIMATION BASED ON OFFICIAL ECONOMIC DATA AND FUZZY LOGIC

Luiz Cláudio Dalmolin^a; Rafael Medeiros Sperb^b; Nilson Ribeiro Modro^a

^a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – Florianópolis, SC, Brasil

^a Universidade Federal do Rio Grande (FURG) – Rio Grande, RS, Brasil

Resumo

A estimativa do potencial poluidor de indústrias é um importante instrumento para o apoio à geração de políticas e programas públicos, planejamento e gestão ambiental. Diversas agências ambientais e instituições de atuação global propõem métodos indiretos para estimar este potencial. A adoção/adaptação de metodologias à realidade brasileira é dificultada pela carência de dados adequados. Alternativas foram propostas por diversos autores, porém com algumas restrições. Dessa forma, este trabalho propõe um método de estimativa do potencial poluidor de indústrias, e a subsequente geração de carta temática, com base em dados industriais disponibilizados por órgãos oficiais brasileiros. O método, que emprega inferência geoespacial difusa no tratamento de dados, foi avaliado no parque industrial do Estado de Santa Catarina. Os resultados mostraram que o método é viável, flexível e relativamente barato, permitindo identificar regiões com distintos níveis de potencial poluidor.

Palavras-chave: poluição industrial, método de estimativa, inferência difusa.

Abstract

The industrial potential polluter estimation is an important tool to support public policies and programs formulation, environmental planning and management. Environmental agencies and green institutions around the world have proposed indirect methods for estimating this potential. The adoption/adaptation of these methods to the Brazilian reality has been hampered by adequate data availability. Alternative methods based on data scarcity have been proposed by several Brazilian authors with some limitations. Thus, this paper proposes a methodology to estimate the industrial potential polluter and its thematic mapping representation based on industrial data provided by Government official data. This methodology employs fuzzy geospatial inference for industrial data treatment and visualization. In order to evaluate its power, the methodology was tested with data from the industrial park of the State of Santa Catarina. The results have shown that the method is feasible, flexible and relatively inexpensive to be deployed, while it provides powerful estimation of industrial polluter potential.

Keywords: industrial pollution, estimation method, fuzzy inference.

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental tem como uma das principais causas a poluição resultante das atividades econômicas, principalmente das industriais. Com a crescente necessidade e interesse da sociedade em identificar e combater as fontes emissoras de poluição, o tema passa a ser prioritário em qualquer meio produtivo, seja por conscientização dos agentes envolvidos, seja por imposição da legislação (Santos, 2005).

Sendo o Brasil um país com crescimento populacional e econômico acentuado, carente de estudos e métodos

eficazes de controle da poluição, originária esta, em grande parte, do parque industrial instalado, em sua maioria, em grandes centros urbanos, o tema assume importância ainda maior. Por outro lado, há também pontos específicos de poluição, oriundos de plantas industriais isoladas, mas que possuem potencial poluidor elevado e que necessitam ser identificadas, visando o monitoramento e mitigação da degradação resultante em sua área de influência, muitas vezes abrangendo regiões antropizadas, com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Isto agrava ainda mais o problema, como é revelado pela pesquisa desenvolvida pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na década de 90, em que 72% dos conflitos ambientais nessas áreas, estavam relacionados com a atividade industrial (Moreno, 2005).



A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), através da Lei no 6.938/81 (PNMA, 2010), estabelece a necessidade de controle das atividades potencial ou efetivamente poluidoras, a fim de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental, através de instrumentos de gestão ambiental como padrões de qualidade, o zoneamento industrial, avaliações de impactos ambientais, licenciamentos e sistema nacional de informações sobre meio ambiente. A referida política destaca, também, a necessidade de se dispor de informações atualizadas sobre a qualidade ambiental.

Constata-se, também a ausência de um consistente inventário sobre indústrias potencialmente poluidoras, com localização geográfica das mesmas e com a informação dos poluentes emitidos, o que remete às pesquisas para a definição de métodos de estimativa e projeção de emissões de poluição provenientes das indústrias como alternativa viável para o mapeamento da poluição, subsidiando assim a gestão ambiental.

O cenário brasileiro indica que a estimativa do potencial poluidor de indústrias através de dados secundários é uma alternativa viável à medição efetiva nas fontes poluidoras.

O potencial poluidor (PP) pode ser definido como sendo o risco que uma empresa incorre em causar danos ao meio ambiente, quando não utiliza práticas de controle ambiental (Moreno, 2005). Os possíveis danos compreendem qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas, causada por qualquer forma de energia ou de substância sólida, líquida ou gasosa, liberadas pelas indústrias em níveis capazes, direta ou indiretamente, de prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criar condições adversas às atividades sociais e econômicas e ocasionar danos relevantes à flora, à fauna e a outros recursos naturais (Decreto nº 76.389, de 3 de Outubro de 1975).

Os impactos ambientais oriundos das diversas fontes de poluição industrial exigem urgência nas ações concretas de conservação, preservação e recuperação ambiental. No entanto, as dificuldades financeiras e operacionais de se implantar um monitoramento efetivo da poluição industrial têm conduzido os estudos para o desenvolvimento de metodologias capazes de estimar o PP tendo por base parâmetros indiretos.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta um novo método de estimativa de potencial poluidor industrial, tendo por base dados secundários e lógica difusa, denominado de inferência geoespacial difusa. Para tanto, o artigo está estruturado em seis seções. A segunda seção apresenta o estado da arte dos métodos de estimativa de potencial poluidor industrial, bem como a identificação do problema e justificativas. Na sequência, é apresentado o método proposto para a estimativa do potencial poluidor. Já a quarta seção demonstra a aplicação do método proposto por

meio de um estudo de caso. Em seguida, são apresentados os resultados e discussões, seguidos pelas conclusões e recomendações.

2. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO/POTENCIAL POLUIDOR

De acordo com Moreno (2005), as principais metodologias de estimativa de emissão são: a AP42 da Agência Ambiental Americana (*United States Environmental Protection Agency – US-EPA*), o inventário de emissões aéreas da Comissão Europeia (*CORe INventory AIR emissions – CORINAIR*), o Método de Avaliação Rápida da Poluição elaborado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e o *Industrial Pollution Projection System (IPPS)* do Banco Mundial.

A US-EPA, Agência Ambiental Americana, define o fator de emissão como um valor que relaciona a quantidade liberada de poluentes associada a parâmetros ligados à atividade industrial (quantidade produzida, quantidade de matéria-prima consumida, dentre outros), de forma que tais fatores possam ser usados em equações para estimar emissões de um processo industrial em que não há disponibilidade de dados mais específicos (EPA, 2013a).

A Agência Europeia do Ambiente (*European Environment Agency – EEA*), através da Comissão Europeia para Inventário de Emissões para o Ar (*Core Inventory Air Emissions – CORINAIR*), desenvolveu uma metodologia de estimativa de poluição atmosférica na qual os fatores de emissão são organizados por categorias de poluentes e fontes poluidoras associadas com procedimentos de validação e verificação. As estimativas de emissão são baseadas no tipo e nível tecnológico da atividade, tendo como dados de entrada a quantidade de matéria-prima ou a quantidade de produto manufaturado (WHO, 2000).

