DANIEL CANAVESE DE OLIVEIRA

**Desenvolvimento de medidas integradas de saúde e de
ambiente para apoio à tomada de decisão**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Doutor em Ciências

Programa de Pós-graduação em Patologia
Orientadora: Profa. Dra. Neli Regina Siqueira Ortega

**São Paulo
2012**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Oliveira, Daniel Canavese de

Desenvolvimento de medidas integradas de saúde e de ambiente para apoio à
tomada de decisão / Daniel Canavese de Oliveira. -- São Paulo, 2012.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Programa de Patologia.

Orientadora: Neli Regina Siqueira Ortega.

Descritores: 1.Saúde pública 2.Saúde ambiental 3.Indicadores básicos de saúde
4.Indicadores ambientais 5.Lógica fuzzy

USP/FM/DBD-223/12

*Ao meu avô Vitorio,
in memoriam*

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial meu pai, minha mãe e meu irmão, pelo amor e pelo apoio durante o cotidiano.

À professora Neli Regina Siqueira Ortega, com muita admiração e carinho, pela confiança, pela oportunidade de criar, pela valorização dos meus pensamentos e ideias, pelos debates sobre variados temas, pelo cuidado, pelos valiosos ensinamentos que extrapolam o tema de estudo.

Aos estudantes e orientandos do Setor Litoral da Universidade Federal do Paraná (UFPR Litoral), pelo significado e motivo que dão a minha caminhada na educação e, em especial, à primeira turma de Saúde Coletiva. A Suzane Oliveira, pelo apoio profissional durante minha ausência dos encargos didáticos e pela amizade.

A Rafael Cordeiro, pela parceria e companheirismo durante esse tempo.

Aos meus estimados amigos de profissão, pela companhia, pelo carinho e zelo: Andréa, Bica, Dione, Edmilson, Marcos, Nádia, Paulo Marques e, com especial gratidão pelas contribuições a Márcia e a Liliani.

Aos colegas da Câmara de Saúde Coletiva e de Gestão Ambiental.

Aos profissionais do Observatório de Saúde da Região Metropolitana de São Paulo, Pedro Dimitrov e Elisabete Kudzielicz.

À professora Dra. Margarida Queirós do Vale do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, pela colaboração e ensinamentos durante a etapa de estudos em Portugal.

À professora Dra. Paula Santana, da Universidade de Coimbra, pelos valiosos comentários e sugestões finais.

Ao professor Antonio José Leal Costa, pelo estímulo pra iniciar esse estudo.

Aos professores Alfésio Braga Maria, Luiz Alberto Amador Pereira e Maria Luiza Padilha pelas contribuições durante a qualificação.

Ao professor Leandro Giatti pela colaboração e sugestões.

Aos professores dos departamentos de Saúde Pública, Odontologia e Enfermagem da Universidade de Turku – Finlândia.

A Christina Athanasopoulou, da Universidade de Turku, pelo apoio durante o estágio de pesquisa naquela universidade e pelos laços de amizade e trabalho que perduram desde então.

Aos profissionais da Administração Regional de Saúde do Algarve, pela colaboração e ensinamentos durante a etapa de pesquisa em Portugal.

Ao coordenador, professor Dr. Raymundo Soares de Azevedo Neto, professores e funcionários do Programa de Pós-graduação de Patologia da Faculdade de Medicina da USP.

À direção e aos servidores da UFPR Litoral.

Às instâncias governamentais, CNPq e CAPES, pelo suporte financeiro do projeto e pela bolsa de estágio no exterior.

Àqueles que contribuíram de alguma forma para a minha vivência de estudos de doutoramento ter sido produtiva, válida e, sobretudo, feliz.

Os padrões dominantes de produção e consumo estão causando devastação ambiental, esgotamento dos recursos e uma massiva extinção de espécies.

Os benefícios do desenvolvimento não estão sendo divididos equitativamente e a diferença entre ricos e pobres está aumentando.

A Terra, nosso lar, é viva como uma comunidade de vida incomparável. As forças da natureza fazem da existência uma aventura exigente e incerta...

A escolha é nossa: formar uma aliança global para cuidar da Terra e uns dos outros ou arriscar a nossa destruição e a da diversidade da vida.

(trechos da Carta da Terra, 2000)

SUMÁRIO

Lista de siglas

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de quadros

Resumo

Summary

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	A saúde, o ambiente e a relação com a sustentabilidade	2
1.2	A Saúde Coletiva: espaço para práticas mais integradas em saúde e ambiente.....	12
1.3	As Teorias da complexidade e a ciência pós-normal: lentes para compreender a saúde e o ambiente.....	15
1.4	A Lógica <i>Fuzzy</i> e a contribuição metodológica	20
2	OBJETIVOS.....	31
3	MÉTODOS.....	32
3.1	Estrutura e conceitos gerais da metodologia	32
3.2	Estudo da condição de saúde ambiental em países em desenvolvimento com uso de uma medida integrada	38
3.3	Estudo da condição de saúde ambiental em países desenvolvidos com uso de uma medida integrada	51
3.4	Análises desenvolvidas.....	60
3.5	Considerações sobre Ética em Pesquisa.....	61

4	RESULTADOS.....	62
4.1	Resultados do estudo da condição de saúde ambiental dos estados e das capitais do Brasil.....	63
4.2	Resultados do estudo da condição de saúde ambiental da região do Algarve, Portugal.....	76
5	DISCUSSÃO.....	81
5.1	Considerações sobre a medida integrada de saúde e ambiente no contexto brasileiro.....	81
5.2	Considerações sobre a medida integrada de saúde e ambiente no contexto de Portugal.....	91
5.3	Considerações Finais.....	99
6	CONCLUSÕES.....	102
7	ANEXO	105
8	REFERÊNCIAS.....	106

LISTA DE SIGLAS

ARS-Algarve	Administração Regional de Saúde do Algarve
IASA	Índice Agregado de Saúde Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IA	Índice de Ambiente
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
ISA	Índice de Saneamento Ambiental
INE	Instituto Nacional de Estatística de Portugal
IS	Índice de Saúde
ISQV	Índice Sintético de Qualidade de Vida
MS	Ministério da Saúde
NUTS	Unidade Territorial Estatística Européia
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
USP	Universidade de São Paulo
UE	União Européia
SUS	Sistema Único de Saúde

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 -	Esquema que articula a temática com o problema e o espaço da práxis, o aporte metodológico e a teoria para interpretação da realidade nessa tese.....	2
Figura 1.2 -	Diagrama biaxial da relação entre incerteza e estratégias para a resolução de problemas	18
Figura 1.3 -	Diagrama triaxial das estratégias para resolução de problemas e a ciência pós-normal.....	19
Figura 1.4 -	Diagrama categorizando a relação entre incerteza, métodos probabilísticos e baseados na lógica difusa para suporte do processo decisório na área ambiental ...	29
Figura 3.1 -	Etapas presentes na elaboração do modelo linguístico <i>fuzzy</i> tipo Mamdani.....	33
Figura 3.2 -	Diagrama da arquitetura dos modelos <i>fuzzy</i> destinados a avaliar a condição de saúde ambiental.....	40
Figura 3.3 -	Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo <i>fuzzy</i> do ambiente: (A) cobertura por serviços de coleta de lixo, 2000; (B) cobertura por sistemas de esgotamento sanitário, 2000; (C) cobertura por sistemas de abastecimento de água, 2000; (D) Índice de	

	Ambiente.....	42
Figura 3.4 -	Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo <i>fuzzy</i> da saúde: (A) taxa de mortalidade infantil, 2007; (B) taxa de mortalidade por doença diarréica aguda para todas as faixas etárias, 2005; (C) taxa de mortalidade de 1 a 4 anos devido a problemas respiratórios agudos, 2005; (D) Índice de Saúde.....	43
Figura 3.5 -	Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo <i>fuzzy</i> de saúde ambiental: (A) Índice de Ambiente; (B) Índice de Saúde; (C) Índice Agregado de Saúde Ambiental.....	44
Figura 3.6 -	Região do Algarve e municípios componentes (em destaque); perspectiva de Portugal e suas regiões (na parte inferior à direita da figura).....	52
Figura 3.7 -	Diagrama da arquitetura do modelo <i>fuzzy</i> destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal.....	54
Figura 3.8 -	Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo <i>fuzzy</i> de avaliação da condição de saúde ambiental da região do Algarve, Portugal: (A) Panorama favorável de saneamento ambiental; (B) Panorama desfavorável de saneamento ambiental; (C) Cenário de	

	saneamento ambiental.....	55
Figura 3.9 -	Diagrama representando a operação do modelo <i>fuzzy</i> destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal. (A) procedimentos iniciais; (B) processamento; (C) conclusão.....	57
Figura 4.1 -	Representação gráfica do (A) Índice de Saúde (IS) e (B) Índice de Ambiente (IA) para os estados brasileiros.....	66
Figura 4.2 -	Representação gráfica do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) dos estados e capitais brasileiros.....	69
Figura 4.3 -	Gráficos de dispersão para valores do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) e PIB <i>per capita</i> (IBGE, 2008). (A) Estados brasileiros e (B) capitais brasileiras.....	72
Figura 4.4 -	Gráfico de dispersão para valores do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) e IDH (PNUD, 2005). (A) Estados brasileiros e (B) capitais brasileiras.....	74

Figura 4.5 -	Gráfico de dispersão para valores do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) dos estados brasileiros e número de internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (IBGE, 2005).....	76
Figura 4.6 -	Representação gráfica do Índice de Saneamento Ambiental (ISA) obtido para 2011 dos municípios portugueses na região do Algarve	78
Figura 4.7 -	Gráficos de dispersão para indicadores e municípios portugueses da região do Algarve. (A) Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M, 2004) e Índice de Saneamento Ambiental (ISA, 2011) (B) Índice Sintético de Qualidade de vida (ISQV, 2006) e Índice de Saneamento Ambiental (ISA, 2011).....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 -	Identificação da dimensão, do indicador e da conceituação das variáveis selecionadas para compor os modelos <i>fuzzy</i> destinados a avaliar a condição de saúde ambiental.....	39
Tabela 3.2 -	Base de regras do modelo <i>fuzzy</i> para avaliação do ambiente.....	46
Tabela 3.3 -	Base de regras do modelo <i>fuzzy</i> para avaliação da saúde.....	47
Tabela 3.4 -	Base de regras do modelo <i>fuzzy</i> de saúde ambiental.....	48
Tabela 3.5 -	Base de regras definidas pelos profissionais para o modelo <i>fuzzy</i> destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal	56
Tabela 3.6 -	Lista de indicadores quantitativos disponíveis aos especialistas, organizados por categoria e ano, para apoio ao julgamento e fornecimento do panorama favorável e panorama desfavorável (parâmetros de entrada do sistema).....	58
Tabela 4.1 -	Tabela comparativa dos estudos de medida integrada de saúde e ambiente aplicada para países em desenvolvimento e para países desenvolvidos.....	62

Tabela 4.2 -	Valores do Índice de Saúde (IS), Índice de Ambiente (IA) e Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) dos estados brasileiros.....	64
Tabela 4.3 -	Valores do Índice de Saúde (IS), Índice de Ambiente (IA) e Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) das capitais brasileiras.....	68
Tabela 4.4 -	Valores do Índice de Saneamento Ambiental (ISA) obtidos para 2011 dos municípios portugueses da região do Algarve.....	77
Tabela 4.5 -	Valores do Índice de Saneamento Ambiental (ISA) obtidos para 2011, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) para 2004 e Índice Sintético de Qualidade de Vida (ISQV) para 2006 dos municípios portugueses da região do Algarve.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 -	Valores dos indicadores componentes do modelo <i>fuzzy</i> do ambiente e da saúde para o estado do Paraná obtidos nos portais do Datasus e IBGE em novembro de 2010.....	49
Quadro 3.2 -	Planejamento das reuniões com profissionais selecionados para elaborar o modelo <i>fuzzy</i> destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal.....	53

RESUMO

As investigações acerca da relação entre as áreas de saúde e ambiente são atuais no debate sobre desenvolvimento sustentável, embora abordem fenômenos complexos e envolvendo incerteza de conhecimento. O uso de medidas síntese representa uma maneira de apreender parte da realidade nesses temas a fim de subsidiar atividades e tomadas de decisões. O objetivo dessa tese foi integrar informações de saúde e de ambiente e propor um indicador para avaliação de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Para tanto foram desenvolvidos dois estudos com o uso de fundamentos da Teoria de Conjuntos *Fuzzy*. O primeiro estudo destinava-se a avaliar os estados e capitais do Brasil, com base em indicadores no escopo da atenção primária em saúde e cobertura de serviços de saneamento básico, integrados em uma medida síntese: o Índice Agregado de Saúde Ambiental. Os resultados do modelo *fuzzy*, comparados com outras medidas de sustentabilidade, sugerem situações de desigualdades no país. As regiões norte, nordeste e parte da centro-oeste apresentaram os menores valores do indicador em contrapartida aos maiores valores encontrados nas regiões sul e sudeste. O Índice Agregado de Saúde Ambiental tem potencial para formulação de hipóteses e também colaborar no debate acerca do desenvolvimento sustentável. O segundo estudo visou classificar o cenário de saneamento ambiental dos municípios do Algarve, litoral de Portugal, com uso de informações quantitativas, qualitativas e, também, medidas de opinião. A medida síntese integrada recebeu a denominação de Índice de Saneamento Ambiental. A elaboração do modelo *fuzzy* envolveu a participação de especialistas do Ministério da Saúde de Portugal. Os resultados do modelo *fuzzy* sugerem uma assimetria intra-regional com um grupo de municípios – Alcoutim, Monchique e Silves – que reúnem os menores valores dessa medida síntese e de outros indicadores de sustentabilidade. Por fim, as medidas de ambos os estudos foram comparadas com outras de sustentabilidade e encerram evidências da viabilidade de medidas integradas de saúde e ambiente e apontam para propriedades do uso de métodos com a lógica *fuzzy*.

