

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR LITORAL

BRUNO MARTINS GURGATZ

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E VULNERABILIZAÇÃO SOCIAL: UMA
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL
UTILIZANDO LÓGICA *FUZZY*

MATINHOS

2015

BRUNO MARTINS GURGATZ

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E VULNERABILIZAÇÃO SOCIAL: UMA
PROPOSTA DE ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL UTILIZANDO LÓGICA
FUZZY

Trabalho de conclusão de curso de Bacharelado em Gestão Ambiental, da Universidade Federal do Paraná Setor Litoral, sob orientação do professor Dr. Rodrigo Arantes Reis, e co-orientações dos professores Dr. Emerson Joucoski e Dr. Daniel Canavese de Oliveira.

MATINHOS

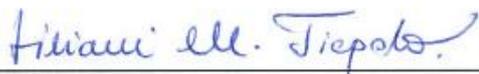
2015

ATA DE AVALIAÇÃO DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dezessete dias do mês de dezembro de dois mil e quinze, às quatorze horas, no Setor Litoral da Universidade Federal do Paraná, reuniu-se a banca avaliadora do trabalho de conclusão de curso, constituída pelos professores Liliani Marília Tiepolo e Luciano Fernandes Huergo, sob a presidência do Orientador, Professor Rodrigo Reis. O Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental, do aluno BRUNO MARTINS GURGATZ, sob o título: “ *Poluição Atmosférica e Justiça Ambiental: Uma proposta de análise de risco ambiental utilizando lógica Fuzzy* ”, obteve o conceito APL. O aluno deverá efetuar as correções solicitadas pela banca e entregar a versão final em formato digital via CD-ROOM, até o dia cinco de janeiro de dois mil e dezesseis, na Assessoria da Câmara do curso de Gestão Ambiental.



Rodrigo Reis
Professor Orientador



Liliani Marília Tiepolo
Membro da banca avaliadora



Luciano Fernandes Huergo
Membro da banca avaliadora



Bruno Martins Gurgatz

BACHARELADO EM
GESTÃO AMBIENTAL
Coordenação do Curso
UFPR - SETOR LITORAL

Dedico este trabalho a todos aqueles que acreditam em instalações portuárias como forma de desenvolvimento social, e a todos que lutam para que essa mentalidade se transforme.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a meus pais, Maria Madalena Martins Gurgatz e Heriberto Servian Gurgatz, que se sacrificaram para que eu não precisasse fazê-lo, me proporcionando o privilégio de poder estudar e trabalhar para o que realmente representa algo para mim. Além agradecer por todo carinho, apoio e proteção que me proporcionaram até então.

Agradeço a minha companheira, Jaqueline dos Santos Pontes, por cotidianamente me dar amor, apoio sentimental, estrutura e amizade. Você traz para mim a força e vontade de continuar seguindo em frente e realizar meu trabalho da maneira mais apaixonada possível. Desejo que esta parceria continue por toda vida.

Agradeço a meus amigos da república Delta – Alexandre “Chester”, Axel Bressan, Dennis Bresolim, Otávio Girardi, Elaine Paduch, Guilherme Neckel, Sidney VIKOU, Ruth Catão, Dyego Santiago, Doglair Albini – e por todos que passaram por este grupo incrível. Agradeço também a Flavia Carneiro e a Renata Pires por serem ótimas amigas tanto no trabalho quanto fora dele. Quero ver todos vocês num futuro próximo transformando a realidade da maneira mais positiva possível. Acreditem, sem vocês, nenhum trabalho teria valido a pena.

Agradeço a UFPR Litoral, por ser a primeira escola em que gostei de viver. Posso dizer com toda certeza que foi aqui que finalmente me encontrei no mundo. Também agradeço as instituições de fomento que subsidiaram o trabalho no Laboratório Móvel de Educação Científica, como a Fundação Araucária, o Ministério da Educação, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Agradeço a todos os servidores que contribuíram para minha formação tanto dentro quanto fora da sala de aula, como Liliani Tiepolo, Juliana Quadros, Mariana Nazário, Rodrigo Vassoler, Renato Bochicchio e ao mais novo integrante da equipe, Luciano Huergo.

Também agradeço a equipe do programa Laboratório Móvel de Educação Científica da UFPR Litoral, que me acolheram e proporcionaram todo o tipo de estrutura, tanto material quanto humana, para que eu pudesse realizar o meu trabalho. Neste sentido, agradeço aos pesquisadores Emerson Joucoski, Daniel Canavese, Paulo Saldiva e Regiani Carvalho, assim como o Laboratório de Poluição Atmosférica da FMUSP e os Laboratórios da UFPR Litoral por subsidiar o presente trabalho.

Em especial, agradeço ao professor, orientador e amigo Rodrigo Arantes Reis, que desde 2009 vem me proporcionando uma série de oportunidades, confiança e amizade que não encontro em outro lugar.

A todos que contribuíram para o que sou e o que faço hoje, encaro este trabalho como uma pequena e singela maneira de agradecer. Muito obrigado pela maravilhosa experiência que me proporcionam neste planeta.

Rua Nascimento Silva, 107
Eu saio correndo do pivete
Tentando alcançar o elevador.

Minha janela não passa de um quadrado
A gente só vê Sérgio Dourado
Aonde antes se via o Redentor.

É, meu amigo
Só resta uma certeza
É preciso acabar com a natureza
É melhor lotear o nosso amor.

Carta do Tom, Tom Jobim.

RESUMO

A poluição atmosférica é um dos maiores riscos ambientais da atualidade, e é crescente em países em desenvolvimento. Além disso, a exposição a poluição atmosférica apresenta relação com condições socioeconômicas precárias, devido a processos políticos, culturais e históricos do uso e ocupação da terra. Os portos possuem diversos equipamentos que são potenciais emissores de diversos poluentes. Grandes motores de navios, caminhões a diesel e trens são alguns exemplos. Devido ao considerável custo da implementação de redes de monitoramento direto, alternativas como biomonitoramento se mostram interessantes, consistindo em um meio de avaliar o estado ambiental de determinada área, utilizando organismos vivos ou partes destes, como cascas de árvore. Apesar de confiáveis, o uso de cascas como biomonitores apresentam alguns vieses, como por exemplo a dificuldade em determinar o período exposto, a possibilidade do poluente estar sendo absorvido pelas raízes, e a dificuldade em comparar com a exposição humana ao poluente. Desta forma, o uso de um método estatístico alternativo aos tradicionais se mostra interessante. Neste sentido, a lógica *Fuzzy* surge como uma ferramenta de grande potencial para se trabalhar o risco ambiental, por utilizar graus de pertencimento, ao invés de uma lógica binária, assim lidando de forma mais realista com a imprecisão ou incerteza dos dados obtidos. Este trabalho propõe um método de avaliar o risco ambiental proveniente da poluição atmosférica, integrando dados relativos a poluentes ambientais em cascas de árvore e lógica *Fuzzy*, validando os resultados a partir de indicadores de renda no município portuário de Paranaguá - PR. Os resultados indicam que os padrões de distribuição de risco apresentam uma relação inversa com o indicador de renda. Nota-se também que a distribuição das áreas de maior risco está relacionada com a distribuição das estruturas de armazenagem de fertilizantes, a estação ferroviária e o porto Dom Pedro II. Isso demonstra como o método proposto tem capacidade de identificar se realmente há uma resposta ambiental aos potenciais agentes poluidores dos territórios analisados. Conclui-se que o sistema desenvolvido apresentou capacidade de identificar a distribuição do risco, além de concluir que há um contexto de injustiça na região, aonde o risco ambiental relativo a poluição atmosférica é inversamente proporcional a renda da população.

Palavras chave: Poluição atmosférica, indicadores ambientais, injustiça ambiental.

ABSTRACT

Air pollution is a major environmental risk today, and is growing in developing countries. In addition, exposure to air pollution is correlated with poor socioeconomic conditions, due to political processes, cultural and historic use and occupation of the land. Ports have several structures that are potential emitters of pollutants. Large ship engines, diesel trucks and trains are some examples. Due to the considerable cost of direct monitoring networks implementation, alternatives like biomonitoring are interesting, being a way for evaluate the environmental status of a particular area using living organisms or their parts, such as barks. Although, the use of barks as biomonitors have some problems, such as the difficulty to determine the exposure period, the possibility of the pollutant being absorbed by the roots, and difficult to compare with human exposure. This way, the use of an alternative statistical method it's interesting. The fuzzy logic appears as a high potential tool for working with environmental risk, due its use of degrees of membership, instead of a binary logic. This paper proposes a method of evaluating the environmental risk from air pollution, integrating data on environmental pollutants in *Fuzzy* logic and tree bark, and validating the results from income indicators in the port city of Paranaguá - PR. The results indicate that the risk distribution patterns have an inverse relationship with the income indicator. Note also that the distribution of the highest risk areas is related to the distribution of fertilizer storage facilities, the railway station and the Dom Pedro II port. It's demonstrates how the proposed method is able to identify whether there really is an environmental response to potential polluters of the analyzed territories. It is concluded that the system was able to identify the distribution of risk, and that there is an injustice context in the region, where the environmental risk related to air pollution is inversely proportional to income levels.

Key words: Air pollution, environmental indicators, environmental injustice.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	MÉTODOS	13
2.1	PREMISSAS E PROPOSIÇÕES.....	13
2.2	ÁREA DE ESTUDO.....	15
2.3	OBTENÇÃO DOS INDICADORES.....	16
2.4	ARQUITETURA DO SISTEMA BASEADO EM LÓGICA <i>FUZZY</i>	17
2.5	VALIDAÇÃO.....	23
3	RESULTADOS.....	23
4	DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÕES	29
6	REFERÊNCIAS.....	31
7	ANEXO 1 - MEMORIAL DOS EIXOS PEDAGÓGICOS	37

1 INTRODUÇÃO

Na América Latina, cerca de 35 mil pessoas morrem anualmente devido a poluição atmosférica, proveniente principalmente do uso de combustíveis fósseis e indústrias (ROMIEU *et al.*, 2011). Mundialmente, estima-se que doenças relacionadas a poluição atmosférica como causa de óbito perfizeram sete milhões em 2012 e, devido a isso, é considerada o maior dos riscos ambientais atualmente (WHO, 2014).