A Organização Mundial da Saúde – OMS – publicou, na década de 90, um guia contendo métodos rápidos para levantamento e avaliação da poluição do ar, água e solo (*Rapid Source Inventory Techniques Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution*). Os quadros ou tabelas de referência do guia fornecem índices de poluição para diferentes tipos ou segmentos industriais específicos, bem como guias para cálculo e interpretação de cargas de poluentes e resíduos. As tabelas da OMS podem ser utilizadas por indústrias e agências ambientais preocupadas com a elevação dos padrões ambientais, especialmente na falta de legislação e padrões nacionais, estaduais ou municipais (WHO, 2000).

O Banco Mundial desenvolveu o Sistema de Projeção da Poluição Industrial (*Industrial Pollution Projection System – IPPS*) para estimativa de poluição industrial em países emergentes com poucos dados sobre poluição industrial, mas que têm informações sobre a mão-de-obra utilizada,



quantidade produzida ou valor adicionado nas atividades industriais (Hettige *et al.*, 1995). Este sistema permite estimar o impacto ao bem-estar e o custo de mitigação da poluição usando, para isso, dados das próprias indústrias e de órgãos oficiais, combinando parâmetros de intensidade de poluição (por número de empregados, por valor adicionado ou por valor de produção) com indicadores da produção industrial.

No Brasil, os métodos de cálculo do PP de indústrias adotados pelas agências ambientais, em geral, se resumem na adoção e adaptação das metodologias citadas anteriormente, com destaque para o IPPS do Banco Mundial, devido a pouca disponibilidade de bases de dados relativas à emissão de poluentes industriais e de fatores de emissão. Este é o caso do IBGE que, atualmente, emprega o IPPS para estimar o potencial emissor de poluentes industriais usando coeficientes que associam a emissão de poluentes a uma medida da atividade industrial, deste modo estimando o PP das indústrias para o ar, a água e o solo (IBGE, 2013). No entanto, por se tratar de uma metodologia desenvolvida há quase 20 anos, ter como base as emissões de poluentes das indústrias americanas e não incluir atividades como termelétricas, indústrias de reciclagem e indústrias extrativas, Moreno (2005) e Sor *et al.* (2008) consideram importante o desenvolvimento de coeficientes de emissão mais adequados à realidade brasileira.

No Rio Grande do Sul, a Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul (FEE/RS), juntamente com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM/RS), desenvolveram indicadores de PP da indústria extrativa e de transformação para os anos de 2002 a 2009, por municípios, regiões e aglomerados urbanos, através das dimensões econômica e ambiental (FEE, 2010). Esses indicadores classificaram o PP como: alto, médio ou baixo e, a partir desta abordagem, foram elaborados: o Índice de Dependência das Atividades Potencialmente Poluidoras da Indústria (Indapp-I) e o Índice do Valor Adicionado Bruto da Indústria (Ivab-I). Tais índices serviram de base para a definição do Índice de Potencial Poluidor da Indústria (Inpp-I) (Santin *et Reis*, 2007). Em 2012 a FEE/RS propôs alterações metodológicas no sentido de tornar o cálculo mais transparente e informativo (FEE, 2012). Então, o Inpp-I passou a ser interpretado como a proporção do PP de um município (ou outra unidade geográfica), em um determinado ano, em relação ao PP de toda produção industrial do Rio Grande do Sul no ano de 2002, tendo esse alto PP.

Já Moreno (2005) apresenta uma proposta para a definição do PP das indústrias, baseada na metodologia IPPS, tendo como caso de estudo as indústrias do Rio de Janeiro. Tal proposta usa um sistema para estimar a intensidade de poluição industrial para a água, ar e solo, tendo como medida de poluição industrial o número de empregados, compatibilizada com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE (CONCLA, 2014). De

acordo com a autora, o estudo apresenta limitações, tais como: a produção de estimativas que subestimam a efetiva poluição, o uso do número de empregados como medida de poluição, a aplicação de fatores de emissão da base de dados da indústria americana e o fato de algumas divisões importantes da indústria nacional não estarem incluídos nos fatores de intensidade de poluição IPPS.

Por sua vez, Costa (2010) apresenta um estudo de caso, aplicando a metodologia IPPS na estimativa da poluição industrial da Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro. Nesse estudo, a autora estima o PP industrial tendo por base o número de funcionários, classificando as indústrias de acordo com a CNAE. Como resultados, são apresentadas as estimativas de poluição da água, baseadas em alguns indicadores.

No Estado de São Paulo, conforme a Lei Estadual Nº 7.641, de 19 de dezembro de 1991, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2010) apresenta o Método para Determinação do Potencial Poluidor de Atmosfera, em que o PP leva em conta a estimativa de emissão de material particulado a partir do somatório das emissões de cada fonte, determinadas através de fatores de emissão.

2.1 Identificação do Problema

Conforme constatado por Moreno (2005), a carência e até ausência de programas de monitoramento efetivo de fontes poluidoras industriais dificulta a aplicação de instrumentos de gestão ambiental, como o zoneamento industrial, a avaliação de impactos ambientais, o licenciamento ambiental e a construção de um inventário nacional de fontes poluidoras. Cenário também apresentado por Costa (2010).

Diante deste cenário, as metodologias de estimativa de emissão de poluentes baseadas em parâmetros indiretos mostram-se adequadas, conforme observado por Sor *et al.* (2008). O emprego destas metodologias, somado à distribuição geográfica das atividades potencialmente poluidoras, através da localização das fontes de emissão de poluentes, permite simular cenários futuros, com diferentes visões da distribuição das indústrias potencialmente mais poluidoras (Santin *et Reis*, 2007), como demonstrado no caso do Rio Grande do Sul.

Porém, o que se observa é que as principais metodologias adotadas para a estimativa de PP das indústrias apresentam limitações como:

- o uso de fatores de emissão baseados em dados industriais americanos, ou europeus, nem sempre adequados ao parque industrial brasileiro;
- ausência de fatores de emissão para algumas tipologias industriais importantes na matriz industrial brasileira, como



as indústrias extrativas, termelétricas e de produção de álcool.

Concordando com essas limitações, Costa (2010) destaca a necessidade de ajustes na metodologia IPPS, visando facilitar a identificação de áreas e indústrias críticas em termos de PP.

Diante dessas evidências, percebe-se a carência de ferramentas de baixo custo, confiáveis e, principalmente, viáveis na identificação do PP industrial.

Observa-se também que os processos tradicionais de representação de conhecimento na área ambiental, com uso de cartas temáticas, normalmente levam em conta apenas a representação de dados tipo *crisp*, baseados na lógica binária, com o uso de categorias de dados, com mudanças abruptas entre uma e outra (Moreno, 2005; Sor *et al.*, 2008; FEE, 2012). Porém, na análise espacial dessas informações, deve-se considerar que normalmente não há limites nítidos e rígidos em processos ambientais, tornado essa representação tradicional não muito precisa e nem sempre adequada, como é o caso da estimativa de PP de indústrias.