Descritores: saúde pública, saúde ambiental, indicadores de saúde, indicadores ambientais, lógica fuzzy

SUMMARY

The relation between environmental characteristics and health is one of the priorities in the debate about sustainable development. The environmental health area addresses complex phenomena and involves uncertainty regarding knowledge. The apprehension of a portion of the reality in this area using indicators is important to decision support. The main objective of this study is to present two proposals based on the Fuzzy Logic which aggregate specific indicators of health and environment in order to produce an index to the analysis of developing and developed countries. The first proposal has been designed to evaluate Brazil's states and capitals based on indicators in the scope of primary health care and coverage of sanitation's services. The indicators have been integrated into a summary measure named Index of Environmental Health. The results have been compared with other measures of sustainability. The northern, northeastern and central-western regions of Brazil have shown the lowest index. In contrast, the highest values of that index have been found in the south and the southeast regions of Brazil. These results may reveal situations of inequality in Brazil. The Index of Environmental Health has shown the potential for formulating hypotheses in the debate about sustainable development. The second proposal has aimed to classify the environmental sanitation status in the Algarvian's cities, in Portugal, using quantitative and qualitative information and also opinion based measures. The integrated summary measure has been named Index of Environmental Sanitation. The development of this measure has involved the participation of experts from the Ministry of Health. The results have been compared with sustainability measures. They have shown that the worst values of this summary measure have occurred in Alcoutim, Monchique and Silves. In conclusion this study evidences some contributions for decision support obtained from environmental health integrated measures using fuzzy logic.

Descriptors: public health, environmental health, health status indicators, fuzzy logic

1. INTRODUÇÃO

A complexidade da interação entre os seres vivos e a qualidade de vida requer um constante aprimoramento do conhecimento das relações entre saúde e ambiente, bem como das formas de alcançar tal conhecimento. A intensificação de produções científicas nessas áreas vem representando, nas últimas décadas, um justificável esforço que origina grande diversidade de enfoques, de métodos empregados, de concepções e de teorias subjacentes.

Essa tese apresenta um recorte na minha reflexão sobre o processo de lidar com a informação e a tomada de decisão no campo do desenvolvimento sustentável. O esquema da figura 1.1 ilustra as inquietações no caminho percorrido durante o período de estudos do doutoramento e também demonstra a organização dos capítulos dessa seção.

Os pontos de partidas estabelecidos foram: o primeiro, à esquerda da figura – o problema na temática da sustentabilidade – que tratava da integração das medidas sobre saúde e ambiente; além do segundo, à direita da figura – o espaço da práxis – que faz referência a minha área de atuação, o campo de práticas da saúde coletiva. Como aporte metodológico dessa investigação utilizei a Teoria de Conjuntos *Fuzzy*. Por último, o pensamento complexo e alguns conceitos da ciência pós-normal

foram teorias com as quais, além de me permitirem justificar a escolha do método, deram-me suporte para apresentar e discutir o tema.

Figura 1.1: Esquema que articula a temática com o problema e o espaço da práxis, o aporte metodológico e a teoria para interpretação da realidade nessa tese

1.1 A saúde, o ambiente e a relação com a sustentabilidade

A Organização das Nações Unidas (ONU) tem sido uma das principais responsáveis por colocar em pauta, no âmbito mundial, os marcos conceituais sobre a questão ambiental e a qualidade de vida no planeta. Como primeira referência nesse sentido cabe citar a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente, realizada em 1972, em Estocolmo. Quinze anos depois, visando uma proposição com alguns pontos convergentes nas relações internacionais, foi formulado o Relatório

Brundtland (1987), intitulado “Nosso futuro comum”, no qual passou a figurar a concepção do que seria um desenvolvimento dito “sustentável”.

Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92). A súmula do evento apresentou a “Agenda 21” que, atualmente, é um importante documento onde, na teoria, os vínculos entre saúde, ambiente e fatores político-econômicos estão articulados em torno do conceito de sustentabilidade entre países (Cnumad, 1992).

Nos últimos vinte anos foram concebidas as Agendas 21 em diferentes escalas geográficas, mas principalmente de cidades ou países. Para exemplificar, a pesquisa de Evans e Theobald (2003) revelou que na Europa, até 2001, mais de quatro mil cidades e autoridades estavam engajadas com a iniciativa. Destacou, além do aspecto quantitativo, que esse documento atua como um catalisador de iniciativas na esfera governamental, pois, com a sua formulação, diferentes políticas públicas passaram a ser planejadas.

Percebeu-se, também, que os diferentes atores sociais têm sido provocados a contribuir e a se envolver na promoção de análises, discussões, proposições e, também, no monitoramento de situações ambientais. A Agenda 21 impulsionou a produção e o uso da informação sobre saúde e ambiente. De modo positivo, passou a fomentar intensamente o desenvolvimento de novos e diferentes indicadores ou índices (Hezri e Dovers, 2006; Tanguay et al., 2010; Moldan et al., 2012).

O processo, entretanto, deve ser confrontado com argumentos críticos, como aquele que destacou a diminuição da ação do Estado em detrimento da responsabilização e do chamamento que foi feito aos cidadãos (Acseirad et al., 2006). Rametsteiner et al. (2011) atentaram para a importância da mensuração sobre sustentabilidade, porém sublinharam que o fato não representava apenas uma demanda científica, mas também política. Nesse sentido, reforçaram que as medidas elaboradas não retinham somente as informações mais essenciais em investigação. Muito além disso, representavam a lógica do pensamento de uma sociedade sobre a questão.

Após a Agenda 21 outro documento mais conciso e textualmente menos técnico foi divulgado em 2000 pela ONU, intitulado “Objetivos do Milênio”. Em resumo, tratava-se de uma iniciativa que desejava facilitar a compreensão de ações consideradas mais estratégicas para o desenvolvimento sustentável, além de estabelecer metas para serem alcançadas pelos países até 2015, trazer um enfoque ao monitoramento, e ainda incentivar a elaboração das Agendas 21 locais.

A Agenda 21 e os Objetivos do Milênio propiciaram, em síntese, novas iniciativas para a avaliação de panoramas. Entretanto, como ressaltaram Wilson et al. (2007), persiste uma falta de consensos nos conceitos, nos modelos teóricos e nos elementos considerados indispensáveis para aquela tarefa. Os autores apontaram uma variedade de medidas, como indicadores ou índices utilizados que, na maioria de diversas e diferentes pesquisas, nem mesmo foram coincidentes. Terminaram por afirmar que, ao invés de caminhos na direção de um desenvolvimento

propriamente sustentável, o evidente acaba por ser, sobretudo, caminhos para diferentes direções.

Essa não é uma crítica recente. A ONU já havia detectado alguns aspectos negativos na produção da informação sobre sustentabilidade desde o final dos anos noventa. Inclusive com o objetivo de favorecer a qualidade e a comparabilidade entre as análises iniciou, a partir de 2001, uma série de atividades no desenvolvimento de critérios padronizados que seriam tomados como referência por países. Isso culminou com um instrumento particular de entendimento das relações entre saúde e meio ambiente. Em um dos documentos orientadores a ONU postulou o modelo conceitual denominado “Força motriz – Pressão – Estado – Exposição – Efeito e Ação” (FPEEEA).

A variedade de maneiras de se mensurar dimensões da sustentabilidade, entretanto, permanece grande. No trabalho de Ness et al. (2007), os autores descreveram e classificaram mais de trinta diferentes instrumentos para avaliação. A matriz FPEEEA, por exemplo, foi classificada como um indicador não agregado, pois, na sua operacionalização, ela se desdobra em uma gama de mais de seis dezenas de outros diferentes indicadores componentes. Singh et al. (2009) conduziram uma extensa revisão sobre as principais metodologias empregadas. Apesar da variedade, segundo os autores, ainda não existem abordagens integradas, de modo que a escolha do instrumento deve ser feita de acordo com as necessidades da pesquisa e considerando eventuais limitações.

No século XXI, juntam-se às demandas de ordem técnico-científica os recentes encontros que adensam as discussões. Em 2002 ocorreu a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Johannesburg, tendo como ponto mais relevante as avaliações sobre as contribuições alcançadas com a Agenda 21. Mais recentemente, Copenhague foi sede da Conferência sobre Alterações Climáticas, em 2009. Por fim, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) em 2012, no Rio de Janeiro, tinha entre as suas diferentes pautas a proposição de cobertura universal dos serviços de saúde, a promoção de políticas intersetoriais e o aumento de responsabilidade nas decisões políticas sobre as condições de saúde.

Fica patente que nos últimos quarenta anos a relação entre saúde e ambiente continua à baila como desafio para a comunidade científica e na esfera política. Em paralelo às iniciativas da ONU, também a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), passaram a exercer recente influência. Juntas, essas entidades internacionais têm efetivamente tomado a liderança sobre os temas, moldando em grande parte a agenda mundial de pesquisa, criando normas e padrões, providenciado suporte técnico, difundindo conhecimento e monitorando tendências.

Assim, se por um lado a importância do desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade deva ser retomada, por outro a demanda atual desses instrumentos precisa ser problematizada. Nota-se que persiste uma deficiência de diagnósticos sobre a sustentabilidade com as seguintes

características: em áreas como saúde e ambiente; que investiguem escalas geográficas, como regiões, cidades ou distritos; que promovam avaliações em conjunto com as comunidades, valorizando o conhecimento empírico do local (Viikari, 2009; Ramos, 2009; Ramos e Caeiro, 2010; Mascarenhas, 2010). Portanto, são nessas lacunas que as pesquisas precisam ser desenvolvidas.

O cenário do Brasil

A concepção de saúde brasileira, consolidada na Constituição Federal de 1988, compreendeu o processo saúde-doença e seu envolvimento com os determinantes sociais. Portanto, esse que é um conceito considerado ampliado em saúde, estabeleceu no principal marco legal do país a interface às questões ambientais.

Em 2002 foi aprovada a proposta nacional da Agenda 21. Síntese de um processo de construção participativa, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, esse documento sintetizou o diálogo entre os princípios e objetivos da Agenda 21 global junto aos compromissos e demandas brasileiros. Nas estratégias, particularmente, estiveram contempladas ações de promoção de saúde e saneamento ambiental.

Um dos Objetivos do Milênio, conhecidos no Brasil como “Jeitos de Mudar o Mundo”, fez referência à díade qualidade de vida e respeito ao meio ambiente, um dos maiores desafios para o país. O documento estabeleceu, entre outras metas, reduzir pela metade, até 2015, a proporção da população sem acesso a água potável e esgotamento sanitário (Cerqueira e Facchina, 2005).

Ambos, Agenda 21 nacional e “Jeitos de Mudar o Mundo” estão em sintonia na discussão acerca da situação socioambiental e qualidade de vida nos países em desenvolvimento onde o saneamento básico ainda

configura como um elemento fundamental (Maricato et al., 2000; Soares et al., 2002; Zhou e Laschefski, 2010; Maricato, 2011).

Nesse sentido, a investigação da dinâmica entre o planejamento urbano-rural, as ocupações humanas e a descrição dos danos ao ambiente e no processo saúde-doença, recai em estudos dessa condição. A pesquisa realizada por Teixeira et al. (2006 e 2011) constatou a atualidade do tema no país. Os autores avaliaram os indicadores de cobertura de serviços de abastecimento de água, coleta de lixo e rede de esgoto no Brasil entre 2001 e 2006. Relataram que o investimento permaneceu insuficiente e desigual. Visser et al. (2011) demonstraram que a prevalência de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado continuou elevada em regiões onde existia deficiência desse tipo de infraestrutura.