A tendência de poluir a atmosfera é proeminente em países em desenvolvimento, enquanto tende a se estabilizar em países desenvolvidos, pois sabe-se que as forças motoras da poluição do ar são o crescimento econômico, urbanização, consumo de energia, incremento nos transportes, motorização, aumento da população urbana (CHEN; KAN, 2008) e industrialização. Em geral, os governantes tendem a ignorar a problemática da poluição atmosférica por fatores como falta de conhecimento, falta de políticas públicas adequadas, a visão pública que políticas de controle ambientais podem ser antieconômicas, e o fato de que os poucos que podem sofrer com tais regulações tem forte influência política, em geral maior do que os muitos que poderiam se beneficiar delas (MCGRANAHAN; MURRAY, 2012). Sabe-se que países com mais conhecimento desenvolvido na área resultam em leis mais rígidas e menores índices de poluição (FAJERSZTAJN *et al.*, 2013).

É notável que a crise ambiental é fruto de modelos de desenvolvimento que consideram o meio ambiente como um subsistema da economia, utilizando a natureza primeiramente como fonte de matéria prima e depois como esgoto do fluxo de produção, em um processo que não condiz com leis termodinâmicas básicas dos sistemas ecológicos (CAVALCANTI, 2012). Existe uma relação estreita entre desenvolvimento, ambiente e saúde (GALVÃO *et al.*, 2011). Neste sentido, o risco ambiental surge como uma forma de compreender como os processos produtivos decorrentes do modelo de desenvolvimento vigente contribuem para impedir que pessoas ou comunidades sejam mais saudáveis. Tais riscos são criados por ações políticas e de poder humanas, desconsiderando o valor daqueles que sofrem com tais modelos de desenvolvimento (PORTO, 2013).

A poluição atmosférica apresenta relação com condições socioeconômicas precárias, devido a processos políticos, culturais e histórico do uso e ocupação da terra (O'NEILL et al., 2003; MAKRI; STILIANAKIS, 2008), mesmo em países com condições econômicas avançadas (JERRETT, 2009). Em Estrasburgo, na França, foi encontrado uma relação positiva entre um índice de privação econômica e os níveis de Dióxido de Nitrogênio (NO₂) dos diversos bairros da região, ocorrendo provavelmente devido ao fato das áreas centrais, por mais que sejam mais valorizadas, em geral são alugadas (HAVARD *et al.*, 2009). Pearse *et al.* (2006), além de encontrarem um gradiente social quanto à exposição a poluição atmosférica, também encontraram evidências que sugerem que os grupos responsáveis por uma grande proporção das emissões, não são os mesmos expostos a estes poluentes, em um estudo realizado na Nova Zelândia. A proximidade de vias de tráfego, notadamente áreas que abrigam pessoas com menor renda, é um dos fatores que trazem riscos significantes à saúde das populações (LIN et al., 2002; BRAUER et al., 2002; GAUDERMAN et al., 2004).

O movimento social e político que estuda e luta contra a relação entre as desigualdades econômicas, raciais ou étnicas e a exposição a riscos ambientais, assim como a exclusão das minorias quanto políticas do meio ambiente, são conhecidos como “Justiça Ambiental”. Este conceito se consolida nos anos 1980, nos Estados Unidos da América, no contexto das lutas por igualdade racial. O marco histórico deste conceito ocorreu em 1982, quando os moradores afro-americanos da Carolina do Norte se opuseram a construção de um aterro de resíduos tóxicos nas proximidades (LAURENT, 2011). No Brasil, as primeiras pesquisas começam nos anos 1990, e a temática se consolida a partir da estruturação da Rede Brasileira de Justiça Ambiental (PORTO, 2005). Neste campo de estudo, a vulnerabilização social se dá quando as forças produtivas criam contextos vulneráveis, independente de como a população em questão se vê vulnerabilizada ou não.

Segundo Brulle e Pellow (2006), tais fenômenos ocorrem e se perpetuam devido ao que chamam de “Esteira de Produção do Capitalismo”, que cria problemas ecológicos por um mecanismo de auto-reforço baseado na produção e consumo. Também afirmam que a segregação racial é chave neste processo,

forçando a distribuição desigual dos riscos, principalmente nos Estados Unidos da América.

No campo das fontes de poluição atmosférica, os portos possuem diversos equipamentos que são potenciais emissores de diversos poluentes. Grandes motores de navios, caminhões a diesel e trens são alguns exemplos (BAILEY; SOLOMON, 2004). O diesel, utilizado amplamente nos processos portuários e no combustível de caminhões está diretamente relacionado ao desenvolvimento de asma, rinite (PANDYA *et al.*, 2002) e ao risco do desenvolvimento de câncer (SILVERMAN, 1998; DAWSON; ALEXEEFF, 2001). Este impacto também trás gastos monetários. Um estudo avaliou que são gerados 123 milhões de dólares por ano em custos ambientais para o porto de Kaohsiung, em Taiwan (BERECHMAN; TSENG, 2012).

Estudos recentes no município de Paranaguá, que abriga o maior porto graneleiro do Brasil, encontraram níveis de doenças respiratórias próximas a de grandes centros urbanos brasileiros (SPINELLI *et al.*, 2007; ANTONIACONI; MUNIZ, 2013). Outro estudo elaborou um mapa de risco identificando as vias de acesso e a área portuária como principais fontes de poluição atmosférica, através de líquens como bioindicadores (MOREIRA, 2011). Apesar destes esforços, ainda se mostram necessários estudos que avaliem a emissão, dispersão e impactos dos diversos poluentes na região.

Este trabalho objetivou o desenvolvimento de uma técnica que avalie o risco ambiental proveniente da poluição atmosférica através de indicadores acessíveis, visando subsidiar o poder público, pesquisadores da saúde pública e sociedade em geral com informações que auxiliem a tomada de decisão e subsidiem lutas relativas a justiça ambiental utilizando Paranaguá - Paraná como objeto de estudo.

2 MÉTODOS

2.1 PREMISSAS E PROPOSIÇÕES

Devido ao considerável custo da implementação de redes de monitoramento direto, alternativas como biomonitoramento se mostram interessantes, consistindo em um meio de avaliar o estado ambiental de

determinada área, utilizando organismos vivos. Considera-se biomonitor, um organismo que acumule poluentes em seus tecidos, agindo como amostrador ou concentrador de tais compostos, e que após serem expostos ao ambiente, possibilitem a quantificação laboratorial de seus poluentes (MARĆ *et al.*, 2015). Devido a sua ampla distribuição e capacidade de absorver poluentes atmosféricos, cascas de árvore vem sendo utilizadas como uma forma de identificar distribuição de metais em meio atmosférico em diversos estudos (SENHOU *et al.*, 2002; LAHD GEAGEA, MAJDI *et al.*, 2008; LAHD GEAGEA, M. *et al.*, 2008; CARNEIRO *et al.*, 2011; GUÉGUEN *et al.*, 2011). No Brasil, estudos validaram o uso de cascas como biomonitor, principalmente quanto a poluição proveniente de tráfego urbano (CARNEIRO *et al.*, 2011) e caracterização de atividade industrial (FERREIRA *et al.*, 2012).

Apesar de confiáveis, o uso de cascas como biomonitores apresentam alguns vieses, como por exemplo a dificuldade em determinar o período exposto, a possibilidade do poluente estar sendo absorvido pelas raízes, e a dificuldade em comparar com a exposição humana ao poluente (MARĆ *et al.*, 2015), desta forma, o uso de um método estatístico alternativo aos tradicionais se mostra interessante. Neste sentido, a lógica *Fuzzy* surge como uma ferramenta de grande potencial para se trabalhar o risco ambiental, por utilizar graus de pertencimento, ao invés de uma lógica binária, assim lidando de forma mais realista com a imprecisão ou incerteza dos dados obtidos (COUTINHO *et al.*, 2015). Além disso, os modelos *Fuzzy* são de fácil entendimento e de baixo custo de processamento (NASCIMENTO; ORTEGA, 2002), o que contribuiu para que esta técnica seja utilizada em trabalhos relativos a saúde pública e ambiental, em geral, agregando indicadores de saúde ambiental e modelos criados por *experts* de diversas áreas do conhecimento (PHILLIS; ANDRIANTIATSAHOLINIAINA, 2001; NASCIMENTO *et al.*, 2009; CHAVES, 2013; CANAVESE; ORTEGA, 2013; CANAVESE *et al.*, 2014; COUTINHO *et al.*, 2015).

A partir destas premissas, como proposto por Canavese *et al.* (2014), estruturou-se um grupo de trabalho com *experts* multidisciplinares - um Doutor em Saúde Pública, um Doutor em Bioquímica, um Doutor em Ensino de Ciências, e um estudante de Gestão Ambiental - que propuseram um método de avaliar o

risco ambiental proveniente da poluição atmosférica, integrando dados relativos a poluentes ambientais em cascas de árvore e lógica *Fuzzy*, validando os resultados a partir de indicadores de renda no município portuário de Paranaguá.

2.2 ÁREA DE ESTUDO

Paranaguá é a capital econômica do litoral paranaense. Abriga 54% dos habitantes da região, mesmo contando com somente 11% do território. Abriga o porto Dom Pedro II, que desde 1970 recebe investimentos para atuar no escoamento da produção de soja brasileira, se consolidando como um dos líderes do segmento (PIERRI *et al.*, 2006). Tais fatores, aliados a ausência de grandes polos industriais nos municípios do entorno, caracterizam Paranaguá como um modelo para estudos relativos a poluição atmosférica e vulnerabilidades socioambientais (REIS *et al.*, 2015).

Devido a sua ampla distribuição e relação com aglomerados urbanos, as escolas de ensino fundamental do município foram utilizadas como referência para os pontos de coleta. Foram selecionados 20 pontos de coleta, sendo 16 em escolas, e 4 extras em locais de interesse (X1, X2, X3, X4). Quanto aos extras foram: X1 (em frente ao porto); X2 (ao centro da área portuária); X3 (em área residencial, próximo ao acesso); X4 (ao centro da área industrial de fertilizantes). A figura 1 apresenta os pontos de coleta e as principais instituições de infraestrutura do município, que podem oferecer risco à saúde ambiental: duas localidades aonde se encontram armazéns de fertilizantes de grande porte, uma estação ferroviária industrial, voltada ao transporte de insumos químicos, as vias centrais, as rodovias de grande porte e o próprio porto Dom Pedro II.