Assim, é necessário adicionar outras formas de tratamento e representação de informações relacionadas a fenômenos naturais, tendo como foco uma maior precisão e adequação à percepção da realidade pelos agentes envolvidos.

Ao lidar com limites imprecisos, vagos e com expressões verbais, a Lógica Difusa (ou Lógica Nebulosa ou Lógica *Fuzzy*), técnica de Inteligência Artificial, parece ser adequada para a representação e processamento desses processos ambientais, permitindo considerar a experiência de operadores e/ou tomadores de decisão nessa representação, principalmente onde a ambiguidade, a generalidade e a vaguidade (*Vagueness* em inglês) estão presentes.

Devido as suas características de representação e manipulação de informações imprecisas e vagas, a Lógica Difusa tem uma ampla aplicação na área ambiental, principalmente em processos de tomada de decisão ligados às áreas de avaliação de riscos, zoneamento ambiental, planejamento, etc., (Sperb, 2002; Burrough, 1989; Sperb *et al.*, 2006; Xie *et al.*, 2008; Reshmidevi *et al.*, 2009; Pradhan *et al.*, 2010; Vahidnia *et al.*, 2010; Giordano *et al.*, 2011; Ilanloo, 2011; Jasiewicz, 2011; Malinowska, 2011; Tien Bui *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2012) normalmente fazendo uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como ferramenta de coleta, armazenamento e principalmente processamento de informações.

Especificamente em relação à inferência difusa, a aplicação em SIGs é mais recente, estando presente em trabalhos relacionados à análise espacial de zonas costeiras (Sperb *et al.*, 2006), à avaliação de aptidão agrícola (Reshmidevi *et al.*, 2009), ao mapeamento de áreas susceptíveis ao deslizamento

(Vahidnia *et al.*, 2010; Ilanloo, 2011, Tien Bui *et al.*, 2011), ao mapeamento de risco de subsidência do solo e riscos de edificações em terrenos de mineração (Malinowska, 2011; Park *et al.*, 2012), à integração de conhecimento empírico e técnico no monitoramento da salinidade do solo (Giordano *et al.*, 2011) e à implementação de funções para análise maciça de dados em ferramentas SIG (Jasiewicz, 2011).

Dessa forma, uma abordagem possível para uma representação adequada de dados especializados referentes ao PP industrial, consiste no emprego da inferência geoespacial difusa para o tratamento de dados industriais oficiais, e a consequente construção de cartas temáticas. Adicionalmente, a adoção de um processo simplificado, flexível e adaptado à realidade brasileira na construção dessas cartas pode fornecer aos tomadores de decisão informações mais fidedignas e de mais fácil compreensão para a geração de políticas públicas, planejamento e gestão ambiental.

3. MÉTODO DE ANÁLISE GEOESPACIAL PROPOSTO

O modelo de análise geoespacial proposto e apresentado neste trabalho estima o PP das indústrias de determinada região a partir de dados econômicos secundários sobre as indústrias, disponibilizados por órgãos oficiais. Para essa estimativa, considera-se necessária a descrição do parque industrial instalado na área de estudo, tendo por base critérios qualitativos e quantitativos.

Como critérios qualitativos, foram considerados relevantes: a tipologia das indústrias, de acordo com a CNAE, os níveis de PP adotados pela Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul – FEE (2012) e a definição do porte industrial, com base no número de funcionários, adotada pelo Serviço Nacional de Apoio à Micro e Pequena Empresa/SC (SEBRAE, 2013). Por sua vez, os critérios quantitativos adotados foram: a malha municipal, com sua representação geográfica (formato *shapefile*), incluído a sede municipal e a área em Km², e a quantidade de indústrias existentes em cada unidade municipal, separada por tipologia e porte industrial.

3.1 Etapas do Método Proposto

De modo sistemático, o método proposto possui três grandes etapas, conforme apresentado na Figura 1.

3.1.1 Etapas do Método Proposto

Como primeira etapa, as indústrias instaladas na região de estudo devem ser caracterizadas em relação aos aspectos qualitativos e quantitativos.

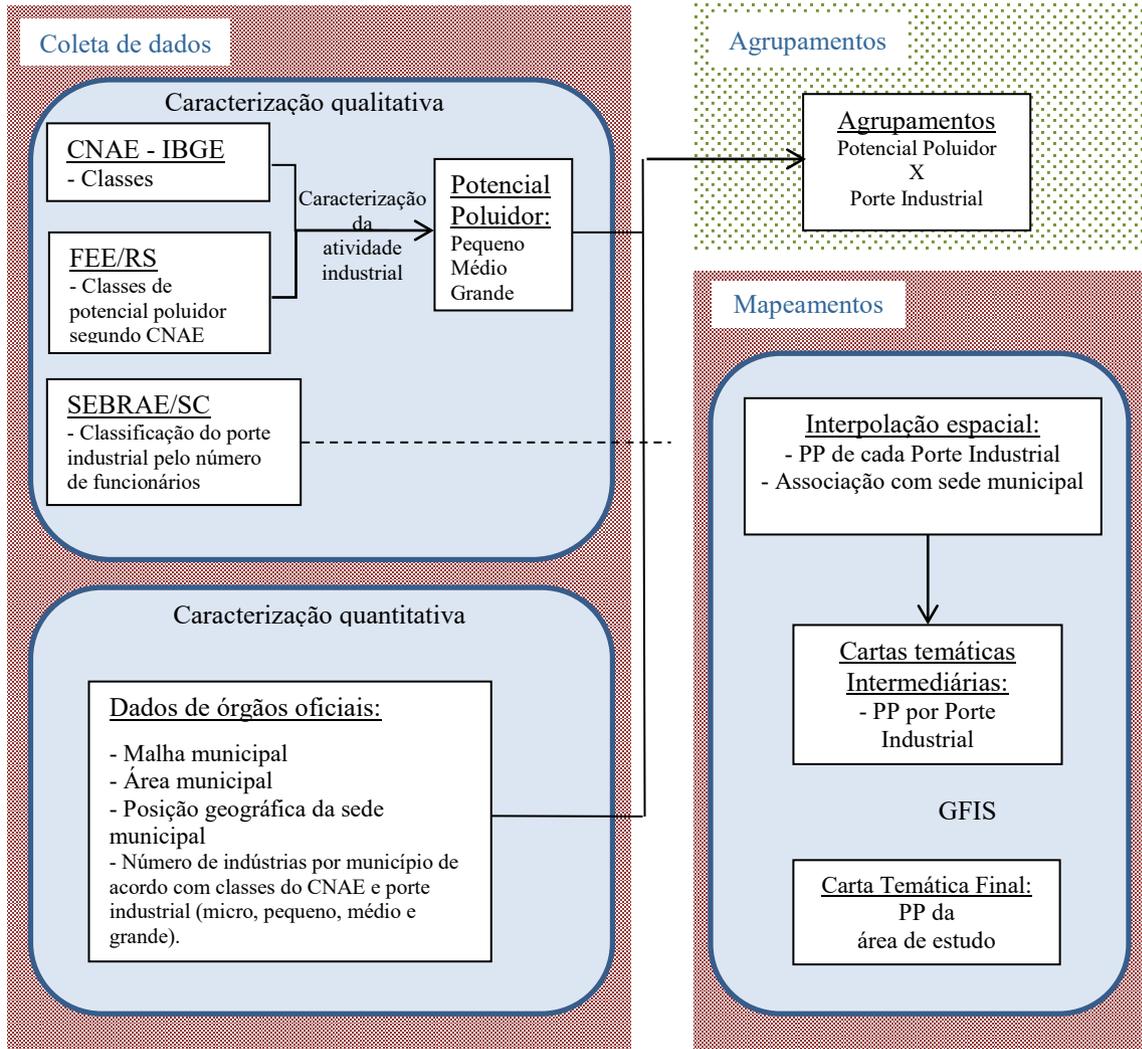


Figura 1: Modelo para estimativa do potencial poluidor de indústrias.