Malheiros et al. (2008) conduziram uma extensa análise sobre a Agenda 21 no cenário brasileiro. Segundo a pesquisa, um fator positivo foi que, até 2002, cerca de um terço da totalidade de municípios do país tinha iniciado o processo de elaboração do documento. Por outro lado, os autores constataram que havia lacunas importantes. Uma delas fez menção ao descompasso entre alguns dos objetivos descritos na Agenda 21 e os dispositivos que atualmente existem para a avaliação e o monitoramento. Assim, em se tratando da investigação de panoramas sobre sustentabilidade no Brasil, parece ser importante utilizar e ampliar a informação disponível.

Não se deve desconsiderar que o país, com o Sistema Único de Saúde (SUS), apresenta diversos sistemas de informação de qualidade.

Contudo, a incorporação de medidas que envolvam também a parte ambiental é incipiente, conforme argumentaram Barcellos e Quitério (2006). Os dados sobre as condições ambientais ainda são coletados de forma incompleta, assistemática e desintegrada. Os autores reforçaram a importância da análise da relação entre saúde e ambiente diante da ótica da complexidade e com articulações inter e transdisciplinares. Augusto e Branco (2003) reiteram a pertinência de uma política de informação em Saúde Ambiental e, especificamente, da viabilização do Sistema Nacional de Vigilância Ambiental.

Vem ao encontro desses aspectos a 1ª Conferência Nacional de Saúde Ambiental (Brasil, 2010), com o tema “Qualidade de Vida na cidade, no campo e na floresta”, ocorrida na cidade de Brasília, onde se apontaram necessidades de ações integradas e controle social. Ficaram destacadas algumas estratégias como: desenvolver projetos de saúde e ambiente com caráter intra e intersetorial; implantar a Agenda 21 em todos os estados e municípios; construir indicadores para avaliação e monitoramento; fortalecer e consolidar a rede de informações com vistas a atenção à saúde e fortalecimento da participação social.

Bullard (2000), embora faça referência a uma experiência inglesa, apontou a internet como ferramenta com potencial para disseminar informações da Agenda 21 para a comunidade. Destacou que a ferramenta pode contribuir em aspectos como participação social e inclusão social, desde que não deixe de privilegiar relação estabelecida no cotidiano, no espaço real.

Contudo, uma vez que o acesso a meios informatizados é desigual, especialmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, o uso do espaço virtual com olhar crítico, portanto, faz muito sentido. Ao discutir tecnologia e equidade, aos auspícios da justiça ambiental, Ottinger (2011) comentou a necessidade de iniciativas que facilitem a inclusão da maioria dos participantes, como membros locais de comunidades, junto aos processos de consulta, uso e elaboração da informação.

Nesse temário, é imperativo ao país superar condições desfavoráveis para a qualidade de vida. Fazem parte desse processo esforços como o mapeamento do cenário nacional sobre saúde e ambiente, com o uso dos dados disponíveis. Contudo, esse tipo de pesquisa precede um espaço de interpretação, divulgação e discussões sobre os resultados: a Saúde Coletiva.

1.2 A Saúde Coletiva: espaço para práticas mais integradas em saúde e ambiente

Os estudos que relacionam a situação de um ambiente e a condição de saúde de determinada população humana remontam à Hipócrates, no início do século V a.C. No livro “Ares, águas e lugares” o filósofo apontava uma concepção, que poderia ser classificada como holística, entre o processo de adoecimento e o meio ambiente. Na atualidade, como contraponto, observa-se que a questão tem sido tratada de maneira desintegrada e especializada, dentro dos campos das ciências exatas, biológicas, da saúde ou sociais (Cairus, 2005).

A fragmentação do tema não tem dado respostas satisfatórias a assuntos como, por exemplo, a remergência de doenças, nas últimas décadas, em países em desenvolvimento (Pignatti, 2004). Isso porque além dos aspectos físicos e biológicos, grande parte já conhecidos pela ciência, estão envolvidos outros, como econômicos e culturais, em uma relação de interdependência que precisa ainda ser desvendada.

A incerteza no conhecimento pautou, por exemplo, a descrição da doença cólera no espaço de Paranaguá, uma cidade brasileira de médio porte, durante uma das pandemias em 1999. O motivo deveu-se ao fato das variáveis que tradicionalmente poderiam ser utilizadas na explicação da ocorrência do fenômeno não terem sido suficientes, conforme aponta Passos (1999). Atento ao chamamento feito no campo da Saúde Coletiva, o autor argumentou que as análises precisariam incluir os fatores econômicos,

políticos e culturais, em um pensamento mais sistêmico, a fim da obtenção de evidências e possíveis justificativas para o problema em Paranaguá.

Na cidade em questão, sede do maior porto do sul do país, apesar dos elevados Produto Interno Bruto *per capita* e Índice de Desenvolvimento Humano à época, a doença teve mais de quatrocentos casos oficialmente notificados pela Secretaria de Saúde. A maioria ficou restrita às cercanias do porto. Para a compreensão desse aspecto, portanto, não seria suficiente a identificação dos principais elementos físicos da área, no caso, um manguezal degradado. Foi preciso constatar que, diferente de outras áreas na mesma condição, essa servia como moradia para a maioria dos trabalhadores portuários providos de baixa renda. A área desfrutava, portanto, de alta densidade populacional e os serviços de saneamento básico eram insuficientes ou inexistentes. Uma última variável desempenhou, também, um papel essencial: fazia parte do hábito alimentar um molusco que pode ter disseminado o vibrião da cólera. Assim, o exercício de considerar o incerto, a diversidade e a interatividade foi fundamental para apontar uma explicação mais completa nesse caso que envolve a saúde e o ambiente.

No Brasil, é possível destacar a Saúde Coletiva como área de produção de saberes com uma abordagem relacional, crítica e menos fragmentada (Paim, 2006). Há espaço para conhecimento científico pautado no esforço da compreensão de saúde e ambiente de maneira mais integrada e pautada em novos paradigmas (Minayo, 2002; Freitas, 2003; Freitas e Porto, 2006). A Saúde Coletiva, portanto, envolve pressupostos, métodos e

práticas que experimentam os campos inter e transdisciplinares que compõem uma ciência de fronteira (Campos et al., 2006).

Embora o olhar da Saúde Coletiva e suas produções científicas contribuam para conhecimento dos temas em tela, a área tem necessidades prementes. O trabalho de Freitas (2005) revelou a escassez de pesquisas com o uso de indicadores em saúde e ambiente que fortaleçam o controle social, invistam na descrição de desigualdades regionais e apoiem a tomada de decisão.

Nessa seara, portanto, a Saúde Coletiva parece espaço profícuo para aplicar novas abordagens que envolvam saúde e ambiente. Como aliados para interagir nessa realidade foram escolhidos uma base teórica – o pensamento complexo – e uma metodológica – oriunda da aplicação da Lógica *Fuzzy* – que serão apresentadas nas seções a seguir.

1.3 As Teorias da complexidade e a ciência pós-normal: lentes para compreender a saúde e o ambiente

Milton Santos (2003a, 2003b e 2004) comentou sobre a necessidade de se ter claro os saberes, as práticas, a ideologia e a perspectiva sobre a qual se deseja chegar. Destacou a importância do papel crítico das ciências da saúde, salientando como a produção de conhecimento deve apoiar a sociedade.

Portanto, para essa tese que investiga os temas saúde e ambiente, fez sentido discorrer nas seções anteriores os principais documentos de sustentabilidade, que explicaram o problema, e o campo de aplicações, que é a saúde coletiva. Nesse instante apresenta-se a escolha dos pressupostos teóricos que, como lentes, permitem uma interpretação dessa realidade.

Apoiar-se no pensamento complexo é uma tentativa de aproximar-se àquilo que Morin comentou sobre engendrar novos conhecimentos oriundos da relação entre o fenômeno e suas contradições, ambiguidades e incerteza no mundo real, superando a fragmentação e interpretação isoladas. Assim, o autor defendia que as diferentes competências estivessem articuladas, em contraposição a sobrepor ou acumular as disciplinas (Morin, 1990; 2005).

Byrne (1998) definiu a complexidade como um domínio que estava situado entre dois extremos, um referente à realidade analisada de modo dual e o outro de maneira caótica e indeterminada. Ao comentar sobre

os modelos conceituais em saúde, descreveu como pautado na teoria do pensamento complexo aquele que interpretava como sistêmica a interação entre seres vivos, ambiente e o processo saúde-doença. O sanitarista brasileiro Almeida Filho avançou sobre o exemplo de Byrne e comentou os desafios da saúde com a abordagem sediada na teoria (1997, 2004 e 2005).

Demo (2002) esclareceu algumas características do pensamento complexo. Além dessa interpretação pautada na visão sistêmica, adicionou a dialética do próprio objeto em estudo que, além de partes, é também o todo. Capra (2002) reforçou a condição de se poder ter conhecimento de um sistema por meio de suas partes; ressalta, entretanto, que a recomposição do todo é diversa à soma das partes estudadas. Ambos remetem a uma compreensão holística dos temas ou, pelo menos, a tentativa de que assim seja.

Ao discutir a complexidade na ótica de Edgar Morin, Pena-Vega (2005) recordou que a crise ambiental necessita dessa reflexão que privilegia a não disjunção dos fatos e dos saberes. Ferry (2009), à luz da filosofia, traçou críticas sobre a influência da visão cartesiana que, em contraponto, considerava a natureza como local de domínio humano.

Parece ser consenso a necessidade de outra interpretação da questão ambiental. Aquela que tem sido pautada no racionalismo da ciência e inclui analogias aos mecanismos e engrenagens de uma máquina demonstra pouco sucesso frente aos atuais desafios, como as condições socioambientais dos países em desenvolvimento (Navarro, 2008).

Segundo Queirós (2009), os conceitos e princípios dos sistemas complexos constituem um enquadramento teórico para repensar questões de saúde e de ambiente. A justificativa se encerra porque os contextos envolvendo esses temas possuem questões críticas e emergentes, muitas das quais advindas da intervenção humana, com situações ainda por conhecer.

A afirmação de existirem relações ainda para serem descobertas, envolvendo o conhecimento científico, remete a palavras como incerteza ou ambiguidade. A primeira faz referência a uma situação onde não foi alcançado o ideal do determinismo completo sobre o assunto, ou seja, permanece um fato incerto. A segunda palavra é um conceito usado para mencionar a existência de múltiplas formas de conhecimento, considerados como válidos.

A ciência pós-normal é definida como uma abordagem destinada ao reconhecimento da realidade considerada como estrutura complexa e envolta por incerteza, em detrimento a uma análise pautada no reducionismo e na visão cartesiana (Funtowicz e Ravetz, 1990; 1993; Ravetz, 1999a; 1999b; 2004; 2006; Palma e Mattos, 2001). A figura 1.2 ilustra como a ciência pós-normal pode contribuir na medida em que, em determinada situação, observa-se o aumento da tensão entre a tomada de decisão e a incerteza epistêmica.

Figura 1.2: Diagrama biaxial da relação entre incerteza e estratégias para a resolução de problemas (Funtowicz e Ravetz, 1993)

Na perspectiva da saúde, os problemas, como os emanados da relação com o ambiente, resultam em situações de vulnerabilidade social. Há inúmeras incertezas envolvidas, e de diferentes tipos, frutos de variáveis como os determinantes biológicos, sociais e suas interações. Soma-se a isso a elevada necessidade de tomada de decisão como, por exemplo, a implantação de uma política pública. Nesses casos, o paradigma hegemônico pode ser insuficiente, necessitando de novos olhares – métodos de pesquisa, análises, interpretações de resultados. A figura 1.3 é uma proposição ao diagrama original de Funtowicz e Ravetz (1993), incorporando

um terceiro eixo que se refere justamente ao conceito de vulnerabilidade social.

Figura 1.3: Diagrama triaxial das estratégias para resolução de problemas e a ciência pós-normal (Palma e Mattos, 2001)

Os conceitos das teorias da complexidade e da ciência pós-normal parecem contribuir com uma visão holística do desenvolvimento sustentável. Elas podem ser lentes apropriadas em uma pesquisa sobre medidas integradas em saúde e ambiente. Ao mesmo tempo são compatíveis com abordagens metodológicas além das tradicionalmente utilizadas, como a amparada pela Lógica *Fuzzy* (Kay et al., 1999; Canavese et al., 2011).