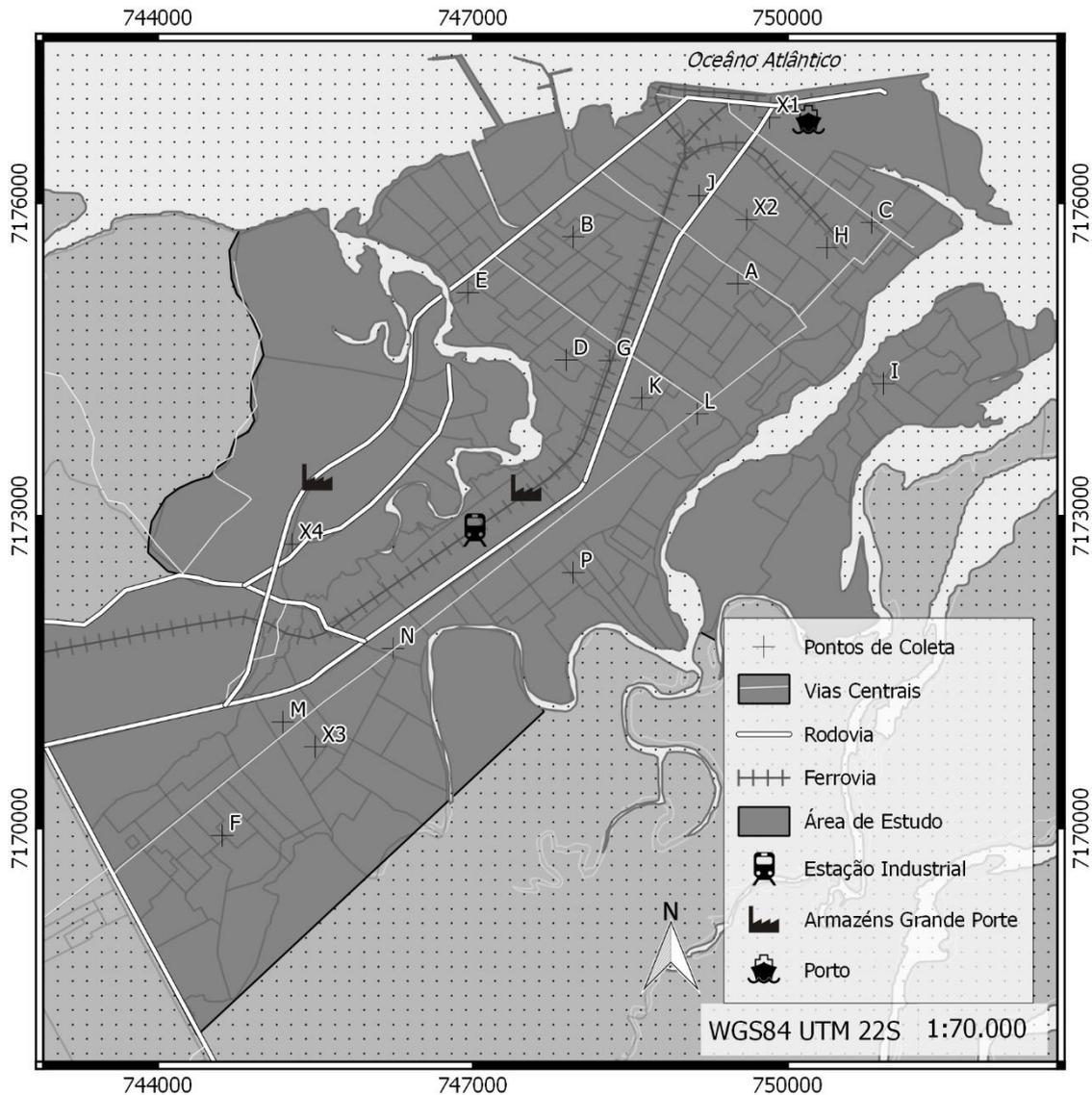


Figura 1: Mapa dos pontos de coleta e infraestrutura do município de Paranaguá. Os pontos de coleta foram selecionados a partir das escolas de ensino fundamentais localizadas na área de estudo. Também estão dispostas as vias de acesso, ferrovias, estações industriais, armazéns de grande porte e o porto Dom Pedro II, que são os principais pontos de potencial risco na região estudada. Fonte: O Autor.

2.3 OBTENÇÃO DOS INDICADORES

A obtenção dos indicadores se deu através da análise elementar de cascas de árvore. A espécie escolhida para obtenção dos valores de poluentes foi a *Terminalia catappa* (Sombreiro), devido a sua ampla utilização na arborização urbana. As amostras foram coletadas a cerca de 1,5 m - 2,5 m do solo em duplicata, utilizando uma faca de titânio puro, todas no mesmo dia. Logo após foram armazenadas em sacos de papel e suas coordenadas geográficas foram anotadas.

Em laboratório, as cascas foram limpas com escovas dentais de cerdas de nylon macias e raladas em ralador de titânio até ser possível obter partículas de 3 mm de espessura. Em seguida, cada amostra foi reduzida a pó usando um moinho vibratório (Frisch Pulverisette 0) e peneiradas, visando garantir a homogeneidade da partícula. Aproximadamente 0,5 g de cada amostra foi transformada em tabletes de 20 mm de diâmetro utilizando a aplicação de 15 toneladas de pressão por sessenta segundos. Para cada amostra foram feitos tabletes em duplicata.

Os compostos metálicos e não metálicos foram analisados por um Espectrômetro de Fluorescência de Raios X por Energia (EDX 700-HS, Shimadzu Corporation Analytical Instruments Division, Kyoto, Japan) no Laboratório Experimental de Poluição do Ar, do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. O instrumento utilizou gerador de Raios X (Rh-target tube), com voltagem de 5 kV a 50 kV, e corrente de 1 μ A a 1000 μ A. A radiação por Raios-X foi detectada por um detector Si (Li). Os espectros de emissão foram coletados em 10 mm de área nas amostras em um ambiente a vácuo. Cada tablete foi analisado em duplicata. Suas intensidades foram convertidas em concentrações elementares ($\mu\text{g.g}^{-1}$) de acordo com parâmetros de calibração SRM 1547 Peach Leaves (National Institute of Standards, Gaithersburg, MD, USA). Por fim, o balanço de massa foi realizado utilizando carbono em sua forma de celulose. A média dos valores obtidos por ponto de coleta foi utilizado para a definição dos resultados.

2.4 ARQUITETURA DO SISTEMA BASEADO EM LÓGICA *FUZZY*

O sistema desenvolvido para análise do risco ambiental se deu através de várias etapas. A figura 2 representa a operação do sistema, desde o procedimento de estruturação dos níveis de *inputs*, até a conclusão do estudo.

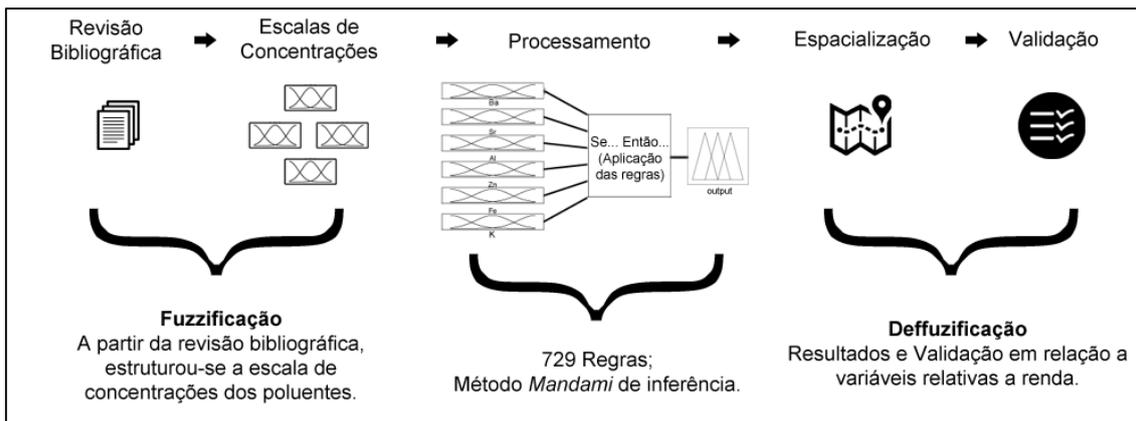


Figura 2: Diagrama representativo da operação do sistema *Fuzzy*.

O sistema é dividido em duas partes: A primeira - Fuzzificação - organiza o conhecimento provido pelos *experts* na forma de conjuntos *Fuzzy*, e trata ainda das regras que irão descrever as diferentes implicações das interações destes conjuntos.

O sistema desenvolvido para avaliar o risco ambiental proveniente de poluição atmosférica em Paranaguá - PR utilizando informações elementares de cascas de árvore considerou seis elementos para o desenvolvimento dos conjuntos *Fuzzy*. Bário (Ba), Estrôncio (Sr), Alumínio (Al) e Zinco (Zn) foram escolhidos devido a sua reconhecida relação com tráfego (CARNEIRO et al., 2011; GUÉGUEN; STILLE; DIETZE; et al., 2012). Ferro (Fe) foi incluído devido a sua relação com a atividade ferroviária (GEHRIG et al., 2007), e Potássio (K) devido a presença de indústrias relacionadas a fertilizantes, os quais possuem este elemento em sua composição.

Visando fundamentar de maneira sistematizada a criação dos conjuntos pelos *experts*, optou-se por realizar uma revisão bibliográfica que integre o conhecimento disponível relativo a composição de cascas de árvore como indicador de poluição atmosférica. A escala de concentrações encontrada na literatura baseou a tomada de decisões, que definiu como os elementos seriam classificados em conjunto. A partir disto, o limite máximo designado para classificação de baixa concentração de contaminantes foi atribuído ao maior valor descrito para uma área considerada controle pela bibliografia. Este estudo não utilizou áreas controles próprias devido a não existência da espécie utilizada em ambiente natural. Da mesma maneira, o limite mínimo designado para

classificação de alta concentração de contaminantes foi considerado o menor valor encontrado para áreas consideradas impactadas nos estudos consultados. De maneira complementar, os valores considerados como média concentração de poluentes foram aqueles encontrados entre os limites máximos e mínimos anteriormente descritos, conforme Tabela 1. A parte inferior da tabela apresenta a escala criada pelos experts subsidiada pelos dados descritos na parte superior.