Fonte: Os próprios autores (2015)

Sob o ponto de vista qualitativo, o parque industrial é classificado de acordo com o porte industrial e com o PP. Para isso foi definido como unidade básica de informação o município, devido a esse ser a unidade de informação mais adotada por órgãos oficiais, como o IBGE. Dessa forma, o parque industrial de cada município é classificado por tipologia industrial, de acordo com a CNAE (versão 2.1), especificamente às atividades industriais extrativas (Seção B) e de transformação (Seção C). Posteriormente, para identificar o PP de cada indústria instalada, as classes do CNAE são associadas aos níveis de PP, conforme proposto pela Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul (FEE, 2012). A Tabela 1 apresenta um exemplo de classificação do parque industrial de um determinado município.

Sob o ponto de vista quantitativo, o método prevê a definição de uma área de estudo composta por um conjunto de municípios, visando gerar cartas temáticas de uma região, com escala adequada para a visualização e comparação dos resultados obtidos. Desses municípios são utilizados dados geográficos e industriais oriundos de órgãos oficiais, como por exemplo: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e Federações de Indústrias. Esses dados compreendem: divisão política municipal, área dos municípios, localização geográfica das sedes municipais e dados quantitativos referentes ao parque industrial instalado em cada município.



Tabela 1 – Classificação das atividades industriais de um determinado município.

Município: <nome município>	Parque industrial				Potencial Poluidor
	Quantidade de indústrias				
Grupo (CNAE)	Micro	Peq	Med	Grande	
Grupo 050 - Extração de carvão mineral	0	2	0	0	3
Grupo 060 - Extração de petróleo e gás natural	0	0	1	0	3
Grupo 071 - Extração de minério de ferro	0	0	1	0	3
Grupo 081 - Extração de pedra, areia e argila	1	0	0	0	3
Grupo 106 - Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de alimentos para animais	3	1	0	0	2
Grupo 133 - Fabricação de tecidos de malha	0	3	1	0	1
Grupo 141 - Confeção de artigos do vestuário e acessórios	34	3	2	0	2
Grupo 310 - Fabricação de móveis	10	2	0	1	3
...

Fonte: Os próprios autores (2015)

3.1.2 Segunda etapa: Agrupamentos

A segunda etapa do método proposto consiste em agrupar as indústrias que compõem o parque industrial da região em estudo, conforme seu porte industrial e PP. Tal agrupamento é necessário para posterior construção de cartas temáticas e análises. Para tanto, os dados do parque industrial de cada município são agrupados de acordo com seu porte industrial (micro, pequeno, médio e grande) e seu PP (pequeno, médio e grande), gerando assim 12 agrupamentos de dados para cada município, onde cada agrupamento representa o número de indústrias de determinado porte e determinado PP existentes no município.

Também foi considerada no estudo a densidade industrial de cada município, expressa pelo número de indústrias, de cada agrupamento, instaladas em relação à área municipal (em Km²). A densidade industrial é utilizada na estimativa do PP da região a partir da premissa de que, quanto mais próximas estão instaladas as indústrias, maior é o PP. Este ponto de vista vai ao encontro do chamado “conceito bolha”, adotado pela Agência Ambiental Americana (EPA, 2013b), como forma de compensação ambiental em regiões industrializadas.

A densidade industrial referente a cada agrupamento é definida a partir da Equação 1.

$$D_{<x>} = \frac{\text{Agrupamento}_{<x>}}{\text{Área}}$$

Em que:

$DI_{<x>}$ = Densidade industrial (por Km²).

$\text{Agrupamento}_{<x>}$ = Agrupamento (porte x PP).

Área = área municipal (em Km²).

3.1.3 Terceira etapa: Mapeamentos

Uma vez que os dados foram coletados e devidamente agrupados, a terceira etapa tem início, com o objetivo de gerar cartas temáticas para subsidiar simulações, análises e auxiliar a tomada de decisão.

Nesta etapa, os 12 agrupamentos de dados, que relacionam PP com porte industrial, são associados com as posições geográficas das sedes municipais, onde, via de regra, localiza-se a grande maioria das indústrias. A partir desse mapeamento são geradas 12 cartas temáticas para toda área de estudo. De posse das 12 cartas temáticas representando a densidade de indústrias instaladas na área de estudo, uma para cada porte e PP, o método faz uso de um Sistema de Inferência Geoespacial Difusa (GFIS) para a geração da carta temática final, tendo por base as seguintes características:

- possibilidade de considerar a percepção dos agentes envolvidos na gestão ambiental, tanto na elaboração das cartas, quanto na análise dos resultados obtidos, tornando o processo mais flexível;
- adoção de termos linguísticos na elaboração e interpretação das cartas temáticas, naturalmente mais próximos do raciocínio humano;



- processo de tomada de decisão mais facilmente compreensível e aplicável por profissionais de diferentes áreas, mesmo sem conhecimento técnico específico sobre técnicas e ferramentas adotadas.

A inferência geoespacial difusa utilizada é aplicada em duas etapas.

Na primeira etapa, a partir das cartas temáticas representativas de cada um dos 12 agrupamentos, são definidos os conjuntos difusos de entrada, os conjuntos de saída e as regras de inferência para a aplicação do GFIS. Para isso, as cartas temáticas de cada agrupamento são convertidas em matrizes de entrada para a inferência difusa. Para cada matriz, são definidos conjuntos de entrada representando baixa e alta densidades industriais, tendo como valores limites da reta de suporte da inferência difusa os valores: zero – como valor inicial – e o maior valor de densidade industrial da carta – como valor final. Os conjuntos difusos de saída são expressos em classes que representam cinco diferentes níveis de PP (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto), através de funções de pertinência triangulares, com base em uma reta suporte de escala crescente de PP, variando de zero a quatro. As regras de inferência adotadas representam as possíveis combinações de densidade industrial das cartas de entrada e as consequentes saídas. Para a inferência difusa, o modelo proposto utiliza o método *maxmin* e para a *defuzificação*, o método centróide. Esses métodos foram adotados em função de sua ampla aplicação, e também por serem normalmente encontrados em ferramentas de inferência difusa. Como resultados dessa primeira etapa, são geradas cartas temáticas intermediárias de PP de cada porte industrial, ou seja, carta temática de micro, de pequenas, de médias e de grandes indústrias da área de estudo.