1.4A Lógica *Fuzzy* e a contribuição metodológica

Conforme comentado, nos espaços da práxis como a saúde coletiva, é usual a necessidade de lidar com diferentes informações para atividades como monitoramento, planejamento ou tomada de decisão. Alguns conceitos como precisão, imprecisão e complexidade, abordados nas seções anteriores, possuem uma relação intrínseca com o intuito de informar ou processar informações.

Tarefas como a predição de uma condição de sustentabilidade ou cálculo de medidas síntese, por exemplo, amparam-se no uso de ferramentas como os modelos matemáticos. Atualmente, devido ao desenvolvimento científico, há um diferente arsenal metodológico baseado em lógicas e teorias matemáticas à disposição da sociedade.

Parte da solução dos problemas tem sido apoiada em métodos e técnicas com abordagens baseadas na Lógica Clássica, descrita como uma lógica binária ou precisa (Yuan e Klir, 1995; Ortega, 2001; Ross, 2010). Essa denominação deve-se ao fato de admitir apenas duas situações demarcadas, onde apenas uma delas pode ser considerada como verdadeira. Assim, caso fosse feita uma descrição matemática, dado um conjunto **A** e um elemento **x** do conjunto universo **U** diz-se que $x \in A$ (leia-se *pertence*) ou $x \notin A$ (leia-se *não pertence*).

O exercício de imaginar que a área verde de um determinado local figura como mais um dos fatores promotores de saúde servirá para descrever alguns conceitos da lógica clássica. A mero título de exemplo é possível supor que uma classe de ruas seria considerada “verde” caso o número de árvores encontradas ficasse igual ou superior a trinta. Nessa abordagem, ao comparar ruas de mesmo tamanho, aquela com cinquenta árvores pertenceria ao conjunto de ruas “verde” da cidade, enquanto que outra rua, com duas árvores, não pertenceria a essa classe “verde”, sendo portanto descrita como “não verde”.

Contudo, como proceder com ruas com vinte e nove árvores? Elas também seriam “não verde”? E ruas com trinta e uma, seriam “verde” como aquelas com cinquenta árvores? Alguns argumentos diriam que nesses casos não deveria existir uma resposta única e objetiva. De fato, essa transição brusca do estado de pertinência para o estado de não pertinência, que ocorre na lógica clássica, pode representar uma limitação em lidar com problemas práticos.

A classificação de ruas “verde” parece uma questão simples, porém não apenas esse, como a maioria dos fenômenos possuem incertezas inerentes. Primeiro porque é factível que a aquisição do conhecimento sobre o aspecto ainda não seja considerada conclusiva ou completa. Além disso, porque o aporte de diferentes conhecimentos aumenta a complexidade e, embora se aproxime da compreensão do mundo real, aumenta a incerteza.

Grande parte dos métodos existentes simplesmente desconsiderou esse panorama até que, na década de 60, fundamentos da Lógica *Fuzzy* foram apresentados por Lofti A. Zadeh, visando lidar com situações onde a informação possuía caráter impreciso. Enquanto a lógica clássica, com seu enfoque binário, exige alto grau de precisão em virtude da interpretação ser dual, na lógica *fuzzy* existem valores intermediários, que abordam o conceito de verdade parcial, permitindo lidar com a incerteza.

Na Teoria de Conjuntos *Fuzzy* um elemento passa a incorporar um certo grau para a sua pertinência ao conjunto. A função $\mu_A(x)$, descrita como *função de pertinência*, teria como valores válidos todos os do intervalo $[0,1]$. Portanto o elemento x tem a possibilidade de ser *parcialmente* membro de um conjunto, indicado por um valor dentro do intervalo numérico $[0,1]$, onde valores mais altos denotam grau de pertinência maior.

Voltando ao exemplo, na abordagem *fuzzy*, existiriam ruas que pertenceriam à classe “verde” com mais ou menos intensidade. Ou seja, possivelmente ruas com trinta e cinco árvores pertenceriam mais a essa classe que àquela classe das ruas “não verde”. Como contraponto ruas com dez árvores pertenceriam menos à classe “verde” e mais à “não verde”. Quanto menor for a medida – nesse caso a quantidade de árvores – menor seria a pertinência da rua à classe “verde”. Essa transição gradual entre pertinência e não pertinência faz parte do cerne da Teoria de Conjuntos *Fuzzy*.

Zadeh (2008), ao comentar potencialidades da lógica *fuzzy*, destacou que ela tem similaridades com atividades inerentes ao ser humano.

Mencionou como um bom exemplo a capacidade de utilizar variáveis linguísticas, que são tão próximas à habilidade da comunicação. Outra característica importante advém de apontar para um resultado em ambientes onde existem verdades parciais. Em um de seus artigos, o autor destacou que a maioria dos modelos matemáticos tem base em fundamentos da lógica clássica, justamente intolerante a uma condição fulcral dos fenômenos no mundo real: a imprecisão (Zadeh, 2010).

Portanto, métodos que utilizem essa lógica contribuem fornecendo enfoques precisos em ambientes de imprecisão. De fato, a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* tem sido uma escolha crescente dos estudos e das aplicações em diversas áreas, entre as quais envolvendo temas de saúde e ambiente.

Aplicações da Lógica Fuzzy na área da saúde e na área ambiental

Sadegh-Zadeh (1999; 2000 e 2008) apresentou trabalhos de cunho teórico-filosóficos em que a saúde e a doença foram interpretados com o uso da lógica *fuzzy*. Segundo o autor, os dois conceitos pela própria definição violavam princípios da lógica clássica. Considerando o conjunto “saudável” ou “doente”, cabia ao indivíduo pertencer somente a um deles. Entretanto a realidade, sabe-se, é bem mais complexa.

A saúde e a doença são parte de um processo. Por um lado há situações onde não se está doente e, também, nem completamente saudável como, por exemplo, ao passar por um mal estar transitório, como uma crise de enxaqueca. Por outro lado, existem momentos de completo e grave adoecimento, como no estado de coma.

A lógica clássica, ao tratar os conceitos como opostos, precisa de operações matemáticas duais como, por exemplo, estar ou não doente. Isso representava um impasse para o paradigma que compreende um eixo de transição entre a plenitude de saúde e o completo adoecer. Com a lógica *fuzzy* seria possível conceber estágios intermediários entre os dois conceitos e, finalmente, tratar saúde e doença como um processo e não como termos contraditórios.

Se para Sadegh-Zadeh a lógica *fuzzy* permitia superar problemas conceituais, atualmente sua utilidade tem permitido abordagens práticas e possivelmente mais próximas do real. A produção científica nas

ciências da saúde inclui inúmeras pesquisas onde as propriedades da lógica *fuzzy* são exploradas.

Especificamente no Brasil dois grupos, da USP e da UNICAMP, são referências pelas constantes investigações que realizam. Eles têm produzido pesquisas que versam sobre a elaboração de estratégias de controle de epidemias de doenças infecciosas (Barros, 1992; Massad et al., 1999; Barros et al., 2000 e 2003; Massad et al., 2003; Jafelice et al., 2004; Ortega et al., 2008); desenvolvimento de modelos matemáticos para a estimativa de risco de morte neonatal (Nascimento e Ortega, 2002) e epidemiologia (Ortega et al. 2000 e 2003); métodos diagnósticos da clínica médica (Tanaka, 2007); saúde coletiva e qualidade de vida (Costa, 2001; Costa et al., 2004; Oliveira, 2004); enfermagem (Jensen e Lopes, 2011); e ainda diversas outras investigações no campo da saúde (Ortega, 2001 e Massad et al., 2008).

Na área ambiental, Silvert (1997) é citado como um dos primeiros pesquisadores a investigar a aplicabilidade da lógica *fuzzy*. O autor exemplificou de que maneira a avaliação de impacto ambiental, ao envolver medidas quantitativas e, também, informação qualitativa, poderia ser apoiada pela Teoria de Conjuntos *Fuzzy*.

Phillis e Andriantiatsaholainaina (2001), ao afirmarem que a dinâmica complexa dos sistemas ambientais seria descrita de modo mais satisfatório quando amparada pelo uso da lógica *fuzzy*, propuseram um modelo conceitual denominado *Sustainability Assessment by Fuzzy Evaluation* (SAFE) para avaliação da condição de sustentabilidade de

diferentes escalas geográficas. O SAFE conta com fundamentos do modelo enunciado pela ONU em 2001, o FPEEEA, e se baseia em indicadores com informações físicas do ambiente, econômicas e sociais para originar um valor síntese da condição de sustentabilidade.

O trabalho de Tran et al. (2002), com objetivo de classificar o grau de vulnerabilidade ecológica de determinada região, precisou integrar, de modo hierárquico, mais de três dezenas de indicadores. O método escolhido envolvia a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* em detrimento a uma abordagem probabilística. A justificativa residiu no fato da variabilidade entre os indicadores e a relação estabelecida entre eles ser ainda desconhecida, do ponto de vista de conhecimento científico, além de depender de uma questão subjetiva, que desejava ser integrada, referente à definição de pesos e julgamento fornecido por participantes. Durante a apresentação dos resultados deste trabalho, que foram considerados positivos, os pesquisadores corroboraram a escolha daquele método.

Adriaenssens et al. (2004) publicaram uma revisão sobre o uso na área ambiental de modelos matemáticos amparados pela lógica *fuzzy*. Destacaram algumas das contribuições ao campo científico oriundas dessas ferramentas, como: (I) agregar grande quantidade de informações, incluindo medidas qualitativas; (II) utilizar variáveis linguísticas para classificar e manipular a informação; (III) lidar com o conhecimento que ainda é incerto e impreciso; (IV) habilidade de fornecer medidas precisas e úteis para apoio à instância de decisão. Os autores, contudo, mencionaram a necessidade da proposição de trabalhos práticos, com análises sobre método e validade,

além de explorar a viabilidade de implantação das propostas junto à sociedade.

A pesquisa desenvolvida por Ocampo-Duque et al. (2006) exemplificou como pode ser elaborado um modelo matemático *fuzzy* que origina uma medida síntese para avaliação de determinada região. Nesse caso, o método foi utilizado para a elaboração de um índice de qualidade de água. O estudo realizado comparou os resultados oriundos do modelo *fuzzy* com outros indicadores e relatórios. Na conclusão os autores destacaram a robustez do modelo, a simplicidade do método, o aprimoramento na mensuração e o apoio para a instância de planejamento e decisão.

Ascough et al. (2008) apontaram que tomar decisões envolvendo questões ambientais é uma tarefa desafiadora. A diversidade de variáveis envolvidas, o interesse de diferentes atores sociais e o conhecimento incompleto sobre o tema foram citadas como algumas das justificativas. Os autores concluíram o artigo elencando necessidades, como incorporar o conceito de incerteza nos métodos e promover maior quantidade de trabalhos com uso da Teoria de Conjuntos *Fuzzy*.

Janssen et al. (2010) aplicaram, na área ambiental, uma metodologia apoiada na lógica *fuzzy* como alternativa para integrar, além de medidas quantitativas, o conhecimento oriundo de participantes especialistas no assunto. Descreveram, passo a passo, o modelo matemático *fuzzy* que possuía informações de dois parâmetros – o número de dias com e sem chuva – e originava, em uma escala de 0 a 100, uma medida referente ao grau de exequibilidade de atividades agrícolas. O trabalho, segundo os

autores, avançou nos apontamentos de Ascough et al., demonstrando potencialidades e corroborando a escolha por métodos que incorporavam a incerteza.

Esse capítulo, entretanto, não esgota a produção científica relacionada a aplicações da lógica *fuzzy* na área ambiental e também envolvendo a saúde, que recentemente tem sido ampliada e diversificada. Há ainda mais investigações apoiando o processo decisório (Tran et al., 2002; Morón et al., 2009; Kahraman e Kaya, 2010; Kommadath et al., 2011), avaliando a qualidade da água (Icaga, 2007; Lermontov et al., 2009; Chen et al., 2010) e em outros temas, como poluição (Fisher, 2006) e alterações climáticas (Prato, 2010, 2011).

Uma vez que a proposta dessa tese é a de investigar a integração de medidas de saúde e ambiente à luz do pensamento complexo e destinada a aplicações no campo da saúde coletiva, faz sentido uma escolha metodológica com uso da lógica *fuzzy*. A figura 1.4 apoia a justificativa para esse apontamento.

Dentre os principais métodos empregados no processo decisório na área ambiental é preciso diferenciar como a Teoria de Probabilidades tem aplicações distintas àquelas da Teoria de Conjuntos *Fuzzy*. Deve ser salientada que a informação acerca da distribuição dos valores probabilísticos é algo conhecido. Além disso, conforme ilustra o esquema, a Teoria das Probabilidades articula muitos fenômenos, nas áreas da saúde e ambiental, que operam sob o conceito de risco. Por outro lado, a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* é fruto de características como a ambiguidade e

que impliquem na manipulação de limites imprecisos (Yuan e Klir, 1995; Ortega, 2001; Ross, 2010).