Local	Ba		Sr		Al		Fe		Zn		K		Spp.	Ref.
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
Reino Unido	15,9	210,0	32,3	117,0	101,0	937	27,8	1180	3,7	107,0			<i>Prunus sargentii</i> e <i>Acer saccharum</i>	(SUZUKI, 2006)
Vale do Reno	20,6	1907	10,8	163,3	214,3	3745	181,4	10650	27,8	1336	1150	8573	Árvore <i>Tilla</i>	(GUÉGUEN; STILLE; LAHD GEAGEA; et al., 2012)
Argentina	11,8	73,0			389,0	949	181,0	1170	7,2	54,7**			<i>Morus Alba</i>	(PERELMAN <i>et al.</i> , 2010)
Nordeste Brasileiro			20,0	168,0	158,0	8438					1130	10827	Diversas	(FERREIRA <i>et al.</i> , 2012)
São Paulo, Brasil					381,5	1949	228,8*	6611	58,8	157,7	1750	8400	<i>Bauhinia blakeana</i>	(CARNEIRO <i>et al.</i> , 2011)
Bosnia e Herzegovina							184,0	1648	17,6	168,0			<i>Tilia</i> sp.	(ŠKRBIĆ <i>et al.</i> , 2012)
Polônia							89,0	129**	41,0	115,0			<i>Robinia pseudoacacia</i>	(SAMECKA-CYMERMAN <i>et al.</i> , 2009)
Nigéria							209,0	659	10,2	60,4			<i>Terminalia catapa</i>	(OLAJIRE; AYODELE, 2003)
Alemanha e França Cidades Europeias							181,0	10117	49,0	1336			<i>Tili</i>	(GUÉGUEN <i>et al.</i> , 2011)
							152,2	327,3					<i>Pinus nigra</i>	(SAWIDIS <i>et al.</i> , 2011)
Escala Criada	Ba		Sr		Al		Fe		Zn		K			
Baixo	0 - 15,9		0 - 32,3		0 - 101		0 - 209		0 - 10,2		0 - 1750			
Médio	15,9 - 73,0		32,3 - 117		101 - 937		209 - 327		10,2 - 60,4		1750 - 8400			
Alto	Up to 73,0		Up to 117		Up to 937		Up To 327		Up to 60,4		Up to 8400			

Tabela 1: Valores dos elementos Ba, Sr, Al, Fe, Zn e K ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) encontrados em casca de árvore por diversos estudos. A parte inferior da tabela apresenta a escala criada pelos *experts* através dos dados acima descritos. A escala desenvolvida caracteriza a baixa concentração de contaminantes como o maior valor descrito para uma área considerada controle pela bibliografia. Da mesma maneira, o limite mínimo designado para classificação de alta concentração de contaminantes foi considerado o menor valor encontrado para áreas consideradas impactadas. Os valores considerados como média concentração de poluentes foram aqueles encontrados entre os limites máximos e mínimos. * Valor não referente a área controle. ** Valor não referente a área poluída.

A partir dos dados dispostos, a equipe criou os conjuntos *Fuzzy*. A figura 3 apresenta os conjuntos desenvolvidos para os elementos indicadores de poluição atmosférica por diversas fontes. Neste processo há uma transformação de valores numéricos para termos que estão mais próximos da lógica humana, que não é baseada em números, mas é voltada para categorias, como alto, médio ou baixo, fugindo da lógica binária clássica (CANAVESE et al., 2014).

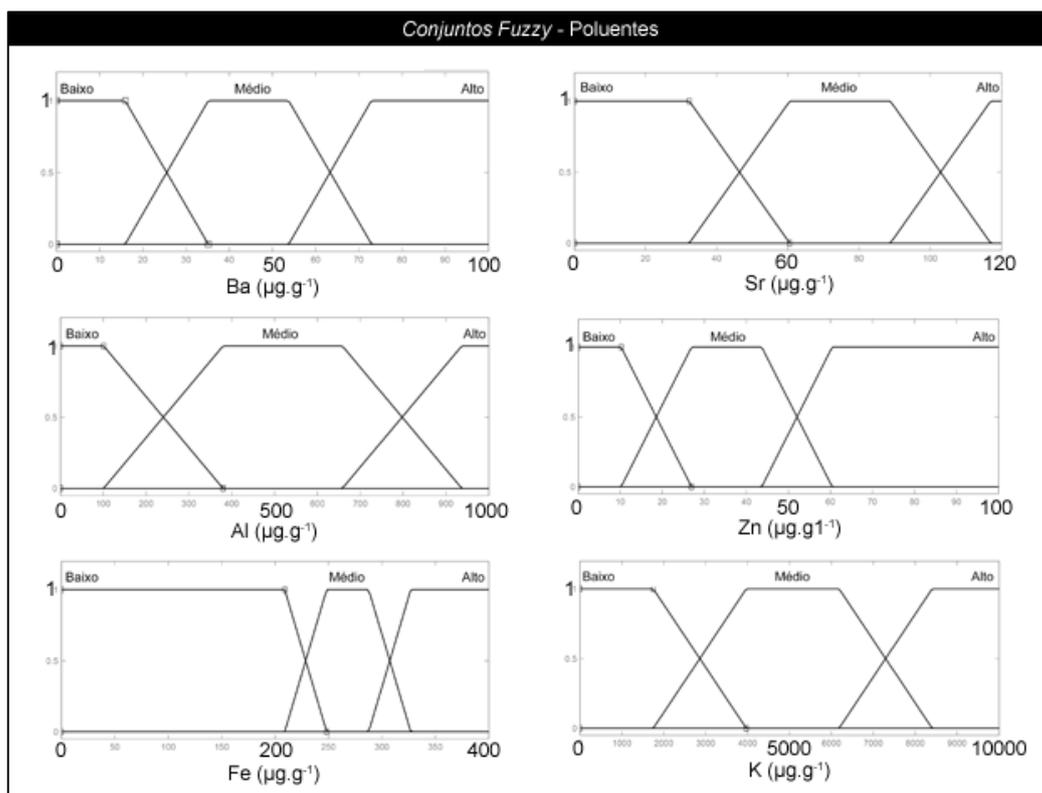


Figura 3: Parte inicial do processo (Fuzzificação), onde os conjuntos *Fuzzy* são criados para integrar o conhecimento disponível sobre a quantificação dos indicadores.

Sistemas *Fuzzy* utilizam um sistema de regras condicionais “Se - Então” para integrar os indicadores. Tais regras buscam descrever situações a partir do conhecimento e associações dos experts, buscando trabalhar com todas as possibilidades de um fenômeno. A estrutura das regras trabalham com antecedentes (descrevendo as condições) e consequentes (descrevendo a ação resultante), como no seguinte exemplo (OLIVEIRA, 2012):

SE (antecedente) ENTÃO (consequente)

Caso ainda seja necessário incluir diversos antecedentes, conectivos como “E” e “OU” podem ser utilizados. A base de regras precisa abarcar todas

as possibilidades de relações entre os conjuntos, portanto, esta é a parte que demanda mais trabalho na composição do sistema, considerando que quanto mais conjuntos de entrada, maior o número de regras a serem desenvolvidas. Foram necessárias 729 regras para dar conta de todas as combinações dos conjuntos possíveis neste trabalho.

No sistema proposto, programou-se as possíveis combinações entre os conjuntos e qual será a resposta para tais combinações, como exemplo: Se o elemento Ba é BAIXO, Sr é MÉDIO, Al é MÉDIO, e Zn é ALTO, Fe é MÉDIO, K é BAIXO então *output* é ALTO. Optou-se por dar o mesmo peso aos poluentes, sendo que a acumulação de valores é que determina o resultado final.

A segunda parte do processo - defuzzificação - utiliza as regras desenvolvidas para gerar um valor numérico que representa a informação obtida pelo conjunto de saída, que é obtido através do cálculo do centro de área dos operadores ativos. Esta parte é importante para ter um valor quantificável e comparável a outras bases.

Finalmente, o *output* com as classificações é gerado, aqui chamado de Risco. Definiu-se cinco classificações, sendo estas: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Deste modo, o resultado obtido vem em duas formas: um valor numérico, que surge a partir do centro da área dos operadores ativos durante o processo, e a classificação deste valor, que se dá a partir da observação de qual conjunto o valor numérico apresenta maior pertencimento como descrito na figura 4.

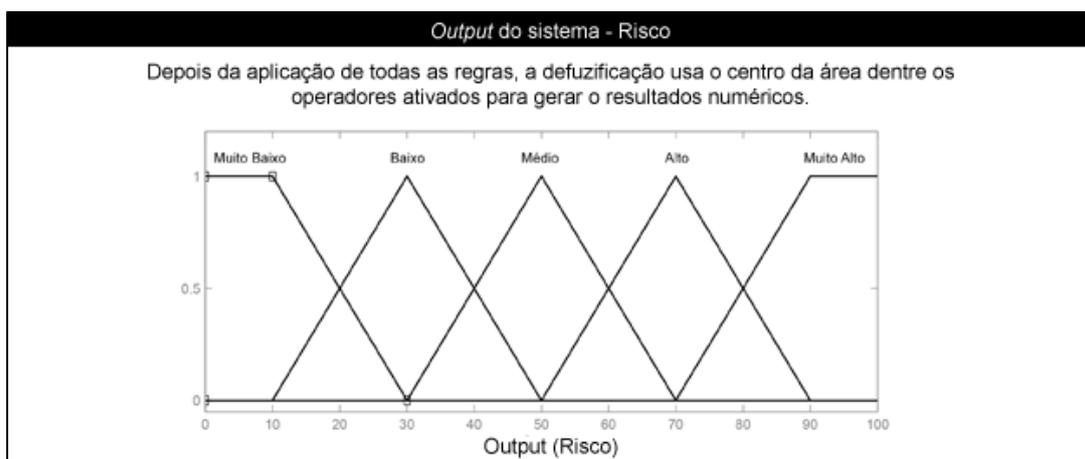


Figura 4: Output de Risco do sistema produzido. Foram criadas 5 classificações, que vão desde Muito Baixo (0) até Muito Alto (100).