Na segunda etapa, tendo por base as cartas temáticas intermediárias geradas na etapa anterior, a inferência difusa é novamente aplicada, visando gerar uma carta temática final, representativa da estimativa do PP de todo parque industrial instalado na área de estudo.

Considerando o fato que o porte industrial tem influência sobre o PP, foi adotada a classificação de porte industrial do SEBRAE/SC, como parâmetro para correlacionar cartas temáticas de indústrias de diferentes tamanhos. Essa relação entre porte industrial e PP é, então, feita através de manipulação da reta suporte dos conjuntos de pertinência de entrada para a inferência difusa. Neste caso, tendo

por base a classificação de porte baseada no número de empregados, foi considerado que: microindústrias têm importância 500 vezes menor que as grandes indústrias; pequenas indústrias têm importância 25 vezes menor que grandes indústrias e médias indústrias têm importância 5 vezes menor que grandes indústrias, de forma que:

- os valores da reta suporte dos conjuntos de pertinência de microindústrias são elevados em 500 vezes;
- os valores para as retas suporte de pequenas indústrias são elevados em 25 vezes;
- os valores para a reta suporte de médias indústrias são elevados em 5 vezes;
- os valores para a reta suporte de grandes indústrias não são alterados.

Como resultado, os valores de entrada de densidade industrial de microindústrias tem sua importância reduzida quinhentas vezes em relação aos de grande porte. Respectivamente, os valores de entrada de densidade de pequenas e médias indústrias têm sua importância reduzida em vinte e cinco vezes em relação aos de grande porte. Com isso buscou-se criar uma relação de proporcionalidade adequada entre as indústrias de micro, pequeno, médio e grande porte no cálculo do PP.

Então, definidos os conjuntos difusos de entrada, conjuntos de saída e regras de inferência, baseadas nas possíveis ocorrências de valores nas cartas, é novamente aplicado o GFIS, obtendo-se a carta temática final, contendo o PP das indústrias da área de estudo.

4. ESTUDO DE CASO

Visando melhor compreender o método proposto, é apresentado um estudo de caso para a estimativa do PP de indústrias do Estado de Santa Catarina.

4.1 Coleta de Dados

Os dados referentes às indústrias catarinenses foram obtidos do SEBRAE/SC (SEBRAE, 2012), contendo a composição do parque industrial de cada município, classificado de acordo com a CNAE e porte industrial para o ano de 2008 (Tabela 2).

Tabela 2 – Relação de empresas de um município segundo o porte.

Grupo de Atividades Econômicas, segundo classificação CNAE - versão 2.0	Empresas - 2008				
	ME	PE	MDE	GE	Total
Grupo 245 - Fundação	4	-	-	-	4
Grupo 251 - Fabricação de estruturas metálicas e obras de caldeiraria pesada	20	1	-	-	21



Grupo 252 - Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras	-	-	-	-	-
Grupo 253 - Forjaria, estamparia, metalurgia do pó e serviços de tratamento de metais	20	5	1	-	26
Grupo 254 - Fabricação de artigos de cutelaria, de serralheria e ferramentas	4	1	-	-	5
Grupo 255 - Fabricação de equipamento bélico pesado, armar de fogo e munições	-	-	-	-	-
Grupo 259 - Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente	38	2	2	-	42
Grupo 261 - Fabricação de componentes eletrônicos	1	-	-	-	1
Grupo 262 - Fabricação de equipamentos de informática e periféricos	-	1	-	-	1
Grupo 263 - Fabricação de equipamentos de comunicação	-	-	-	-	-
Grupo 264 - Fabricação de aparelhos de recepção, reprodução, gravação e amplificação de áudio e vídeo	-	-	-	-	-
Grupo 265 - Fabricação de aparelhos e instrumentos de medida, teste e controle; cronômetros e relógios	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir de SEBRAE (2012).

Tendo por base a definição do PP de cada grupo da CNAE, feita por FEE (2012), os dados do parque industrial de cada município foram também classificados pelo PP (pequeno, médio e grande).

4.2 Agrupamentos

Uma vez tabulados, os dados foram sintetizados, por município, resultando em 12 agrupamentos por município. Cada agrupamento foi então representado como “densidade industrial” ao dividir a quantidade de indústrias (de cada porte e PP) pela área municipal, em km² (Tabela 3).

Tabela 3 – Densidade industrial por Porte Industrial e por nível de Potencial Poluidor dos municípios Catarinenses – (ano base 2008).

Porte Industrial =>	Quantidade de Indústrias											
	Micro			Pequeno			Médio			Grande		
	P	M	G	P	M	G	P	M	G	P	M	G
Potencial Poluidor =>	P	M	G	P	M	G	P	M	G	P	M	G
Município												
ABDON BATISTA	0,000	0,004	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ABELARDO LUZ	0,006	0,039	0,045	0,000	0,006	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
AGROLÂNDIA	0,000	0,252	0,203	0,000	0,029	0,019	0,000	0,005	0,019	0,000	0,000	0,000
AGRÔNOMICA	0,038	0,269	0,115	0,000	0,015	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ÁGUA DOCE	0,000	0,024	0,007	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ÁGUAS DE CHAPECÓ	0,022	0,072	0,115	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ÁGUAS FRIAS	0,000	0,053	0,120	0,000	0,013	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
ÁGUAS MORNAS	0,003	0,037	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
...												

Legenda: P=Pequeno; M=Médio; G=Grande

Fonte: Os Próprios autores.

4.3 Mapeamentos

Nesta etapa, os 12 agrupamentos de dados foram associados às sedes municipais e foram geradas 12 cartas temáticas interpoladas – geradas através da ferramenta ArcGIS 10[®] –, cada uma representando a densidade industrial de cada porte de indústrias e de cada PP. Então, cada carta temática gerada pela interpolação espacial foi convertida em matriz de dados, servindo de entrada para o

GFIS – sendo que o GFIS foi aplicado através de ferramenta específica desenvolvida para tal, integrada à ferramenta ArcGIS 10[®]. Assim, para cada matriz de dados, foram definidos dois conjuntos difusos de entrada a partir do uso dos termos linguísticos: *baixa* e *alta* densidade industrial. Para isso, considerou-se que a reta suporte para os conjuntos difusos de entrada teria como valor mínimo o menor valor de densidade industrial da carta e, como valor máximo, o maior valor de densidade industrial da carta. Tais conjuntos



difusos foram definidos de forma experimental, visando uma melhor representação das variações de densidade industrial na área de estudo.

Para os conjuntos de saída, foram definidas cinco classes de intervalos iguais sobre a reta suporte (variando de 0 a 4), expressas pelos conjuntos difusos: *muito baixo*, *baixo*, *médio*, *alto* e *muito alto*, de forma a representar com maior

expressividade os diferentes níveis de PP resultantes.

As regras de inferência foram definidas através da ferramenta adotada, contendo as possíveis combinações entre os conjuntos de entrada e a consequente saída. A Figura 2 apresenta um exemplo de regras de inferência adotadas.