Figura 1.4: Diagrama categorizando a relação entre incerteza, métodos probabilísticos e baseados na lógica *fuzzy* para suporte do processo decisório na área ambiental (adaptado de Pollard et al., 2008)

Um exemplo de abordagem envolvendo incerteza do conhecimento e o uso de métodos com base na Teoria de Conjuntos *Fuzzy* seria a proposição de modelos matemáticos para elaborar medidas integradas com base no julgamento, ou atribuição de juízos de valor, fornecido pelo conhecimento de especialistas. Nesse caso, utilizam-se informações subjetivas, características da multiplicidade de opiniões dos participantes e, portanto, ambíguas.

No âmbito do Brasil, um trabalho prático foi o de Roveda et al. (2010) que descreveu a formulação de um índice para a avaliação da qualidade ambiental de municípios, estruturado a partir de um modelo matemático *fuzzy* e com apoio de indicadores nas áreas de educação, cobertura vegetal, poluição do ar, da água e do solo. A proposta serviu para as instâncias locais de gerência e planejamento, além do controle social. Os autores destacaram, inclusive, que a medida foi utilizada na cidade de Sorocaba, em São Paulo, como apoio para decisões da secretaria do meio ambiente.

A ciência pós-normal e o pensamento complexo apresentam um novo paradigma na questão do conhecimento. Foi planejado nessa tese dialogar com tal paradigma no problema de análises integradas das situações de saúde e ambiente, reconhecendo que modelos matemáticos para lidar com esses fenômenos precisam ultrapassar a lógica clássica.

Assim é concluída a apresentação mais detalhada do último aspecto que faz parte da estrutura da introdução e do principal método desse período de estudo, conforme o ilustrado na figura 1.1. A seguir serão apresentados os objetivos.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Desenvolver uma avaliação integrada de Saúde e Ambiente com a aplicação de fundamentos da Teoria de Conjuntos *Fuzzy*.

Objetivos Específicos

- Propor a elaboração de indicadores integrados de saúde ambiental originados por modelos linguísticos *fuzzy* para avaliação de localidades geográficas distintas;
- Analisar e comparar resultados originados por modelos linguísticos *fuzzy* com outras formas de medir a sustentabilidade;
- Fomentar o uso público e comunitário de medidas integradas na área ambiental e da saúde que incorporem o pensamento complexo e aspectos da Teoria de Conjuntos *Fuzzy*.

3. MÉTODOS

3.1. Estrutura e conceitos gerais da metodologia

O trabalho da tese planejado compreendeu a execução de dois estudos exploratórios e descritivos. Eles abordaram a integração de informações em saúde e ambiente por meio da elaboração de medidas para avaliar localidades distintas – países em desenvolvimento e desenvolvidos.

A realização de cada estudo ocorreu em períodos e países distintos, além de envolverem diferentes parcerias, variáveis componentes e objetivos específicos, que serão apresentadas nas seções a seguir. Ambos tiveram, entretanto, a metodologia fundamentada na Teoria de Conjuntos *Fuzzy*, contemplando a proposição de modelos matemáticos para originar as medidas integradas em questão.

Os modelos matemáticos *fuzzy* são estruturas que descrevem um objeto complexo com o uso de conjuntos e medidas *fuzzy* em contrapartida aos valores claramente definidos, como nos modelos clássicos. Assim, torna-se possível abordar a imprecisão inerente e contemplar o conhecimento heurístico. Existem dois tipos de modelos *fuzzy* – o modelo linguístico tipo Mamdani e o modelo Takagi-Sugeno-Kang (Ortega, 2001; Massad et al., 2008).

Optou-se pelo uso de modelos linguísticos *fuzzy* tipo Mamdani em virtude de serem sistemas elaborados com a informação de especialistas que descrevem linguisticamente um objeto complexo. Nesse sentido, a estrutura teórica que embasa tais modelos permite incorporar o conhecimento adquirido de maneira formal e, também, lidar com a dúvida e a incerteza sobre as relações ainda pouco conhecidas quando se integram áreas como saúde e ambiente.

O método de elaboração de um modelo linguístico *fuzzy* tipo Mamdani contempla quatro etapas principais, como demonstra a figura 3.1, a saber: a *fuzificação*, onde as variáveis de entrada e de saída de um sistema são traduzidas para valores *fuzzy* com o uso de variáveis linguísticas; a *elaboração da base de regras*, quando um conjunto de proposições condicionais *fuzzy* correlaciona as variáveis de entrada e de saída; a *inferência*, onde há um processamento em paralelo das regras utilizando operadores matemáticos de união e intersecção dos conjuntos *fuzzy*, que conclui em uma saída que também é um conjunto *fuzzy*; a *defuzificação*, momento onde se origina um número clássico que representa a informação obtida pelo conjunto *fuzzy* de saída.

Figura 3.1: Etapas presentes na elaboração do modelo linguístico *fuzzy* tipo Mamdani

Fuzificação

A Teoria de Conjuntos *Fuzzy* possui a capacidade de fornecer um tratamento matemático aos termos linguísticos que são utilizados na comunicação humana para expressar o conhecimento. Os termos linguísticos encerram significados e informações dependentes de cada contexto. São exemplos de termos linguísticos: situação de saúde “grave”, ambiente “pouco” poluído ou saúde ambiental “ótima”.

Essa primeira etapa representa uma espécie de “tradução” das informações do sistema – variáveis de entrada e de saída – em variáveis linguísticas *fuzzy*. Para cada variável linguística são identificados termos linguísticos e construídos conjuntos *fuzzy* com suas funções de pertinência adequadas. Na área da saúde e também na ambiental, a participação de especialistas nessa etapa é indispensável no desenvolvimento de modelos linguísticos *fuzzy* do tipo Mamdani (Ortega, 2001; Massad et al., 2008).

Elaboração da base de regras

As regras *fuzzy* são estruturas utilizadas na Teoria de Conjuntos *Fuzzy*. Elas contemplam um formalismo matemático para captar e descrever situações específicas ao fenômeno em questão, a partir do conhecimento baseado em experiências e associações empíricas de especialistas. Várias regras *fuzzy* são utilizadas para mapear as variáveis de entrada e de saída de um

sistema. O conjunto dessas regras – a base de regras *fuzzy* – possui a capacidade de descrever o fenômeno em suas várias possibilidades.

A regra *fuzzy* é composta de duas partes: a primeira **SE**, chamada de **antecedente**, que descreve uma condição; e a segunda **ENTÃO**, chamada de **consequente**, que descreve uma conclusão ou ação resultante, quando a condição é estabelecida. A estrutura é a seguinte:

SE [*antecedente*] ENTÃO [*consequente*]

Os antecedentes definem uma região *fuzzy* que faz referência às variáveis de entrada do sistema. Caso existam múltiplas condições de antecedentes os conectivos lógicos **E** (conjunção), **OU** (disjunção) e **NÃO** (negação) também podem ser utilizados. Os consequentes descrevem uma região das variáveis de saída. Algumas das contribuições das regras *fuzzy* em relação às regras elaboradas na lógica clássica são a possibilidade do uso de variáveis linguísticas e de uma flexibilidade para modelar as incertezas presentes nas afirmações, características do mundo real.

Uma vez que se elaboram as regras *fuzzy* e, portanto, a base de regras fica composta, é necessário que ocorra o processamento, a fim de originar uma resposta final. Essa etapa corresponde à inferência.

Inferência

Durante essa etapa serão aplicados mecanismos de operações entre os conjuntos *fuzzy*. Em síntese, o método de inferência define o valor *fuzzy* de entrada em um valor de saída.

No modelo linguístico *fuzzy* tipo Mamdani, utilizado nesses estudos, o processamento de todas as regras ocorre de maneira paralela, ou seja, as regras são consideradas ao mesmo tempo a fim de originar uma resposta. Para tanto se aplicam dois operadores matemáticos: inicialmente o operador *mínimo* (*min*) e, na sequência, o operador *máximo* (*max*).

Para calcular o grau de ativação das regras são realizadas operações de intersecção entre os conjuntos *fuzzy* dos antecedentes. Nesse momento é empregado o operador *min*. O grau de ativação que irá compor o resultado final se origina com a aplicação do *max* entre as saídas das regras. Após o processamento em paralelo de todas as regras, as suas saídas são combinadas com a união dos conjuntos consequentes e seus graus de ativação. Com o fim da inferência se obtêm um conjunto *fuzzy*, porém, como pode existir a necessidade da saída do modelo ser um número em termos clássicos, uma última etapa precisa ser executada – a defuzificação.

Defuzificação

Esse é o procedimento que permite interpretar a distribuição de possibilidade do conjunto *fuzzy* de saída de um modo quantitativo, ou seja, com a obtenção de um valor clássico. A técnica de defuzificação utilizada nesses estudos corresponde ao *centro de área*, conhecida também pelos sinônimos de *centróide* ou *centro de gravidade* em virtude de ter a sua aplicação no cálculo do centro de gravidade de sistemas físicos (Klir & Yuan, 1995; Ortega, 2001).

O *software* MATLAB, *toolbox Fuzzy*, versão 11 foi utilizado para implementação dos modelos matemáticos. A seguir, descrevem-se os procedimentos inerentes a cada um dos estudos.

3.2. Estudo da condição de saúde ambiental em países em desenvolvimento com uso de uma medida integrada

O primeiro estudo contemplou a elaboração de uma medida integrada de saúde e ambiente, com o uso de modelos *fuzzy*, aplicada para a avaliação de países em desenvolvimento, como o Brasil. Fez parte do planejamento um período de revisão da literatura e dos principais indicadores disponíveis.

Na sequência, para a execução, foram estabelecidos as seguintes premissas *a priori*: (I) composição por três modelos *fuzzy* – um para a dimensão da saúde, outro para a dimensão ambiental e um último para uma dimensão agregadora das duas anteriores; (II) uso de indicadores para cada dimensão que preferencialmente pudessem ser acessados a partir de bases de dados de acesso *online* e gratuita; (III) fornecimento de uma medida síntese utilizada para fins de tomada de decisão.

A escolha dos indicadores inicialmente considerou propriedades como a qualidade e a comparabilidade. A dimensão da saúde foi composta por três indicadores de mortalidade no campo da atenção básica tendo em vista também a disponibilidade do registro, além daquelas propriedades mencionadas – a taxa de mortalidade infantil, a taxa de mortalidade por doença diarreica aguda (CID A00–A09) para todas as faixas etárias, e a taxa de mortalidade de 1 a 4 anos devido a problemas respiratórios agudos (CID J00-J22). A dimensão ambiental recorreu a três medidas de cobertura de serviços de saneamento básico – coleta de lixo, esgoto e água – por dois motivos; o primeiro em virtude da universalidade

desses serviços não ter ocorrido em países como o Brasil; o segundo por serem as principais medidas mapeadas para escalas geográficas maiores. A tabela 3.1 retoma as dimensões, os indicadores e seus respectivos conceitos, conforme citado anteriormente.

Tabela 3.1 – Identificação da dimensão, do indicador e da conceituação das variáveis selecionadas para compor os modelos *fuzzy* destinados a avaliar a condição de saúde ambiental

Dimensão	Indicador	Conceituação do indicador
Saúde	Taxa de mortalidade Infantil	Número de óbitos de menores de um ano de idade, por mil nascidos vivos, em determinado espaço geográfico, no ano considerado
	Taxa de mortalidade por doença diarreica aguda para todas as faixas etárias	Número de óbitos por doença diarreica aguda (CID A00-A09) em todas as faixas etárias, por cem mil habitantes, em determinado espaço geográfico, no ano considerado
	Taxa de mortalidade de 1 a 4 anos devido a problemas respiratórios agudos	Número de óbitos devido a problemas respiratórios agudos na faixa de 1 a 4 anos (CID J00-J22), pela população de 1 a 4 anos, em determinado espaço geográfico, no ano considerado
Ambiente	Cobertura por serviços de coleta de lixo	População residente coberta por coleta de lixo dividida pelo total da população residente
	Cobertura por sistemas de esgotamento sanitário	População residente coberta por coleta de esgoto dividida pelo total da população residente
	Cobertura por sistemas de abastecimento de água	População residente coberta por abastecimento de água dividida pelo total da população residente

A elaboração da medida integrada para avaliação ocorre segundo o esquema apresentado na figura 3.2, articulando os modelos linguísticos *fuzzy*, a saber: um primeiro destinado a integrar três indicadores no campo ambiental e que origina o Índice de Ambiente (IA); o segundo, análogo, no campo de saúde e que fornece o Índice de Saúde (IS); finalmente, um terceiro, integrador das medidas dos modelos anteriores e que origina o Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA). Todos os índices mencionados são medidas cujos valores variam de zero (pior condição) a dez (melhor condição).