2.5 VALIDAÇÃO

Visando compreender a relação entre o risco ambiental e a renda da população, procurou-se validar o sistema realizando-se uma Análise de Variância quanto aos resultados obtidos de Risco e os valores de renda por responsável do domicílio, através da média por setor censitário do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Para a execução dos processos relativos ao *Fuzzy* foi utilizado o software MATLAB (THE MATHWORKS INC., 2000), e para o processamento geográfico de dados foi utilizado o software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015). Para os outros processos matemáticos e gráficos foi utilizado o programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

3 RESULTADOS

Os resultados encontrados para os contaminantes em cascas de árvore estão descritos na Tabela 2, assim como os dados brutos relativos aos resultados da cascas e o indicador de renda utilizado. Visando ilustrar de maneira espacial, a interpolação entre os resultados da metodologia proposta e a variável Renda do Responsável do domicílio por setores censitários do IBGE em 2010 estão apresentados nas figuras 5 e 6.

Cod.	Lat.*	Long.*	Ba	Sr	Al	Zn	Fe	K	Valor Defuzificado	Risco	Renda (R\$)
M	745190	7171020	22,6	47,7	41,7	11,5	37,7	1760,0	25,5	Baixo	2566,00
B	747958	7175679	55,5	49,0	78,1	28,9	104,7	2480,0	41,5	Médio	1267,00
F	744613	7169931	145,2	37,2	151,0	98,8	184,2	2165,0	70,0	Alto	1744,00
I	750913	7174270	38,5	71,4	43,6	13,4	49,9	980,0	34,6	Baixo	867,00
N	746240	7171727	106,4	44,1	150,9	36,8	226,2	1750,0	50,0	Médio	1902,00
J	749156	7176074	57,4	29,2	143,1	41,8	139,2	1770,0	34,7	Baixo	4002,00
X1	749827	7176824	186,0	40,8	180,5	28,0	302,0	2490,0	57,8	Médio	1231,00
X2	749610	7175844	79,1	34,8	67,9	12,0	101,6	1430,0	50,0	Médio	2919,00
X3	745498	7170781	224,3	25,9	109,9	15,9	71,3	660,0	50,0	Médio	2092,00
X4	745278	7172728	165,7	23,4	203,0	32,7	240,6	7780,0	63,4	Alto	496,00
C	750800	7175816	280,7	40,0	305,5	20,5	353,5	420,0	70,0	Alto	673,00
H	750376	7175575	72,3	78,8	97,6	20,5	117,7	780,0	48,8	Médio	3143,00
L	749138	7173980	121,3	65,7	137,2	43,6	228,0	420,0	50,0	Médio	1953,00
D	747891	7174497	144,8	79,7	141,4	26,9	573,6	1430,0	70,0	Alto	527,00
P	747957	7172455	160,3	112,7	179,9	25,6	234,6	1010,0	65,8	Alto	1542,00
A	749525	7175230	94,4	31,8	115,6	32,3	151,7	1820,0	50,0	Médio	2854,00
G	748303	7174492	106,5	34,8	189,1	33,9	291,8	7365,0	62,1	Alto	1560,00
K	748609	7174131	103,2	58,8	89,9	27,5	122,7	1610,0	50,0	Médio	2244,00
E	746954	7175143	330,4	25,7	168,0	21,0	202,4	4540,0	50,0	Médio	1911,00

Tabela 2: Pontos de coleta com suas respectivas coordenadas, os resultados da análise elementar de casca, o valor defuzificado do processo, a classificação de risco que melhor se aplica a este valor, e a renda média do responsável por domicílio do setor censitário aonde se localiza o ponto, segundo a base do IBGE. “*”: Datum WGS84 22S.

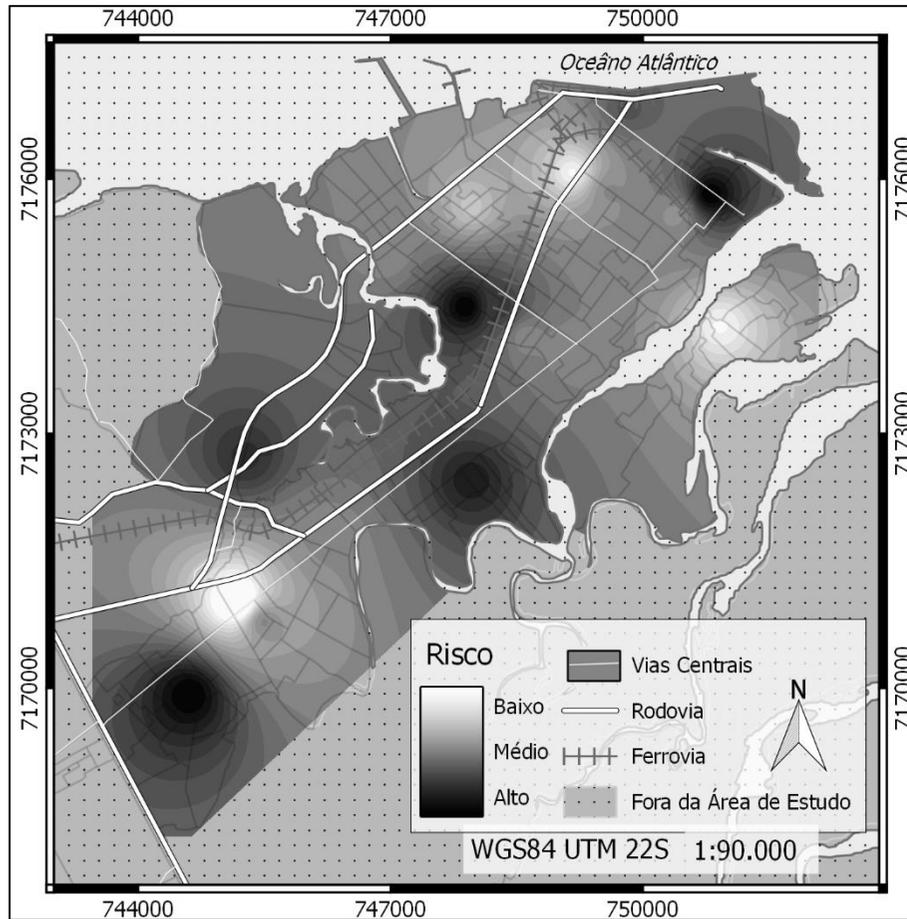


Figura 5: Mapa da distribuição do Risco através de cascas de árvore e lógica Fuzzy. Dados interpolados através do inverso do quadrado da distância.

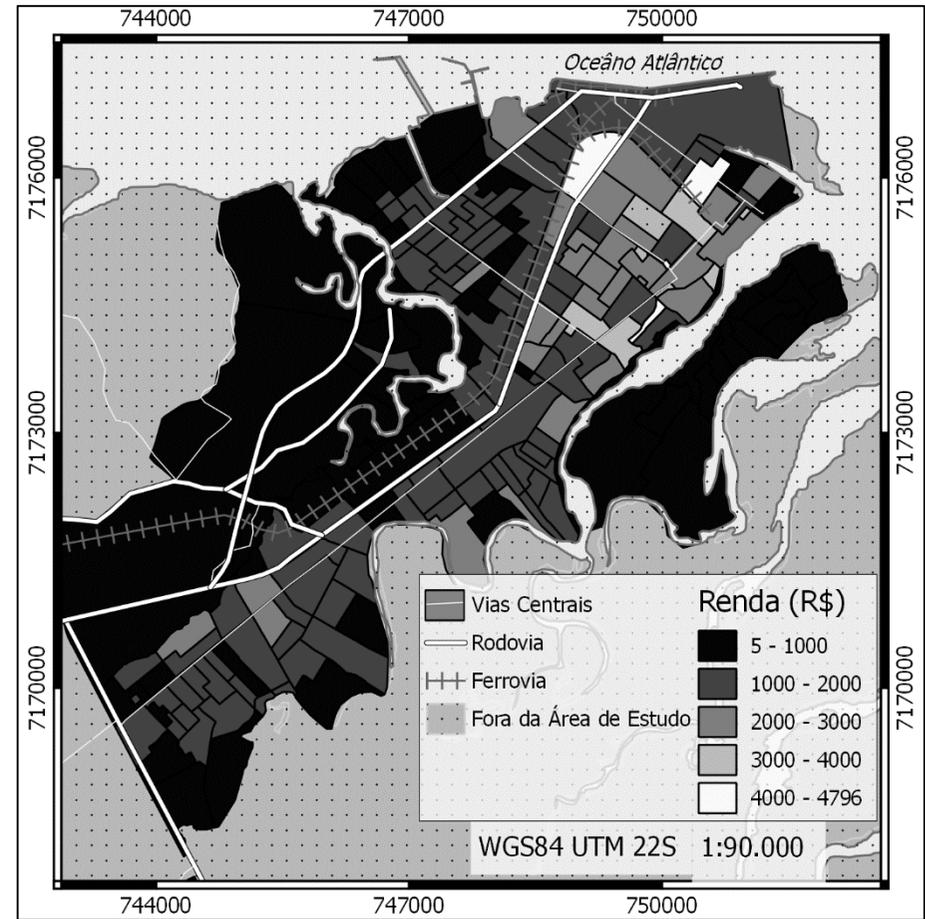


Figura 6: Mapa da distribuição da Renda do responsável por domicílio do IBGE.

Nota-se uma sobreposição nos padrões de distribuição de risco, em uma relação inversa com o indicador de renda. Porém, é notável que este padrão não ocorre na região da Ilha de Valadares, na porção leste da área de estudo. A região, representada pelo ponto I, apresentou indicador de risco Baixo (34,6) e um dos menores indicadores de renda encontrados (R\$ 867,00).

Visando determinar a existência de diferenças significativas entre médias de renda entre os níveis de risco, realizou-se uma Análise de Variância entre a distribuição da classificação de Risco e Renda, comparando os resultados com e sem a Ilha de Valadares. Para avaliar a significância entre estas médias, realizou-se o teste de Tukey da mesma forma. Tais resultados são apresentados na tabela 3.

Teste	Variáveis	Com Valadares	Sem Valadares
ANOVA	Classificação de Risco e Renda	0,0334 *	0,00212 **
	Baixo-Alto	0,0672675	0,0028177 **
Tukey	Médio-Alto	0,0542063	0,0188983 *
	Médio-Baixo	0,8151595	0,1027423
Significância	‘*’ 0,05	‘***’ 0,01	

Tabela 3: Resultados das análises estatísticas entre Classificação de Risco e o indicador de Renda para os pontos de análise.