Se DI_GRA_PP é baixa e DI_GRA_PM é baixa e DI_GRA_PG é baixa então PP_GRA é mbaixo
Se DI_GRA_PP é baixa e DI_GRA_PM é baixa e DI_GRA_PG é alta então PP_GRA é alto
Se DI_GRA_PP é alta e DI_GRA_PM é alta e DI_GRA_PG é baixa então PP_GRA é medio

Legenda: DI_GRA_PP = Densidade de grandes indústrias com pequeno potencial poluidor;
DI_GRA_PM = Densidade de grandes indústrias com médio potencial poluidor; DI_GRA_PG =
Densidade de grandes indústrias com grande potencial poluidor; PP_GRA = Potencial poluidor de
grandes indústrias.

Figura 2: Exemplo de regras de inferência difusa para a geração da carta temática de potencial poluidor de indústrias de grande porte.

Fonte: Os próprios autores (2015)

Em seguida, aplicando o GFIS, foram geradas as quatro cartas temáticas intermediárias, sendo uma para cada porte industrial, ou seja, carta temática de micro, de pequenas, de médias e de grandes indústrias da área de estudo. Então, tendo por base as quatro cartas intermediárias, o GFIS foi novamente aplicado, visando gerar uma carta temática final, representativa da estimativa do PP do Estado de Santa Catarina.

Para isso, as quatro cartas temáticas de cada porte industrial foram também convertidas em matrizes de entrada para o GFIS, com conjuntos difusos de entrada baixo, médio e alto, conjuntos de saída: mbaixo, baixo, médio, alto e malto. As regras de inferência foram novamente definidas, tendo por base as possíveis ocorrências nos conjuntos de entrada (Figura 3).

Se PP_GRA é baixo e PP_MED é medio e PP_PEQ é medio e PP_MIC é baixo então PP_FINAL é baixo
Se PP_GRA é medio e PP_MED é medio e PP_PEQ é medio e PP_MIC é baixo então PP_FINAL é medio
Se PP_GRA é alto e PP_MED é alto e PP_PEQ é alto e PP_MIC é alto então PP_FINAL é malto

Legenda: PP_GRA = Potencial poluidor de indústrias de grande porte; PP_MED = Potencial poluidor de indústrias de médio porte; PP_PEQ = Potencial poluidor de indústrias de pequeno porte; PP_MIC = Potencial poluidor de microindústrias; PP_FINAL = Potencial poluidor de indústrias final.

Figura 3: Exemplo de regras de inferência definidas para o GFIS.

Fonte: Os próprios autores (2015)

Como resultado, foi gerada a carta temática representando o PP das indústrias do Estado de Santa Catarina (Figura 4), concluindo, assim, a aplicação do método.

Como resultado da aplicação do método, foi gerada a carta temática do PP das indústrias do Estado de Santa Catarina, usando a Lógica Difusa como técnica de correlacionamento entre cartas temáticas intermediárias, com adoção de termos linguísticos, imprecisão e vaguidade no processamento, aqui chamada de Sistema de Inferência Geoespacial Difusa (GFIS).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo geral desta pesquisa foi propor um método para a construção de cartas temáticas de PP de indústrias, a partir de dados econômicos oficiais e Lógica Difusa. O método teve como dados de entrada: as classes industriais da CNAE, a classificação do PP, de acordo com a proposta da FEE/RS, a classificação utilizada pelo SEBRAE para definição do porte industrial, a malha municipal e as respectivas áreas e localização das sedes municipais do IBGE, e o parque industrial de cada município da área de estudo, elaborado pelo SEBRAE/SC, para o ano de 2008.

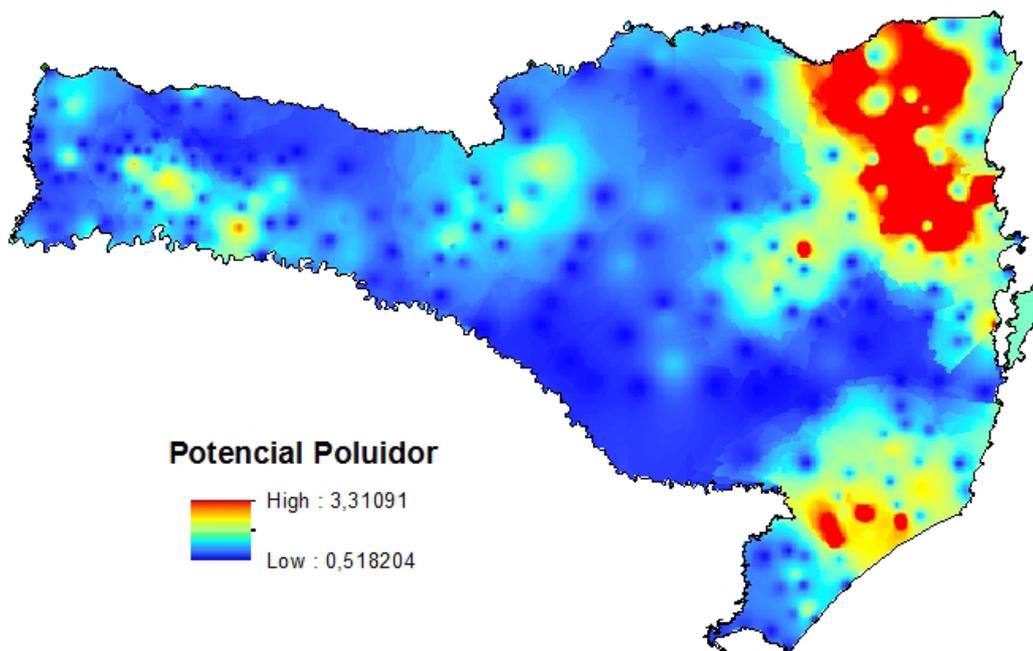


Figura 4: Carta temática do PP de indústrias de Santa Catarina.

Fonte: Os próprios autores (2015)

Na comparação da carta gerada pelo método proposto com os demais métodos ou metodologias, destacam-se as seguintes características:

- Disponibilidade de dados: os dados necessários para a aplicação do método são oriundos de órgãos oficiais e estão facilmente disponíveis, necessitando somente a seleção e tabulação dos mesmos para a produção das cartas temáticas. Os demais métodos normalmente fazem uso de dados não facilmente disponíveis e obtidos através de análises que envolvem conhecimento de especialistas, nem sempre explícitos.
- Foco na realidade brasileira: os dados considerados levam em conta as características do parque industrial brasileiro, fazendo uso da Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE –, de forma a abranger toda a tipologia do parque industrial instalado (Seção B e C da CNAE). A maioria dos métodos existentes faz uso de dados baseados nos parques industriais americanos ou europeus, não adaptados à realidade brasileira e não contemplando toda tipologia industrial aqui existente. Exemplo disso é a metodologia IPPS, que não contempla indústria extrativa mineral e a alcoolquímica.
- Densidade industrial: a adoção do conceito de densidade industrial (número de indústrias por

Km²) no método proposto nesta pesquisa permite considerar a maior ou menor concentração industrial no cálculo do PP. Essa ponderação considera que a proximidade entre indústrias influencia o nível do PP da região. Nessa mesma linha de raciocínio, a Agência Ambiental Americana adota o “conceito bolha” como forma de compensação ambiental em regiões industrializadas (EPA, 2013b). As metodologias estudadas não levam em conta a densidade industrial ou qualquer outra variável relacionada com a concentração de indústrias.