Figura 3.2: Diagrama da arquitetura dos modelos *fuzzy* destinados a avaliar a condição de saúde ambiental

Para o mapeamento das variáveis dos três modelos *fuzzy* poderiam ser utilizados termos linguísticos como “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, de acordo com as necessidades e cujas funções de pertinência são demonstradas nas figuras 3.3, 3.4 e 3.5. Essas funções de pertinência foram definidas pelo pesquisador com consultas a literatura e bases de dados, como o da Organização Mundial de Saúde (OMS).

Figura 3.3: Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo *fuzzy* do ambiente: (A) cobertura por serviços de coleta de lixo, 2000; (B) cobertura por sistemas de esgotamento sanitário, 2000; (C) cobertura por sistemas de abastecimento de água, 2000; (D) Índice de Ambiente

Figura 3.4: Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo *fuzzy* da saúde: (A) taxa de mortalidade infantil, 2007; (B) taxa de mortalidade por doença diarreica aguda para todas as faixas etárias, 2005; (C) taxa de mortalidade de 1 a 4 anos devido a problemas respiratórios agudos, 2005; (D) Índice de Saúde

Figura 3.5: Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo *fuzzy* de saúde ambiental: (A) Índice de Ambiente; (B) Índice de Saúde; (C) Índice Agregado de Saúde Ambiental

Cada modelo *fuzzy* possui a sua base de regras (tabelas 3.2, 3.3 e 3.4), definida também pelo pesquisador.

No modelo do ambiente, com 36 regras, o formato é “SE [*condição da cobertura por serviços de coleta de lixo*] E [*condição da cobertura por sistemas de esgotamento sanitário*] E [*condição da cobertura por sistemas de abastecimento de água*] ENTÃO [*condição do Índice de Ambiente*]”.

No modelo da saúde, também com 36 regras, o formato é “SE [*condição da taxa de mortalidade infantil*] E [*condição da taxa de mortalidade por doença diarréica aguda para todas as faixas etárias*] E [*condição da taxa de mortalidade de 1 a 4 anos por problemas respiratórios agudos*] ENTÃO [*condição do Índice de Saúde*]”.

Finalmente, o modelo agregado de saúde ambiental possui 25 regras “SE [*condição do Índice de Ambiente*] E [*condição do Índice de Saúde*] ENTÃO [*condição do Índice Agregado de Saúde Ambiental*]”.

Tabela 3.2 – Base de regras do modelo *fuzzy* para avaliação do ambiente. CSLixo representa a cobertura por serviços de coleta de lixo; CSEsgoto a cobertura por sistemas de esgotamento sanitário; CSÁgua a cobertura por sistemas de abastecimento de água; IA o Índice de Ambiente

	SE	CSLixo é	E	CSEsgoto é	E	CSÁgua é	ENTÃO	IA é
1	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Muito Baixo</i>
2	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
3	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
4	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Muito Baixo</i>
5	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
6	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
7	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
8	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
9	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
10	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
11	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
12	SE	<i>Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
13	SE	<i>Média</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Muito Baixo</i>
14	SE	<i>Média</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Muito Baixo</i>
15	SE	<i>Média</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
16	SE	<i>Média</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
17	SE	<i>Média</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
18	SE	<i>Média</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
19	SE	<i>Média</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
20	SE	<i>Média</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
21	SE	<i>Média</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
22	SE	<i>Média</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
23	SE	<i>Média</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
24	SE	<i>Média</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
25	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
26	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
27	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
28	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Média</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
29	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
30	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
31	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
32	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Alta</i>	E	<i>Alta</i>	ENTÃO	<i>Muito Alto</i>
33	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Muito Baixo</i>
34	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Muito Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
35	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Baixa</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
36	SE	<i>Alta</i>	E	<i>Média</i>	E	<i>Baixa</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>

Tabela 3.3 – Base de regras do modelo *fuzzy* para avaliação da saúde. TMI representa a taxa de mortalidade infantil; TMDiarr a taxa de mortalidade por doença diarreica aguda para todas as faixas etárias; TMResp a taxa de mortalidade de 1 a 4 anos por problemas respiratórios agudos; IS o Índice de Saúde

	SE	TMI é	E	TMDiarr é	E	TMResp é	ENTÃO	IS é
1	SE	Baixa	E	Baixa	E	Baixa	ENTÃO	Muito alto
2	SE	Baixa	E	Baixa	E	Média	ENTÃO	Alto
3	SE	Baixa	E	Baixa	E	Alta	ENTÃO	Alto
4	SE	Baixa	E	Média	E	Baixa	ENTÃO	Alto
5	SE	Baixa	E	Média	E	Média	ENTÃO	Médio
6	SE	Baixa	E	Média	E	Alta	ENTÃO	Baixo
7	SE	Baixa	E	Alta	E	Baixa	ENTÃO	Médio
8	SE	Baixa	E	Alta	E	Média	ENTÃO	Médio
9	SE	Baixa	E	Alta	E	Alta	ENTÃO	Baixo
10	SE	Média	E	Baixa	E	Baixa	ENTÃO	Alto
11	SE	Média	E	Baixa	E	Média	ENTÃO	Médio
12	SE	Média	E	Baixa	E	Alta	ENTÃO	Médio
13	SE	Média	E	Média	E	Baixa	ENTÃO	Médio
14	SE	Média	E	Média	E	Média	ENTÃO	Médio
15	SE	Média	E	Média	E	Alta	ENTÃO	Baixo
16	SE	Média	E	Alta	E	Baixa	ENTÃO	Médio
17	SE	Média	E	Alta	E	Média	ENTÃO	Baixo
18	SE	Média	E	Alta	E	Alta	ENTÃO	Baixo
19	SE	Alta	E	Baixa	E	Baixa	ENTÃO	Médio
20	SE	Alta	E	Baixa	E	Média	ENTÃO	Médio
21	SE	Alta	E	Baixa	E	Alta	ENTÃO	Baixo
22	SE	Alta	E	Média	E	Baixa	ENTÃO	Médio
23	SE	Alta	E	Média	E	Média	ENTÃO	Baixo
24	SE	Alta	E	Média	E	Alta	ENTÃO	Baixo
25	SE	Alta	E	Alta	E	Baixa	ENTÃO	Baixo
26	SE	Alta	E	Alta	E	Média	ENTÃO	Baixo
27	SE	Alta	E	Alta	E	Alta	ENTÃO	Muito Baixo
28	SE	Muito Alta	E	Baixa	E	Baixa	ENTÃO	Médio
29	SE	Muito Alta	E	Baixa	E	Média	ENTÃO	Médio
30	SE	Muito Alta	E	Baixa	E	Alta	ENTÃO	Baixo
31	SE	Muito Alta	E	Média	E	Baixa	ENTÃO	Médio
32	SE	Muito Alta	E	Média	E	Média	ENTÃO	Baixo
33	SE	Muito Alta	E	Média	E	Alta	ENTÃO	Muito Baixo
34	SE	Muito Alta	E	Alta	E	Baixa	ENTÃO	Muito Baixo
35	SE	Muito Alta	E	Alta	E	Média	ENTÃO	Muito Baixo
36	SE	Muito Alta	E	Alta	E	Alta	ENTÃO	Muito Baixo

Tabela 3.4 – Base de regras do modelo *fuzzy* de saúde ambiental. IA representa o Índice de Ambiente; IS o Índice de Saúde; IASA o Índice Agregado de Saúde Ambiental

	SE	IA é	E	IS é	ENTÃO	IASA é
1	SE	<i>Muito Alto</i>	E	<i>Muito Alto</i>	ENTÃO	<i>Muito Alto</i>
2	SE	<i>Muito Alto</i>	E	<i>Alto</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
3	SE	<i>Muito Alto</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
4	SE	<i>Muito Alto</i>	E	<i>Baixo</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
5	SE	<i>Muito Alto</i>	E	<i>Muito Baixo</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
6	SE	<i>Alto</i>	E	<i>Muito Alto</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
7	SE	<i>Alto</i>	E	<i>Alto</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
8	SE	<i>Alto</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
9	SE	<i>Alto</i>	E	<i>Baixo</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
10	SE	<i>Alto</i>	E	<i>Muito Baixo</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
11	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Muito Alto</i>	ENTÃO	<i>Alto</i>
12	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Alto</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
13	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
14	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Baixo</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
15	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Muito Baixo</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
16	SE	<i>Baixo</i>	E	<i>Muito Alto</i>	ENTÃO	<i>Médio</i>
17	SE	<i>Baixo</i>	E	<i>Alto</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
18	SE	<i>Baixo</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
19	SE	<i>Baixo</i>	E	<i>Baixo</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
20	SE	<i>Baixo</i>	E	<i>Muito Baixo</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
21	SE	<i>Muito Baixo</i>	E	<i>Muito Alto</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
22	SE	<i>Muito Baixo</i>	E	<i>Alto</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
23	SE	<i>Muito Baixo</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Baixo</i>
24	SE	<i>Muito Baixo</i>	E	<i>Baixo</i>	ENTÃO	<i>Muito Baixo</i>
25	SE	<i>Muito Baixo</i>	E	<i>Muito Baixo</i>	ENTÃO	<i>Muito Baixo</i>

Com vistas a investigar o modelo foram obtidos os valores dos indicadores para os estados e capitais do Brasil acessando o portal do Datasus (Ministério da Saúde) que além de informações da saúde contemplava dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apresentados na seção seguinte dos resultados. Nesse instante, a título de ilustração da operação dos modelos *fuzzy* concebidos, o estado do Paraná foi selecionado. Como mencionado, o procedimento inicial corresponde à consulta *online* aos bancos de dados onde são obtidos os valores dos indicadores de saúde e ambiente, como ilustra o quadro 3.1.

Quadro 3.1: Valores dos indicadores componentes do modelo *fuzzy* do ambiente e da saúde para o estado do Paraná obtidos nos portais do Datasus e IBGE em novembro de 2010

Modelo Fuzzy do Ambiente:

Cobertura por serviços de coleta de lixo: 82,09%

Cobertura por sistemas de esgotamento sanitário: 51,58%

Cobertura por sistemas de abastecimento de água: 82,58%

Modelo Fuzzy da Saúde:

Taxa de mortalidade Infantil: 13,22

Taxa de mortalidade por doença diarreica aguda: 1,86

Taxa de mortalidade devido a problemas respiratórios agudos: 4,72

A inferência se refere ao processamento das informações nesses modelos tipo Mamdani. Os dados dos indicadores, com seus graus de pertinência, acionam os conjuntos *fuzzy* e também a base de regras.

No modelo do ambiente, o indicador cobertura por serviços de coleta de lixo, por exemplo, é igual a 82,09%. Retomando a figura 3.3a, observa-se que esse valor está em uma região transitória, ou seja, de incerteza de classificação, correspondente a dois conjuntos *fuzzy*

identificados pelas variáveis linguísticas “média” e “alta”, com distintos graus de pertinência diferentes de zero ($\mu \neq 0$). De modo análogo, a cobertura por sistemas de esgotamento sanitário, igual a 51,58%, tem região de transição entre os conjuntos “baixa” e “média”; a cobertura por sistemas de abastecimento de água, igual a 82,58%, entre os conjuntos “média” e “alta”. Por consequência, oito regras descritas na tabela 3.2 são ativadas com diferentes graus de ativação não nulos, a saber: regras 18, 19, 22, 23, 30, 31, 35 e 36.

Um operador matemático trata da intersecção entre os conjuntos *fuzzy* dos antecedentes das regras e outro operador promove a união dos consequentes. A etapa de defuzificação é conclusiva, pois, por meio do cálculo do centro de área origina-se o valor do IA.

A mesma operação ocorre em paralelo no modelo da saúde, a fim de se obter o IS. Por fim, dá-se início ao terceiro e último processamento de informações, dessa vez no modelo *fuzzy* agregado, que recebe os IA e IS como variáveis de entrada (*inputs*). O IASA, portanto, é fruto do último processo de defuzificação nesse esquema de avaliação.

3.3. Estudo da condição de saúde ambiental em países desenvolvidos com uso de uma medida integrada

O estudo subsequente teve seu desenvolvimento durante período de estágio de doutoramento em Portugal, entre maio de 2011 e fevereiro de 2012, com envolvimento do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.