Os testes estatísticos apresentam diferenças significativas entre os resultados das análises com Valadares e sem os dados da Ilha. A partir do teste de Turkey, foi possível observar que há diferenças significativas entre as classificações “Baixo” e “Alto”, assim como “Médio e Alto” ($p < 0.05$). Quanto a “Médio” e “Baixo”, a diferença não apresenta um valor altamente significativo ($p < 0.10$), provavelmente devido ao reduzido valor amostral na categoria “Baixo”. Um boxplot entre a classificação de risco e renda, sem os dados de Valadares, foi desenvolvido para ilustrar as diferenças de médias entre os resultados, aonde quanto maior o risco, menor a média de renda (figura 7).

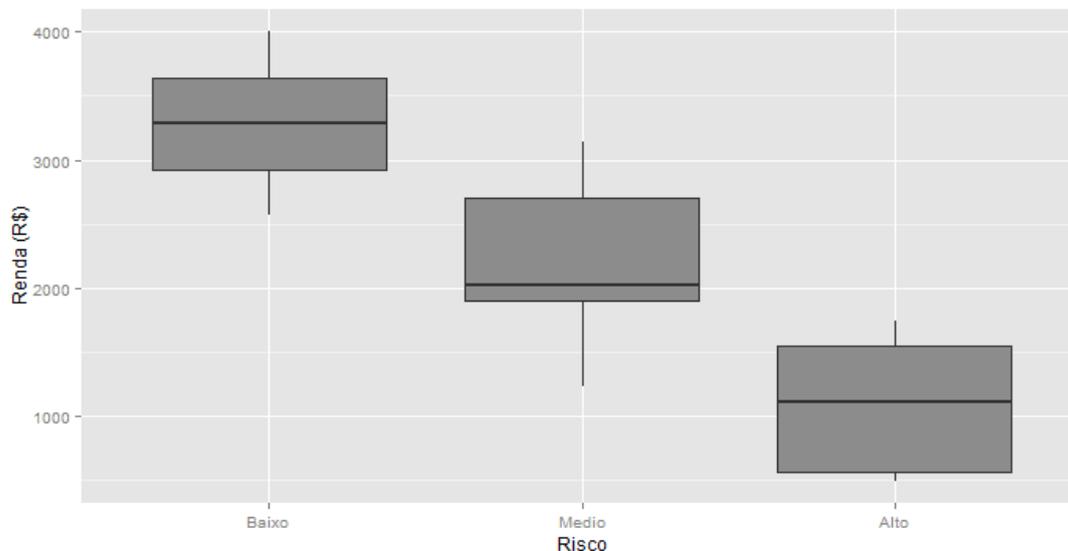


Figura 7: Boxplot demonstrando as diferenças de médias entre a renda dos grupos de risco Baixo, Médio e Alto. Nota-se que quanto mais alto o nível de risco, menor a renda do setor censitário.

4 DISCUSSÃO

A utilização de cascas de árvore como indicador de poluição atmosférica já é um método consolidado (LAHD GEAGEA, M. et al., 2008; CARNEIRO et al., 2011; GUÉGUEN et al., 2011; FERREIRA et al., 2012). Contudo, os compostos encontrados são, em geral, tratados de forma isolada. Além disso, são escassos os trabalhos que compreendem estes indicadores a partir da distribuição dos riscos nos diferentes estratos socioeconômicos, focando majoritariamente na localização das possíveis fontes de poluição. Neste trabalho foi proposto um método de avaliar o risco ambiental proveniente da poluição atmosférica utilizando cascas de árvore e lógica *Fuzzy*, e como resultado, compreender se a vulnerabilidade socioeconômica é um fator que está relacionado a exposição a riscos ambientais no município de Paranaguá - PR.

Em geral, trabalhos que utilizam metodologia *Fuzzy* utilizam indicadores como saneamento, coleta de lixo, suprimento de água (CANAVESE; ORTEGA, 2013; CANAVESE et al., 2014), doenças respiratórias (CHAVES, 2013), doenças cardiovasculares (COUTINHO et al., 2015), densidade populacional, área florestada e indicadores de desenvolvimento (PHILLIS; ANDRIANTIATSAHOLINIAINA, 2001). Neste trabalho, utilizou-se dados diretos de poluentes presentes em casca de árvore. A metodologia se mostrou útil para

tratar a incerteza relativa ao organismo matriz das análises, o qual não apresenta padronização nos diversos estudos disponíveis na literatura.

Carneiro *et al.* (2011) apresentam resultados que mostram como as cascas de árvore são indicadores funcionais para determinar o impacto do alto tráfego quanto a poluição atmosférica através de um gradiente de curta distância. Sabe-se também que a queima de combustíveis fósseis para transporte é uma das principais fontes de poluentes (KAMPA; CASTANAS, 2008). Estes resultados são reforçados pelos resultados encontrados para a Ilha de Valadares (Ponto I). Esta região conta com uma restrição ao tráfego, aonde somente veículos de emergência tem acesso permitido (TOLEDO, 2010), o que provavelmente justifica que o risco ambiental relativo a poluição atmosférica na região apresente níveis baixos, indo na contramão do padrão encontrado nos outros pontos do estudo, além de confirmar a responsabilidade do tráfego para a poluição atmosférica. Os resultados estatísticos apresentam uma diferença representativa nos resultados com e sem a Ilha de Valadares, o que mostra que a falta de tráfego na região influencia de maneira sensível a qualidade do ar na região. Vale ressaltar que o resultado de risco baixo no ponto I é relacionado a indicadores de poluição atmosférica, o que não quer dizer que a Ilha de Valadares não apresente riscos socioambientais de outras naturezas, não avaliados neste estudo.

Vários estudos corroboram a teoria que, em geral, um menor *status* socioeconômico está relacionado a maior exposição a poluentes atmosféricos (O'NEILL *et al.*, 2003; APELBERG *et al.*, 2005; GRINESKI *et al.*, 2007; PEARCE; KINGHAM, 2008; HAVARD *et al.*, 2009; OCCELLI *et al.*, 2016). Dois estudos na França demonstraram a relação inversa entre poluição atmosférica e status socioeconômico em estudos muito bem delineados (HAVARD *et al.*, 2009; OCCELLI *et al.*, 2016). No Brasil, existem poucos estudos neste aspecto. Para a cidade de São Paulo, encontrou-se um resultado distinto: A população de melhor nível socioeconômico reside em áreas mais poluídas. Tal resultado se dá principalmente pela extrema urbanização desta cidade, aonde as áreas com maior tráfego concentram grande parte da infraestrutura de serviços e conseqüentemente maior valor imobiliário (HABERMANN *et al.*, 2014). Este estudo apresenta uma realidade distinta desta: Paranaguá é uma cidade

portuária e industrial, aonde sugere-se que provavelmente os conglomerados de pobreza se localizem próximo aos terminais e indústrias, distantes das áreas altamente urbanizadas.

Um estudo realizado na Califórnia identificou que crianças negras de baixa renda tem mais probabilidade de viverem em quadras com alto tráfego (GUNIER *et al.*, 2003). Este estudo avalia somente a renda, porém, sugere-se que são necessários mais estudos para compreender todas as nuances socioeconômicas, sejam étnicas, de renda, de gênero ou de organização do trabalho que podem permear a questão relativa a injustiças ambientais, visando identificar a origem da distribuição apresentada neste trabalho. Também sugere-se que futuros trabalhos estabeleçam relações dos indicadores de risco com variáveis de saúde e ambiente, como prevalências e internações por doenças respiratórias, saneamento e qualidade de água.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho contribui para a construção do conhecimento relativo ao risco ambiental de duas formas: 1 - Propondo um método para análise do risco ambiental relativo a poluição atmosférica usando análise de composição de cascas de árvore e lógica *Fuzzy*, devido ao menor custo se comparado a métodos diretos de monitoramento (MARĆ *et al.*, 2015) e processamento de dados; 2 - dando os primeiros passos no conhecimento relativo a injustiça ambiental no contexto portuário de Paranaguá.

Considera-se o método proposto como válido. Os resultados que ele apresenta trazem informações relevantes quanto as respostas ambientais a infraestruturas provedoras de risco, assim como corrobora com as diversas teorias que tratam da relação inversa entre renda e exposição a poluentes.

Pretende-se contribuir para a gestão territorial sustentável dos municípios, fornecendo uma ferramenta para a tomada de decisão relativa aos riscos ambientais provenientes da poluição atmosférica, passível de ser utilizada em estratégias de parceria entre o ambiente acadêmico e poder público. Espera-se tornar os processos decisórios mais qualificados, procurando integrar a técnica (a partir das análises laboratoriais diretas) e o conhecimento dos *experts* da região em mapas de risco ambiental como produto final. A produção de

informação relativa a poluição atmosférica é um requisito básico para que autoridades locais resolvam conflitos entre o modelo de desenvolvimento vigente e a saúde humana (FAJERSZTAJN *et al.*, 2013).

Quanto aos avanços relativos ao estado da justiça ambiental em Paranaguá, este trabalho contribui para concluir que há um contexto de injustiça na região, aonde o risco ambiental relativo a poluição atmosférica é inversamente proporcional a renda da população.

Exalta-se aqui que o estado atual da região é fruto de um modelo de desenvolvimento focado na exportação global de *commodities*, que está fortemente conectado a criação de contextos vulneráveis por toda América Latina (PORTO; MILANEZ, 2009). Prevenir estes riscos, então, significa também buscar novos modelos de desenvolvimento e configurações históricas (PORTO, 2013). Um outro desenvolvimento não é somente possível, mas necessário.

6 REFERÊNCIAS

ANTONIACONI, G.; MUNIZ, K. A. **Prevalência de Asma e Rinite em Estudantes de 13 e 14 anos no município de Paranaguá-PR**, 2013. Matinhos - PR: TCC(Bacharelado em Saúde Coletiva) - Universidade Federal do Paraná Setor Litoral.

APELBERG, B. J.; BUCKLEY, T. J.; WHITE, R. H. Socioeconomic and Racial Disparities in Cancer Risk from Air Toxics in Maryland. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 6, p. 693–699, 2005.

BAILEY, D.; SOLOMON, G. Pollution prevention at ports: clearing the air. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 24, n. 7 á 8, p. 749–774, 2004.

BERECHMAN, J.; TSENG, P.-H. Estimating the environmental costs of port related emissions: The case of Kaohsiung. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 17, n. 1, p. 35 – 38, 2012.