- Simplicidade e flexibilidade do método: na geração das três cartas temáticas propostas, a simplicidade está presente, quer pelas regras de agrupamentos de dados e mapeamento, quer pela simplicidade e flexibilidade presentes na definição dos conjuntos de pertinência e regras de inferência na qual, de forma experimental, a abrangência dos conjuntos difusos de entrada pode ser ajustada pela simples alteração da função de pertinência e as regras de inferência, baseadas na estrutura SE – ENTÃO, também podem ser alteradas com facilidade. As metodologias estudadas normalmente associam regras mais complexas, baseadas em valores-padrão definidos por agências ambientais e não preveem flexibilidade na geração de resultados simulados, sejam esses representados por cartas temáticas ou não.



- Possibilidade de processamento de dados imprecisos ou difusos: o método proposto permite a manipulação de grandezas expressas através de conceitos difusos, como: pequeno, médio e grande, sem a necessidade de traduzi-los em números *crisp*. Tal característica, além de facilitar a compreensão da lógica envolvida devido ao uso de expressões linguísticas comuns, permite a considerar diferentes compreensões dos agentes envolvidos em relação às grandezas adotadas e, principalmente, é mais adequado para representar processos ambientais, em que os limites entre uma ocorrência e outra não são precisos. Os demais métodos ou metodologias existentes para a definição do PP de indústrias levam em conta somente dados *crisp*, baseados na lógica binária, e que muitas vezes não representam da forma adequada os processos ambientais. Exemplo disso está presente no trabalho de Moreno (2005), no qual as cartas temáticas são representadas por classes de PP de cada poluente, com mudanças abruptas entre uma classe e outra.

Do ponto de vista da representação do conhecimento, a carta temática resultante do método proposto apresenta elementos simples, mas que traduzem informações relevantes para a gestão ambiental. Tais informações, quando não apresentadas de forma gráfica e georreferenciada, não são fáceis serem percebidas e analisadas. Nessa representação do conhecimento através de cartas temáticas, o método buscou atender às regras lógicas da Semiologia Gráfica (Bertin, 2010). Para isso, faz uso predominante da variável visual COR, expressando com diferentes cores a proporcionalidade entre diferentes níveis de PP, representados na forma de variação contínua do PP, permitindo a identificação de regiões com diferentes níveis de PP de indústrias.

Na análise visual dos resultados, a carta temática resultante permite evidenciar regiões com diferentes potenciais poluidores no Estado de Santa Catarina, além de identificar a influência do PP de um município sobre os municípios vizinhos. Ao mesmo tempo, a carta resultante demonstra a importância de se considerar a densidade industrial na estimativa do PP, indo ao encontro do “conceito bolha”, critério de compensação ambiental usado pela Agência Ambiental dos Estados Unidos para regular a implantação de novos empreendimentos industriais e ampliações. Esse critério define que novos empreendimentos que pretendem se instalar ou funcionar em áreas saturadas devem comprovar previamente não somente o não aumento nos níveis de poluentes da área, mas também a adoção de medidas que proporcionem redução desses níveis de poluentes.

Na geração da carta temática, é possível intervir diretamente no processo ao se definir os conjuntos de pertinência e as regras de inferência difusa, facilitando

muito a capacidade de simulação de diferentes cenários. Esta flexibilidade é adequada quando se trata de processos ambientais, principalmente pela capacidade de processamento de variáveis linguísticas, que são de fácil compreensão, familiarizadas com o raciocínio humano e que muitas vezes representam conceitos vagos ou imprecisos, presentes no ambiente natural.

Como limitações do presente método, destaca-se o foco somente nas emissões de poluentes provenientes de indústrias classificadas nas seções B e C da CNAE, ou seja, indústrias extrativas e de transformação. Assim, diversas outras fontes emissoras de poluentes não foram consideradas, devido à falta de classificação dessas atividades quanto ao nível de PP.

Outra limitação, também evidenciada em outros métodos ou metodologias existentes, é a desconsideração de sistemas de controle de poluição adotados pelas indústrias, o que certamente superestima o PP. Uma possível alternativa para essa limitação seria a aplicação de um fator de correção baseado no nível tecnológico utilizado pela indústria, porém dependeria da disponibilidade de dados relativos à tecnologia adotada por cada indústria, o que parece não ser de fácil obtenção.

6. CONCLUSÕES

A popularização do uso de mapas na análise e disponibilização de dados tem incentivado o desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas, tanto para a iniciativa privada quanto para os governos.

A área ambiental tem cada vez mais recebido atenção por parte de pesquisadores no desenvolvimento de técnicas e ferramentas para diagnosticar, monitorar e gerir processos ambientais, principalmente em áreas antropizadas, em consonância com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA).

Em relação às indústrias, percebe-se que as dimensões territoriais do país, a quantidade e demais variáveis relacionadas dificultam muito o monitoramento da poluição efetiva ou potencial, oriunda dessa atividade econômica.

Em relação ao PP de indústrias, diversas instituições têm proposto métodos ou metodologias para a estimativa do PP, considerando a inviabilidade de se medir efetivamente tal indicador. Porém, tais métodos têm limitações para a aplicação no Brasil (Moreno, 2005; e Sor *et al.*, 2008).

O método para a estimativa do PP de indústrias apresentado neste trabalho é uma alternativa viável e representativa do PP de indústrias brasileiras, calculado a partir de dados econômicos fornecidos por órgão oficiais, medindo qualitativa e quantitativamente as variações no comportamento dos critérios estabelecidos.



O uso da Lógica Difusa como alternativa metodológica permitiu manipular termos linguísticos e diferentes graus de pertinência dos dados aos conjuntos difusos de entrada e saída do processo, através de ferramenta específica desenvolvida para tal.

Dessa forma, o método aqui apresentado pretende ser uma contribuição para a estimativa do PP de indústrias de uma região, através de um processo de baixo custo, flexível e de relativa facilidade de aplicação para a realidade brasileira, e que pode servir de instrumento de apoio à geração de políticas e programas públicos, planejamento e gestão ambiental.

Como trabalhos futuros, sugere-se a inclusão, nesse estudo, de outras seções da CNAE não contempladas no cálculo do PP industrial, como a seção D (Eletricidade e Gás), a seção E (Água, Esgoto, Atividades de Gestão de resíduos e descontaminação) e a seção F (Construção), também poluidoras e que necessitam de um monitoramento eficaz.

Da mesma forma, sugerem-se estudos visando considerar na estimativa do PP os sistemas de controle de poluição adotados pelas indústrias, o que certamente contribui para diminuir o PP das mesmas.

7. REFERÊNCIAS

BERTIN, J. (2010), *Semiology of Graphics: Diagrams, networks, maps*, trans. by William J. Berg. Redlands, ESRI Press, California.