O problema da investigação consistia em auxiliar um órgão público a elaborar um sistema classificador que permitisse diferenciar os municípios componentes de uma região na área de saúde ambiental. Para tanto se optou por um modelo *fuzzy*, baseado no conhecimento de especialistas atuantes na esfera pública e gerencial, tomando como base informações quantitativas e, também, qualitativas.

O Estado português, membro da União Européia, segue uma estrutura comum das unidades territoriais estatísticas (NUTS). No segundo nível de classificação (NUTS II), Portugal continental é composto pelas regiões Norte, Centro, Lisboa, Alentejo e Algarve. Essa última corresponde à faixa litorânea no sul do país e foi objeto do segundo estudo, motivado pela parceria entre o grupo de pesquisa e a sede regional do Ministério da Saúde, a Administração de Saúde Regional do Algarve (ARS-Algarve). A figura 3.6 é um esquema que relaciona a região em foco e os dezesseis municípios que a compõem.

Figura 3.6: Região do Algarve e municípios componentes (em destaque); perspectiva de Portugal e suas regiões (na parte inferior à direita da figura)

O modelo *fuzzy* em questão tinha como objetivo analisar a condição de saneamento ambiental dos municípios nos últimos dez anos e apoiar uma parte do processo de trabalho da ARS-Algarve. Sua concepção foi pautada em três premissas: (I) baseado no conhecimento e decisões oriundas do grupo de especialistas em saúde pública envolvidos com saúde ambiental; (II) baseado em informação qualitativa e quantitativa disponível nos últimos sete anos no cotidiano de atividades dos profissionais; (III) com o objetivo operacional de fornecer uma medida numérica e representativa da síntese da condição ambiental para o ano de 2011.

Para fazer parte do grupo considerado de especialistas era necessário o atendimento a dois critérios – ser servidor público da ARS-Algarve com atuação na área de saúde ambiental e disponibilidade para participação voluntária em uma série de reuniões, com duração entre 60 e 90 minutos. Atuaram como participantes quatro profissionais da área de

engenharia ambiental e com tempo médio de atuação na instituição de dez anos. A programação de reuniões envolvia atividades sequenciais conforme demonstra o quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Planejamento das reuniões com profissionais selecionados para elaborar o modelo *fuzzy* destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal

1. Conhecimento e compreensão de conceitos iniciais da Lógica <i>Fuzzy</i> 2. Definição do objetivo e estrutura do modelo <i>fuzzy</i> 3. Aplicação de conceitos da Lógica <i>Fuzzy</i> na elaboração do modelo 4. Estudos piloto 5. Avaliação de resultados oriundos do modelo <i>fuzzy</i> 6. Análise do processo de elaboração do modelo <i>fuzzy</i> e resultados

A figura 3.7 é um diagrama que representa a arquitetura da proposta consensual entre os participantes. Para avaliar a condição daquela região ficou definido serem necessários dois parâmetros, considerados como “panoramas” de uma única dimensão, o saneamento ambiental.

O primeiro deles, denominado “panorama favorável” da condição de saneamento ambiental, foi descrito como “expressão numérica da análise de indicadores e informações qualitativas que atuam em direção positiva, promotora ou potencialmente indutora da condição de saúde ambiental”. Em outra direção, o “panorama desfavorável” representa “expressão numérica da análise de indicadores e informações qualitativas que atuam em direção não considerada como salutogênica”.

A medida numérica em questão variava de zero a dez, atribuindo assim uma espécie de uma nota para as avaliações realizadas

pelos especialistas. Os parâmetros não eram interpretados como complementares, ou seja, um panorama favorável igual a seis não implicava no desfavorável igual a quatro. O “cenário de saneamento ambiental”, denominação dada para a resultante de ambos os parâmetros, tinha como uma medida síntese, também variável entre zero e dez, o “Índice de Saneamento Ambiental” (ISA).

Nesse modelo *fuzzy* a decisão sobre quais seriam os valores dos panoramas é baseada na opinião do especialista, representando o seu conhecimento heurístico e também com o uso de informações qualitativas e quantitativas como apoio.

Figura 3.7: Diagrama da arquitetura do modelo *fuzzy* destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal

Os termos linguísticos e as funções de pertinência, oriundos de decisões dos participantes, estão ilustrados na figura 3.8.

Figura 3.8: Funções de pertinência das variáveis linguísticas do modelo *fuzzy* de avaliação da condição de saúde ambiental da região do Algarve, Portugal: (A) Panorama favorável de saneamento ambiental; (B) Panorama desfavorável de saneamento ambiental; (C) Cenário de saneamento ambiental

A regra linguística desse modelo *fuzzy* tinha o formato “SE [condição de panorama favorável] E [condição de panorama desfavorável] ENTÃO [condição de cenário de saneamento ambiental]”. Um total de dezesseis regras, definidas pelos profissionais, compõe a base de regras, descritas na tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Base de regras definidas pelos profissionais para o modelo *fuzzy* destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal. PD representa o Panorama desfavorável de saneamento ambiental; PF o panorama favorável de saneamento ambiental e CSA o Cenário de saneamento ambiental

	SE	PF é	E	PD é	ENTÃO	CSA é
1	SE	<i>Muito</i>	E	<i>Muito pouco</i>	ENTÃO	<i>Muito bom</i>
2	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Muito pouco</i>	ENTÃO	<i>Bom</i>
3	SE	<i>Pouco</i>	E	<i>Muito pouco</i>	ENTÃO	<i>Regular</i>
4	SE	<i>Muito pouco</i>	E	<i>Muito pouco</i>	ENTÃO	<i>Ruim</i>
5	SE	<i>Muito</i>	E	<i>Pouco</i>	ENTÃO	<i>Bom</i>
6	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Pouco</i>	ENTÃO	<i>Regular</i>
7	SE	<i>Pouco</i>	E	<i>Pouco</i>	ENTÃO	<i>Ruim</i>
8	SE	<i>Muito pouco</i>	E	<i>Pouco</i>	ENTÃO	<i>Ruim</i>
9	SE	<i>Muito</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Regular</i>
10	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Ruim</i>
11	SE	<i>Pouco</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Ruim</i>
12	SE	<i>Muito pouco</i>	E	<i>Médio</i>	ENTÃO	<i>Muito ruim</i>
13	SE	<i>Muito</i>	E	<i>Muito</i>	ENTÃO	<i>Ruim</i>
14	SE	<i>Médio</i>	E	<i>Muito</i>	ENTÃO	<i>Muito ruim</i>
15	SE	<i>Pouco</i>	E	<i>Muito</i>	ENTÃO	<i>Muito ruim</i>
16	SE	<i>Muito pouco</i>	E	<i>Muito</i>	ENTÃO	<i>Muito ruim</i>

A figura 3.9 esquematiza a operação do modelo *fuzzy*.

Figura 3.9: Diagrama representando a operação do modelo *fuzzy* destinado a avaliar a condição de saúde ambiental do Algarve, Portugal. (A) procedimentos iniciais; (B) processamento; (C) conclusão

Os pontos de partida são os dois valores, entre zero e dez, que representam os parâmetros, considerados como entradas ou *inputs* (fig. 3.9a). O processo formal para obtenção dessa medida de opinião era alicerçado, também, na consulta a uma lista de referência, cuja seleção de componentes foi elaborada pelos profissionais e está descrita na tabela 3.6. Ela compreende indicadores locais comumente monitorados pelo setor público, particularmente o Instituto Nacional de Estatística (INE-Portugal), o Ministério de Saúde e Agência Ambiental Portuguesa.

Tabela 3.6 – Lista de indicadores quantitativos disponíveis aos especialistas, organizados por categoria e ano, para apoio ao julgamento e fornecimento do panorama favorável e panorama desfavorável (parâmetros de entrada do sistema)

Categoria	Indicador	Ano
Demografia	População residente	2001, 2011
	Densidade populacional	2009
Saúde	Taxa quinquenal de mortalidade infantil	2005-2009
	Taxas de mortalidade anual para causas selecionadas	2009
	Cobertura populacional de abastecimento de água	2008
Utilização e qualidade da água	Consumo de água em metros cúbicos por habitantes	2007
	Relatórios sobre análises da qualidade da água em cumprimento com padrões estabelecidos	2009
	Relatórios sobre qualidade das zonas balneares	2010
Produção e tratamento de resíduos	Cobertura de recolhimento do lixo	2009
	Cobertura de lixo seletivo recolhido	2009
	Cobertura de estação de tratamento de águas residuais e esgotamento sanitário	2008
Poluição do ar	Relatórios da poluição do ar na região do Algarve	2004
Financiamento	Gastos públicos na área ambiental por 1000 habitantes	2009

As entradas do modelo *fuzzy*, por sua vez, dão início ao processamento da informação (fig. 3.9b). Elas ativam todas as regras SE-ENTÃO. No entanto, dependendo do valor, algumas regras são ativadas com o seu grau de pertinência diferente de zero ($\mu \neq 0$). O método de inferência Mamdani, selecionado para esse modelo, utiliza o operador matemático mínimo para promover a intersecção entre os conjuntos *fuzzy*

dos antecedentes das regras e, o operador máximo para compor o resultado final, com uma junção de todos os consequentes.

Na fase de conclusão (fig. 3.9c) ocorre a *defuzificação* e o valor numérico síntese do cenário de saneamento ambiental (*output*), o Índice de saneamento ambiental (ISA), é gerado.

3.4. Análises desenvolvidas

Após a concepção dos modelos linguísticos *fuzzy* com as medidas integradas, a etapa subsequente contemplou a investigação da viabilidade das propostas e potencial para uso e aplicação. Para essa finalidade os resultados foram comparados de maneira qualitativa, com a literatura, e também com outras medidas quantitativas, com análises de correlação.

No estudo que originou o IASA as medidas selecionadas foram o Produto Interno Bruto *per capita* (PIB *per capita*), o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e um indicador referente ao número de internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, fornecido pelo IBGE. No estudo com o ISA, além das medidas de sustentabilidade como o PIB *per capita* e o IDH, um indicador mais específico, o Índice Sintético de Qualidade de Vida (ISQV), também compôs as análises.

3.5. Considerações sobre Ética em Pesquisa

Seguindo Resolução 196/1996 do Conselho Nacional de Saúde (Ministério da Saúde), a Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa (CAPPesq) da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, apreciou e aprovou o presente projeto com número de registro 0969/09.

4. RESULTADOS

Inicialmente, para apresentar os resultados, elaboramos a tabela-síntese 4.1, uma comparação dos estudos realizados acerca da medida integrada de saúde e ambiente.

Tabela 4.1 – Tabela comparativa dos estudos de medida integrada de saúde e ambiente aplicada para países em desenvolvimento e para países desenvolvidos

Variável comparativa	Estudo de medida integrada em países em desenvolvimento	Estudo de medida integrada em países desenvolvidos
País e período de realização	Brasil setembro/10 a março/11	Portugal junho/11 a maio/12
Instituição acadêmica de apoio	Universidade de São Paulo	Universidade de Lisboa
Instituição externa de apoio	Observatório de Saúde da Região Metropolitana de São Paulo	Administração Regional de Saúde do Algarve (ARS-Algarve)
Aplicação do estudo	Avaliar a saúde ambiental de estados e capitais	Avaliar a condição do saneamento ambiental dos municípios
Localidade geográfica de investigação	Estados e capitais do Brasil	Municípios do Algarve
Dimensões	Saúde e Ambiente	Panorama Favorável e Panorama Desfavorável de Saneamento Ambiental
Informações componentes	Taxas de mortalidade no escopo da atenção básica; Indicadores de cobertura de serviços de saneamento básico	Medidas quantitativas no escopo de saneamento ambiental; Medidas de saúde; Informações qualitativas; Medidas de opinião
Medida integrada de saúde e ambiente	Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA)	Índice de Saneamento Ambiental (ISA)

4.1. Resultados do estudo da condição de saúde ambiental dos estados e das capitais do Brasil

Os indicadores utilizados nos modelos *fuzzy* faziam referência ao período de 2000 a 2007. O censo demográfico do ano 2000 (IBGE) foi usado para os dados de ambiente. Os dados de saúde foram oriundos do Datasus – as taxas de mortalidade por diarreia e doenças respiratórias foram calculadas para o ano de 2005 e a taxa de mortalidade infantil para 2007. Na tabela 4.2 estão os valores dos indicadores IS, IA e IASA, dos estados, ordenados de modo crescente segundo a última coluna à direita.

Os menores valores encontrados para os indicadores são: 2,50 para o IS no estado de Alagoas; 0,89 para o IA em Rondônia e; 2,33 para o IASA no estado do Acre. O Distrito Federal obteve os maiores indicadores, em todas as dimensões, a saber: IS igual a 7,75; IA igual a 8,19 e; IASA igual a 7,52.