BRAUER, M.; HOEK, G.; VLIET, P. VAN; et al. Air Pollution from Traffic and the Development of Respiratory Infections and Asthmatic and Allergic Symptoms in Children. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 166, n. 8, p. 1092–1098, 2002.

BRULLE, R. J.; PELLOW, D. N. ENVIRONMENTAL JUSTICE: Human Health and Environmental Inequalities. **Annual Review of Public Health**, v. 27, n. 1, p. 103–124, 2006.

CANAVESE, D.; ORTEGA, N. R. S. A proposal of a fuzzy rule-based system for the analysis of health and health environments in Brazil. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 7–14, 2013.

CANAVESE, D.; ORTEGA, N. R. S.; QUEIRÓS, M. The assessment of local sustainability using fuzzy logic: An expert opinion system to evaluate environmental sanitation in the Algarve region, Portugal. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 711–718, 2014.

CARNEIRO, M. F. H.; RIBEIRO, F. Q.; FERNANDES-FILHO, F. N.; et al. Pollen abortion rates, nitrogen dioxide by passive diffusive tubes and bioaccumulation in tree barks are effective in the characterization of air pollution. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, n. 2, p. 272–277, 2011.

CAVALCANTI, C. Sustainability: a mantra or a moral choice? An ecological and economic approach. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 35–50, 2012.

CHAVES, L. E. **Modelos computacionais fuzzy e neuro-fuzzy para avaliarem os efeitos da poluição do ar**, 26. jul. 2013. Doutorado, Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/105352>>. Acesso em: 22/10/2015.

- CHEN, B.; KAN, H. Air pollution and population health: a global challenge. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 13, n. 2, p. 94–101, 2008.
- COUTINHO, K. M. V.; RIZOL, P. M. S. R.; NASCIMENTO, L. F. C.; et al. Modelo fuzzy estimando tempo de internação por doenças cardiovasculares. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 20, n. 8, p. 2585–2590, 2015.
- DAWSON, S. V.; ALEXEEFF, G. V. Multi-Stage Model Estimates of Lung Cancer Risk from Exposure to Diesel Exhaust, Based on a U.S. Railroad Worker Cohort. **Risk Analysis**, v. 21, n. 1, p. 1–18, 2001.
- FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; BARROZO, L. V.; SALDIVA, P. Air pollution: a potentially modifiable risk factor for lung cancer. **Nature Reviews Cancer**, v. 13, n. 9, p. 674–678, 2013.
- FERREIRA, A. B.; SANTOS, J. O.; SOUZA, S. O.; JÚNIOR, W. N. S.; ALVES, J. DO P. H. Use of passive biomonitoring to evaluate the environmental impact of emissions from cement industries in Sergipe State, northeast Brazil. **Microchemical Journal**, v. 103, p. 15–20, 2012.
- GALVÃO, L. A. C.; FINKELMAN, J.; HENAO, S. A. V. **Determinantes ambientais e sociais da saúde**. Rio de Janeiro - RJ: Fundação Oswaldo Cruz/Editora Fiocruz, 2011.
- GAUDERMAN, W. J.; AVOL, E.; GILLILAND, F.; et al. The Effect of Air Pollution on Lung Development from 10 to 18 Years of Age. **New England Journal of Medicine**, v. 351, n. 11, p. 1057–1067, 2004.
- GEHRIG, R.; HILL, M.; LIENEMANN, P.; et al. Contribution of railway traffic to local PM10 concentrations in Switzerland. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 5, p. 923–933, 2007.
- GRINESKI, S.; BOLIN, B.; BOONE, C. Criteria Air Pollution and Marginalized Populations: Environmental Inequity in Metropolitan Phoenix, Arizona*. **Social Science Quarterly**, v. 88, n. 2, p. 535–554, 2007.
- GUÉGUEN, F.; STILLE, P.; DIETZE, V.; GIERÉ, R. Chemical and isotopic properties and origin of coarse airborne particles collected by passive samplers in industrial, urban, and rural environments. **Atmospheric Environment**, v. 62, p. 631–645, 2012.
- GUÉGUEN, F.; STILLE, P.; LAHD GEAGEA, M.; BOUTIN, R. Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring – Part I: Trace element analysis. **Chemosphere**, v. 86, n. 10, p. 1013–1019, 2012.
- GUÉGUEN, F.; STILLE, P.; MILLET, M. Air quality assessment by tree bark biomonitoring in urban, industrial and rural environments of the Rhine Valley: PCDD/Fs, PCBs and trace metal evidence. **Chemosphere**, Special Issue in Honour and Remembrance of Dr. Larry Needham', v. 85, n. 2, p. 195–202, 2011.

GUNIER, R. B.; HERTZ, A.; BEHREN, J. VON; REYNOLDS, P. Traffic density in California: Socioeconomic and ethnic differences among potentially exposed children. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 13, n. 3, p. 240–246, 2003.

HABERMANN, M.; SOUZA, M.; PRADO, R.; et al. Socioeconomic inequalities and exposure to traffic-related air pollution in the city of São Paulo, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, n. 1, p. 119–125, 2014.

HAVARD, S.; DEGUEN, S.; ZMIROU-NAVIER, D.; SCHILLINGER, C.; BARD, D. Traffic-related air pollution and socioeconomic status: a spatial autocorrelation study to assess environmental equity on a small-area scale. **Epidemiology**, v. 20, n. 2, p. 223–230, 2009.

JERRETT, M. Global Geographies of Injustice in Traffic-Related Air Pollution Exposure: **Epidemiology**, v. 20, n. 2, p. 231–233, 2009.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, n. 2, p. 362–367, 2008.

LAHD GEAGEA, M.; STILLE, P.; GAUTHIER-LAFAYE, F.; MILLET, M. Tracing of Industrial Aerosol Sources in an Urban Environment Using Pb, Sr, and Nd Isotopes. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 3, p. 692–698, 2008.

LAHD GEAGEA, M.; STILLE, P.; GAUTHIER-LAFAYE, F.; PERRONE, T.; AUBERT, D. Baseline determination of the atmospheric Pb, Sr and Nd isotopic compositions in the Rhine valley, Vosges mountains (France) and the Central Swiss Alps. **Applied Geochemistry**, v. 23, n. 6, p. 1703–1714, 2008.

LAURENT, É. Issues in environmental justice within the European Union. **Ecological Economics**, Special Section - Earth System Governance: Accountability and Legitimacy., v. 70, n. 11, p. 1846–1853, 2011.

LIN, S.; MUNSIE, J. P.; HWANG, S.-A.; FITZGERALD, E.; CAYO, M. R. Childhood Asthma Hospitalization and Residential Exposure to State Route Traffic. **Environmental Research**, v. 88, n. 2, p. 73–81, 2002.

MAKRI, A.; STILIANAKIS, N. I. Vulnerability to air pollution health effects. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 211, n. 3–4, p. 326–336, 2008.

MARĆ, M.; TOBISZEWSKI, M.; ZABIEGAŁA, B.; GUARDIA, M. DE LA; NAMIEŚNIK, J. Current air quality analytics and monitoring: A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 853, p. 116–126, 2015.

MCGRANAHAN, G.; MURRAY, F. **Air Pollution and Health in Rapidly Developing Countries**. Chicago: Taylor & Francis, 2012.

MOREIRA, C. A. B. **Avaliação da Qualidade do Ar no Município de Paranaguá Utilizando Indicadores Biológicos**, 2011. TCC(Bacharelado em Gestão Ambiental), Matinhos: Universidade Federal do Paraná Setor Litoral.

NASCIMENTO, L. F. C.; ORTEGA, N. R. S. Fuzzy linguistic model for evaluating the risk of neonatal death. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 6, p. 686–692, 2002.

NASCIMENTO, L. F. C.; RIZOL, P. M. S. R.; ABIUZI, L. B. Establishing the risk of neonatal mortality using a fuzzy predictive model. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 9, p. 2043–2052, 2009.

OCCELLI, F.; BAVDEK, R.; DERAM, A.; et al. Using lichen biomonitoring to assess environmental justice at a neighbourhood level in an industrial area of Northern France. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 781–788, 2016.

OLAJIRE, A. A.; AYODELE, E. T. Study of atmospheric pollution levels by trace elements analysis of tree bark and leaves. **Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia**, v. 17, n. 1, 2003. Disponível em: <<http://www.ajol.info/index.php/bcse/article/view/61724>>. Acesso em: 26/11/2015.

OLIVEIRA, D. C. DE. **Desenvolvimento de medidas integradas de saúde e de ambiente para apoio à tomada de decisão**, 12. set. 2012. Doutorado, São Paulo: Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5144/tde-22112012-145754/>>. Acesso em: 4/12/2015.

O'NEILL, M. S.; JERRETT, M.; KAWACHI, I.; et al. Health, wealth, and air pollution: advancing theory and methods. **Environmental Health Perspectives**, v. 111, n. 16, p. 1861–1870, 2003.

PANDYA, R. J.; SOLOMON, G.; KINNER, A.; BALMES, J. R. Diesel exhaust and asthma: hypotheses and molecular mechanisms of action. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, n. Suppl 1, p. 103–112, 2002.

PEARCE, J.; KINGHAM, S. Environmental inequalities in New Zealand: A national study of air pollution and environmental justice. **Geoforum**, Conversations Across the Divide The Time and Place for Political Ecology: The Life-Work of Piers Blaikie Biocomplexity in Coupled Human-Natural Systems: The Study of Population-Environment Interactions., v. 39, n. 2, p. 980–993, 2008.

PEARCE, J.; KINGHAM, S.; ZAWAR-REZA, P. Every Breath You Take? Environmental Justice and Air Pollution in Christchurch, New Zealand. **Environment and Planning A**, v. 38, n. 5, p. 919–938, 2006.

PERELMAN, P.; FAGGI, A.; CASTRO, M.; CARRETERO, E. M. Pollution trends using bark of morus alba in the cities of buenos aires and mendoza (Argentina). **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 505–511, 2010.

PHILLIS, Y. A.; ANDRIANTIATSAHOLINIAINA, L. A. Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic. **Ecological Economics**, v. 37, n. 3, p. 435–456, 2001.

PIERRI, N.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C. DE; KIM, M. K. A ocupação e o uso do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 13, n. 0, 2006. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/made/article/view/9849>>. Acesso em: 24/11/2015.

PORTO, M. F. Workers health and the environmental challenge: contributions from the ecosocial approach, the political ecology and the movement for environmental justice. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 10, n. 4, p. 829–839, 2005.