BURROUGH, P. A. (1989), "Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation", *Journal of Soil Science*, v. 40, p. 477-492.

CETESB (2010), *Lei no 7.641, de 19 de Dezembro de 1991*, disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/estadual/leis/1991_Lei_Est_7641.pdf (Acesso em 16 de Setembro de 2010).

CONCLA (2014), *Comissão Nacional de Classificação*, disponível em: <http://www.cnae.ibge.gov.br/estrutura.asp> (Acesso em 5 de Fevereiro de 2014).

COSTA, L. C. (2010), *Aplicação do sistema de projeção de poluição industrial (Modelo IPPS): Estudo de caso – Bacia hidrográfica da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro*, Dissertação de Mestrado em Ciências da Saúde e Meio Ambiente, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, RJ.

EPA (2013a), *U. S. Environmental Protection Agency - AP-42 Compilation of air pollutant emission factors*, 5 ed., disponível em: <http://epa.gov/OTAQ/ap42.htm> (Acesso em 14 de janeiro de 2013).

EPA (2013b), *U. S. Environmental Protection Agency - Bubble concept*, disponível em: <http://www.epa.gov> (Acesso em 2 de maio de 2013).

FEE (2010), *Fundação de Economia e Estatística - Indicadores econômico-ambientais*, disponível em: http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/estatisticas/pg_indicadores_economicos_ambientais_metodologia.php (Acesso em 1 de julho de 2010).

FEE (2012), *Fundação de Economia e Estatística - Atividades industriais gaúchas: indicadores do potencial poluidor*, disponível em: http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/estatisticas/pg_indicadores_economicos_ambientais.php (Acesso em 4 de julho de 2012).

GIORDANO, R., LIERSCH, S. (2011), "A fuzzy GIS-based system to integrate local and technical knowledge in soil salinity monitoring", *Environmental Modelling & Software*, Vol.36, pp. 49-63, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815211002027> (Acesso em 13 de março de 2012).

HETTIGE, H.; MARTIN, P.; SINGH, M. and WHEELER, D. (1995), "The Industrial Pollution Projection System". Policy Research Department, *Policy Research Working Paper*, 1431, The World Bank, disponível em: http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1995/03/01/000009265_3970311121557/Rendered/PDF/multi_page.pdf (Acesso em 15 de setembro de 2010).

IBGE (2013), *Indicadores*, Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#economia (Acesso em 15 de janeiro de 2013).

ILANLOO, M. (2011), "A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran", *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol.19, pp. 668-676, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042811012997> (Acesso em 21 de junho de 2012).

JASIEWICZ, J. (2011), "A new GRASS GIS fuzzy inference system for massive data analysis", *Computers & Geosciences*, Vol.37, No.9, pp. 1525-1531, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300410003171> (Acesso em 13 de março de 2012).

MALINOWSKA, A. (2011), "A fuzzy inference-based approach for building damage risk assessment on mining terrains", *Engineering Structures*, Vol.33, No.1, pp. 163-170, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141029610003792> (Acesso em 21 de junho de 2012).

MORENO, R. A. M. (2005), *Estimativa de Potencial Poluidor nas Indústrias: o caso do Estado do Rio de Janeiro*, Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

PARK, I., JAEWON C., MOUNG J. L., and SARO L. (2012), "Application of an adaptive neuro-fuzzy inference system to ground subsidence hazard mapping", *Computers &*



Geosciences Vol.48, pp. 228–238, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300412000076> (Acesso em 21 de junho de 2012).

PNMA (2010), *Política Nacional do Meio Ambiente – Lei no 6.938/81*, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm (Acesso em 10 de setembro de 2010).

PRADHAN, B., SEZER, E. A., GOKCEOGLU, C., & Buchroithner, M. F. (2010), “Landslide Susceptibility Mapping by Neuro-Fuzzy Approach in a Landslide-Prone Area”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48 No.12, pp. 4164-4177.

RESHMIDEVI, T. V.; ELDOHO, T. I., JANA, R. (2009), “A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds”, *Agricultural Systems*, Vol.101, No.1, pp. 101–109, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308521X09000481> (Acesso em 8 de abril de 2012).

SANTIN, M. F. C. de L.; REIS, A. (2007), “Distribuição espacial da poluição industrial no Estado do Rio Grande do Sul”, *Revista CCEI – URCAMP*, Vol.11, No.20, pp.7-16.

SANTOS, C. (2005), *Prevenção à poluição industrial: identificação de oportunidades, análise dos benefícios e barreiras*, Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

SEBRAE/SC (2012), *Santa Catarina em números*, disponível em: <http://www.sebrae-sc.com.br/scemnumero/> (Acesso em 18 de abril de 2012).

SEBRAE/SC (2013), *Legislação, Critérios de classificação de empresas: EI - ME – EPP*, disponível em: <http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154> (Acesso em 15 de abril de 2013).

SOR, J. L.; CLEVELARIO JUNIOR, J.; GUIMARÃES, L. T.; Moreno, R. de A. M. (2008), *Relatório Piloto com aplicação da metodologia IPPS ao Estado do Rio de Janeiro: uma estimativa do potencial de poluição industrial do ar*, Rio de Janeiro, IBGE, disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/industrial_pollution_projection_system/ippj_rj.pdf (Acesso em 27 de março de 2010).

SPERB, R. M. (2002), *Fuzzy Intelligent Agent: A Hybrid Tool for Exploring Geospatial Processes in Coastal Zones*, Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

SPERB, R. M.; CABRAL, R. B., BUGHI, C. H. (2006), “Fuzzy agents: a hybrid tool for exploring coastal zone spatial processes”, *Journal of Coastal Research*, Vol.39, pp.1510-1514, disponível em: http://academia.edu/1175718/Fuzzy_agents_a_hybrid_tool_for_exploring_coastal_zone_spatial_processes (Acesso em 28 de setembro de 2010).

TIEN BUI, D., PRADHAN, B.; LOFMAN, O., Revhaug, I.; Dick, Oystein B. (2011), “Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS”. *Computers & Geosciences*, Vol.45, pp. 199–211, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300411003888> (Acesso em 21 de junho de 2012).

VAHIDNIA, M. H., ALI, A. ALESHEIKH, A., Alimohammadi, F., Hosseinali (2010), “A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping”, *Computers & Geosciences*, Vol.36, No.9, pp.1101-1114, disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300410001767> (Acesso em 30 de abril de 2012).

WHO (2000), *World Health Organization (Geneva), Reference Guide to Emission Estimation Models for Pollutant Release and Transfer Registers*, disponível em: <http://www2.unitar.org/cwm/publications/cbl/prtr/pdf/cat5/eemodels.pdf> (Acesso em 10 de setembro de 2010).

XIE, Y., SHA, Z., YU, M. (2008), “Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review”, *Journal of Plant Ecology*, Vol.1, No.1, pp. 9–23, disponível em: <http://jpe.oxfordjournals.org/content/1/1/9.full.pdf+html?sid=54c949dd-cc9d-4044-a345-b91a09e74216> (Acesso em 10 de julho de 2012).