PORTO, M. F. DE S. **Uma ecologia política dos riscos: princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2013.

PORTO, M. F.; MILANEZ, B. Eixos de desenvolvimento econômico e geração de conflitos socioambientais no Brasil: desafios para a sustentabilidade e a justiça ambiental. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 1983–1994, 2009.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation, 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2008.

REIS, R. A.; GURGATZ, B. M.; SOUZA, F. F. C.; LAUTERT, L. F. DE C.; SILVA, L. E. DA. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, SAÚDE E CIDADES PORTUÁRIAS - PERSPECTIVAS PARA PARANAGUÁ. Diálogos Interdisciplinares em Desenvolvimento Territorial Sustentável: Políticas, Ecologias e Saberes. **Anais...**, 2015. Matinhos - PR.

ROMIEU, I.; ÁLAMO-HERNÁNDEZ, U.; TEXCALAC-SANGRADOR, J. L.; et al. A contaminação atmosférica nas Américas: tendências, políticas e efeitos. **Determinantes ambientais e sociais da saúde**. p.475–495, 2011. Washington: Opas; Editora Fiocruz. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=Ink&exprSearch=756802&indexSearch=ID>>. Acesso em: 19/10/2015.

SAMECKA-CYMERMAN, A.; STANKIEWICZ, A.; KOLON, K.; KEMPERS, A. J. Self-organizing feature map (neural networks) as a tool to select the best indicator of road traffic pollution (soil, leaves or bark of Robinia pseudoacacia L.). **Environmental Pollution**, v. 157, n. 7, p. 2061–2065, 2009.

SAWIDIS, T.; BREUSTE, J.; MITROVIC, M.; PAVLOVIC, P.; TSIGARIDAS, K. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 12, p. 3560–3570, 2011.

SENHOU, A.; CHOUAK, A.; CHERKAOUI, R.; et al. Sensitivity of biomonitors and local variations of element concentrations in air pollution biomonitoring.

Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 254, n. 2, p. 343–349, 2002.

SILVERMAN, D. T. Is diesel exhaust a human lung carcinogen? **Epidemiology**, v. 9, n. 1, p. 4–6, 1998.

ŠKRBIĆ, B.; MILOVAC, S.; MATAVULJ, M. Multielement profiles of soil, road dust, tree bark and wood-rotten fungi collected at various distances from high-frequency road in urban area. **Ecological Indicators**, v. 13, n. 1, p. 168–177, 2012.

SPINELLI, L. M.; ROSARIO, N. A.; RIEDI, C. A.; et al. Risk Factors for Asthma in Adolescents: ISAAC Phase II in a Brazilian Coast City. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, Program and Abstracts of Papers to be Presented During Scientific Sessions 2007 AAAAI Annual Meeting 2007 AAAAI Annual Meeting., v. 119, n. 1, Supplement, p. S103, 2007.

SUZUKI, K. Characterisation of airborne particulates and associated trace metals deposited on tree bark by ICP-OES, ICP-MS, SEM-EDX and laser ablation ICP-MS. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 14, p. 2626–2634, 2006.

THE MATHWORKS INC. **MATLAB 2014a**. Natick, MA: The MathWorks Inc, 2000.

TOLEDO, A. DO R. **Sistema pronominal possessivo em uso na Ilha dos Valadares**. , 2010. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/24437>>. Acesso em: 20/11/2015.

WHO. **7 million premature deaths annually linked to air pollution**. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>>. Acesso em: 29/7/2015.

7 ANEXO 1 - MEMORIAL DOS EIXOS PEDAGÓGICOS

Como estou na universidade desde 2008, quando cursei Técnico em Orientação com Ensino Médio, não tive nenhuma dificuldade em me adaptar aos métodos de ensino da instituição, como acontece com alguns. Na verdade, desde o início eu gostei muito de tudo na UFPR Litoral em relação as escolas tradicionais que eu conheci. Sempre faltavam nestes locais aquela vontade de discutir ciência, a sociedade e o conhecimento, algo que eu finalmente encontrei aqui. Abaixo descrevo um pouquinho de minha experiência na Gestão Ambiental:

Fundamentos Teóricos Práticos

Quanto aos Fundamentos Teóricos Práticos da Gestão Ambiental, exalto aqui a importância dos seguintes módulos para minha formação:

- Ambientes Naturais Terrestres: As bases da gestão ambiental são conhecidas ali. Os biomas, suas caracterizações, unidades de conservação. Para mim, este módulo apresentou o que devo conhecer para trabalhar na conservação da biodiversidade brasileira.
- Economia e Desenvolvimento: Um módulo divisor de águas. As referências apresentadas pelo professor Valdir fazem com que você, aos poucos, entenda o grande conflito entre meio ambiente e crescimento econômico. Além disso, apresenta alternativas: A escola da economia ecológica, e seu modo de compreender a economia como um subsistema do meio ambiente, faz com que possamos entender como o homem se relaciona (e como deveria se relacionar) com estes conceitos.
- Saúde e Ambiente: Além de apresentar a saúde como um componente inseparável da questão ambiental, o professor Daniel Canavese ainda busca nos fazer dar um salto de qualidade quanto ao rigor científico de nossos trabalhos, e como se portar, apresentar e escrever como um pesquisador profissional.

- Química Ambiental: Uma das poucas turmas que tiveram este módulo exclusivamente com o professor Rodrigo Reis e seus métodos inovadores de ensino. Além de ter nos proporcionado a experiência laboratorial da pesquisa em química ambiental, também nos apresentou um novo campo de trabalho: A escrita de projetos. Deste modo, os estudantes tinham que escrever seus projetos de pesquisa e avaliar o de seus colegas, assim, compreendendo como funcionam as instituições de fomento.

- Saídas de campo: A turma 2011 foi privilegiada quanto a experiência proporcionada por saídas de campo. Em um dos módulos finais, foi possível conhecer as grandes e mais belas reservas paranaenses, assim compreendendo o funcionamento das UC's do estado com todos seus atrativos. Também foi possível, em outra empreitada, conhecer o Rio de Janeiro, com direito a palestra de David Harvey, visita a Fiocruz e subida ao topo do Parque da Tijuca (Figura 6).



Figura 8: Diálogo sobre a situação do Rio de Janeiro e a Copa do mundo, no topo do Morro da Tijuca

Interações Culturais e Humanísticas

Quanto as Interações Culturais e Humanísticas, sempre foi um espaço que me senti a vontade, pois me comprometi com o desenvolvimento de diversas temáticas de meu interesse. Este é o segredo das ICH, fazer aquilo que você quer. Usar este espaço para fazer aquelas coisas que você sempre planeja, sabe que tem mais pessoas interessadas, mas por falta de tempo, espaço, ou mesmo motivação, acaba deixando de lado. Dentre as ICH, as mais memoráveis que vivi cito estas:

- Direitos Humanos: Devido ao surgimento da nova direita raivosa no Brasil por volta de 2014, propus junto aos meus colegas de classe e ao professor Eduardo Harder esta temática. Foi importante a postura acadêmica que todos tomamos para que os debates não fossem somente a alimentação de polêmicas de forma irresponsável.

- Fitoterapia ICH: Visando aprimorar nossa experiência laboratorial, desenvolvemos diversas atividades que envolviam extração de compostos, cromatografia e até produção de cosméticos com essências que nós mesmos produzimos. O FICH também foi um grande sucesso, pois apresentamos nossos produtos como resultado final.

- Espaços não formais de ensino: Proporcionou a visita a centros de ciência, museus, exposições e teatro de uma forma diferenciada – focando nos bastidores e na produção dos materiais, de forma a nos fazer pensar sobre como deve ser a divulgação científica que queremos fazer na UFPR Litoral.

Projetos de Aprendizagem e Vivências

No início do curso, minha principal atuação era com aquários para educação ambiental, desde o início sob orientação do professor Rodrigo Reis. Tal vivência trouxe para mim o conhecimento de como funcionam os sistemas biológicos em geral. Tanto me representou em termos de conhecimento científico que trago como hobby até hoje.

Este tempo me trouxe também a possibilidade de conhecer o projeto Coral Vivo, em Búzios – RJ, no ano de 2012, quando fui selecionado no

programa de extensão deste projeto. Além da experiência com o único aquário com espécies nativas de corais do Brasil, este mês me trouxe um novo olhar sobre unidades de conservação marinhas e sua importância tanto ecológica, quanto para a subsistência das comunidades.

Apesar disto, com o tempo esgotou-se a vontade de trabalhar com os aquários, pois sua execução não representava algo que eu buscava: a pesquisa científica.

Após longos bate-papos com o professor Reis, surgiu o interesse em trabalhar com um tema que interessava-me desde os tempos de ensino médio: Soberania e segurança alimentar, mais especificamente, a identificação da contaminação por agrotóxicos em diversas matrizes.

Iniciei este trabalho junto ao meu colega de turma Dyego Santiago. Neste momento, também comecei a trabalhar no projeto de Qualidade do Ar. De uma certa forma, não havia um tema bem definido, mas muito interesse em trabalhar com química ambiental.

Neste período estruturamos uma equipe interessada em trabalhar com a temática dos agrotóxicos no litoral paranaense, e conseguimos, após muito trabalho com professor Rodrigo Vassoler, colocar o Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência para funcionar, criando as primeiras curvas de calibração para identificação de pesticidas dos laboratórios da UFPR Litoral. Porém, este trabalho foi cada vez mais ficando com o Dyego, enquanto eu me aprofundava na temática da poluição atmosférica.

Em 2012, durante a banca de TCC da estudante Gisele Antoniaconi, de Saúde Coletiva, conheci o professor Paulo Hilário Saldiva. Uma das maiores referências em poluição atmosférica do Brasil. Além de ter o prazer de conhecer essa figura maravilhosa enquanto o buscava no aeroporto, tive a oportunidade de desenvolver uma pesquisa em parceria com ele, juntamente aos professores Rodrigo Arantes Reis, Daniel Canavese de Oliveira e Emerson Joucoski.

O resultado desta parceria está neste trabalho de conclusão de curso.

Pretendo com esta e com as futuras pesquisas, subsidiar através do conhecimento científico, as diversas lutas por justiça e saúde ambiental existentes, em busca de uma sociedade que consiga ver no meio ambiente um provedor do bem estar humano, para todos.