As médias dos valores dos componentes de saúde e ambiental foram, respectivamente 5,41 ($\pm 1,37$) e 4,09 ($\pm 1,88$). Abaixo do valor médio de 4,17 ($\pm 1,65$) para o componente integrador, o IASA, estavam os estados da região norte e nordeste, com exceção de Roraima, com resultado acima dele.

Tabela 4.2 – Valores do Índice de Saúde (IS), Índice de Ambiente (IA) e Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) dos estados brasileiros

Estado	IS	IA	IASA
Acre	3,30	1,60	2,33
Rondônia	6,16	0,89	2,50
Amapá	6,83	2,39	2,50
Maranhão	4,02	2,40	2,50
Alagoas	2,50	2,50	2,50
Mato Grosso do Sul	4,41	2,50	2,50
Mato Grosso	6,53	2,50	2,50
Piauí	4,58	2,84	2,94
Ceará	4,85	2,93	3,03
Pará	4,61	2,96	3,06
Tocantins	5,38	3,25	3,34
Goiás	6,09	3,24	3,40
Paraíba	3,96	3,50	3,56
Rio Grande do Norte	4,23	3,70	3,70
Bahia	5,16	3,76	3,76
Sergipe	3,95	3,90	3,87
Pernambuco	4,17	3,93	3,89
Amazonas	4,64	3,95	3,91
Paraná	6,93	4,89	4,84
Espírito Santo	6,98	5,64	5,74
Rio Grande do Sul	7,39	5,78	5,86
Roraima	4,98	5,83	5,88
Santa Catarina	6,90	5,90	5,97
Minas Gerais	6,65	6,12	6,15
Rio de Janeiro	6,48	7,32	7,21
São Paulo	6,70	8,00	7,50
Distrito Federal	7,75	8,19	7,52

A figura 4.1 utiliza a gradação de cores para representar os resultados de IS e IA. O padrão mais escuro identifica os maiores valores. Em geral coincide, nas regiões sul e sudeste, tanto para o componente da saúde quanto ambiental.

Na faixa de valores mais elevados do IS, entre 6,83 e 7,75, na figura 4.1a estão os estados do Paraná, Amapá, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e o Distrito Federal. A faixa dos maiores valores do IA na figura 4.1b, entre 7,32 e 8,19, contempla São Paulo, Rio de Janeiro e Distrito Federal. Esse último, portanto, é o único a figurar com ambos os componentes mais elevados no país.

Os tons mais claros e indicativos de menores valores dos indicadores estão concentrados principalmente na região norte, nordeste e em parte da centro-oeste. A menor faixa do IS, entre 2,50 e 3,30, inclui os estados do Acre e Alagoas. Em relação ao IA, entre 0,89 e 1,50, novamente se encontra o estado do Acre e também Rondônia.

Ao comparar a figura 4.1a e 4.1b e com apoio da tabela 4.2 observa-se que o valor do IA é superior ao IS nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e no Distrito Federal. As maiores diferenças entre esses componentes, com os valores de IS mais elevados que o IA, ocorre nos estados de Rondônia, Amapá, Tocantins, Mato Grosso, Goiás e Paraná.

Figura 4.1: Representação gráfica do (A) Índice de Saúde (IS) e (B) Índice de Ambiente (IA) para os estados brasileiros

A tabela 4.3 descreve o IS, IA e IASA para as capitais.

Os menores valores encontrados para os indicadores são 4,12 para o IS em Rio Branco e 2,50 tanto para o IA quanto para o IASA na cidade de Campo Grande. Os maiores valores dos indicadores são 9,20 para o IA em Vitória, 8,02 para o IS e 7,58 para o IASA, ambos em Belo Horizonte. As capitais com os menores e os maiores valores do IS, IA e IASA não correspondem àquelas cujos estados tiveram o mesmo desempenho.

Nas capitais, os valores médios e respectivos desvios padrão do IS e do IA, respectivamente 6,26 ($\pm 0,94$) e 6,58 ($\pm 1,96$), são mais elevados quando comparados aos estados e, do mesmo modo, o IASA médio de 6,20 ($\pm 1,66$). Oito capitais estavam abaixo da média em relação ao IASA, a saber: Campo Grande, Macapá, Rio Branco, Porto Velho, Maceió, São Luís, Recife, Manaus e João Pessoa.

A cidade de Vitória não tinha disponível, na base *online*, um dos indicadores do grupo da saúde e, por esse motivo, não possui cálculo do IS e IASA.

Tabela 4.3 – Valores do Índice de Saúde (IS), Índice de Ambiente (IA) e Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) das capitais brasileiras

Capital	IS	IA	IASA
Campo Grande	5,77	2,50	2,50
Macapá	7,50	2,59	2,63
Rio Branco	4,12	3,22	3,34
Porto Velho	5,73	3,38	3,45
Maceió	5,54	4,35	4,25
São Luís	5,79	4,54	4,40
Recife	5,63	5,73	5,82
Manaus	6,19	5,67	5,88
João Pessoa	5,53	5,95	6,01
Palmas	6,51	6,24	6,24
Fortaleza	5,86	6,26	6,26
Belém	5,54	6,37	6,35
Natal	5,94	7,00	6,84
Cuiabá	6,52	7,27	7,14
Teresina	5,02	7,53	7,50
Goiânia	6,36	7,56	7,50
Salvador	5,25	7,70	7,50
Aracaju	5,92	7,70	7,50
Curitiba	7,08	8,57	7,50
Boa Vista	6,32	7,51	7,50
Rio de Janeiro	6,64	8,73	7,50
São Paulo	6,57	8,23	7,50
Florianópolis	7,65	8,57	7,51
Brasília	7,75	8,19	7,52
Porto Alegre	8,00	8,39	7,56
Belo Horizonte	8,02	8,67	7,58
Vitória ¹	-	9,20	-

1. Os valores de um dos indicadores componentes do IS não estavam disponíveis na base de dados *online*.

Os resultados do IASA dessa seção estão resumidos na figura 4.2 onde, além da gradação de cores para representar os estados, a área do círculo é proporcional aos valores nas capitais.

Figura 4.2: Representação gráfica do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) dos estados e capitais brasileiros

Consideramos que relacionar o IASA com outras medidas pode ser um modo de investigar a plausibilidade dos resultados, além de compor a avaliação de cenários do país e apoiar a formulação de algumas hipóteses, que trataremos na seção de discussão. Nesse sentido, analisamos a correlação de Spearman do IASA com três indicadores de sustentabilidade.

O primeiro refere-se ao Produto Interno Bruto *per capita* (PIB *per capita*), segundo dados do IBGE para o ano de 2008 (fig. 4.3a). Há uma boa correlação entre PIB e IASA nos estados ($\rho=0,621$ e $p=0,001$). Tomando como referência Minas Gerais, cujo IASA é igual a 6,15, e traçando uma reta horizontal identificamos que, embora o seu PIB *per capita* fosse semelhante à Amazonas, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, esses últimos estados tiveram um desempenho inferior do IASA, respectivamente igual a 3,91 e 2,50. O estado do Paraná, com IASA igual a 4,84, também promove uma divisão – à sua direita concordam os maiores valores do indicador e também do PIB *per capita* no país, excetuando Minas Gerais e Roraima.

Na figura 4.3b vemos a dispersão entre o PIB *per capita* e o IASA nas capitais, cuja correlação de Spearman é moderada ($\rho=0,437$ e $p=0,002$). O IASA acima do valor sete concentra uma grande parcela das capitais, porém é notória a variação do PIB *per capita*. Brasília, com IASA igual a 7,52 possui um PIB *per capita* de aproximadamente cinquenta mil. Teresina, com IASA igual a 7,50, apresenta PIB *per capita* cinco vezes menor. Outra observação de disparidade diz respeito à faixa de PIB entre

dez e quinze mil, pois nela identificamos tanto o menor IASA do país – igual a 2,50, em Campo Grande – quanto os maiores valores, iguais a 7,50.

Figura 4.3: Gráficos de dispersão para valores do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) e PIB *per capita* (IBGE, 2008). (A) Estados brasileiros e (B) capitais brasileiras

Em uma segunda análise, na figura 4.4, utilizamos o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) calculado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Tal medida de sustentabilidade é composta, além da renda, com o indicador PIB *per capita*, por outras dimensões como educação e saúde, articuladas com a finalidade de mensurar situações sobre a qualidade de vida.

Na figura 4.4a temos o gráfico de dispersão do IDH e IASA dos estados, cuja correlação é moderada ($\rho=0,567$ e $p<0,001$). No IASA igual a 2,50 fica notória uma discrepância do IDH: condições menos favoráveis, como do Maranhão e Alagoas, com IDH menor que 0,700 ou, do contrário, valores bem mais elevados, com IDH aproximadamente a 0,800, nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. No IASA superior a 5,0 estão, em geral, os estados do sul e sudeste, com IDH acima de 0,800 e, portanto, os maiores do país. Há, contudo, uma exceção: também faz parte Roraima, um estado da região norte com IDH igual a 0,750 e IASA 5,88.

Nas capitais, destaca-se no gráfico de dispersão uma ampla faixa de variação do IDH – entre 0,740 e 0,900 – para o maior valor do IASA no país, igual a 7,50. De fato, a correlação de Spearman entre essas variáveis é muito boa ($\rho=0,706$ e $p<0,001$). Outra condição novamente evidente é a de Campo Grande – embora apresente um IDH elevado, igual a 0,814, o IASA é o mais baixo, igual a 2,50.

Figura 4.4: Gráfico de dispersão para valores do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) e IDH (PNUD, 2005). (A) Estados brasileiros e (B) capitais brasileiras

A terceira análise utiliza um componente dos indicadores de desenvolvimento sustentável monitorados pelo IBGE. Comparamos o IASA dos estados com o número de internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, ou seja, aquelas que podem estar associadas ao abastecimento de água deficiente, ao esgotamento sanitário insuficiente, à contaminação por resíduos sólidos ou às condições precárias de moradia.

A figura 4.5 ilustra uma forte correlação negativa ($\rho=-0,850$ e $p<0,001$), que era esperada. Tomando o IASA igual a 4,84, valor do estado do Paraná, como patamar, observamos dois cenários. O primeiro, quando o valor do IASA é igual ou superior àquele valor. Nesse cenário estão os estados do sul e sudeste, além de Roraima figurar novamente como uma exceção. O número máximo encontrado é de trezentas internações por cem mil habitantes. Como contraponto, abaixo do IASA de 4,84, concentram-se os estados do norte, nordeste e centro-oeste. Nesses casos o número de internações pode oscilar acima de trezentas e até mil internações por cem mil habitantes.

Figura 4.5: Gráfico de dispersão para valores do Índice Agregado de Saúde Ambiental (IASA) dos estados brasileiros e número de internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (IBGE, 2005)

4.2. Resultados do estudo da condição de saúde ambiental da região do Algarve, Portugal

Na tabela 4.4 estão descritos, de modo crescente, os valores do Índice de Saneamento Ambiental (ISA) originados pelo modelo *fuzzy* para os dezesseis municípios da região do Algarve. Destacamos que Monchique obteve o menor valor do ISA, igual a 2,6, e Loulé o maior valor, igual a 7,2.

Tabela 4.4 – Valores do Índice de Saneamento Ambiental (ISA) obtidos para 2011 dos municípios portugueses da região do Algarve

Município	ISA
Monchique	2,6
Silves	3,5
Alcoutim	4,0
Vila do Bispo	4,1
Aljezur	4,3
Olhão	4,3
Castro Marim	4,3
São Brás do Aportel	4,8
Faro	5,1
Lagoa	5,4
Tavira	5,4
Lagos	5,6
Vila Real de Santo Antonio	6,5
Portimão	6,7
Albufeira	6,7
Loulé	7,2

A figura 4.6 representa, com uma gradação de cor, os valores do ISA na região. As tonalidades mais fortes, observadas no centro e na fronteira com a Espanha (lado direito da figura), fazem referência aos melhores cenários de saneamento ambiental. Municípios mais interiores, como Alcoutim, Silves, Monchique e Aljezur tiveram os piores desempenhos desse indicador. Por outro lado, aqueles na região litorânea centro-leste, como Loulé, Albufeira ou Faro destacam-se de modo positivo.

Figura 4.6: Representação gráfica do Índice de Saneamento Ambiental (ISA) obtido para 2011 dos municípios portugueses na região do Algarve

Na tabela 4.5 comparamos o ISA com dois indicadores na área de sustentabilidade, porém envolvendo outros arcabouços teóricos e metodológicos. Ambos são investigados e utilizados no território português. O INE-Portugal divulga-os em anuários ou publicações periódicas.

O primeiro deles é o Índice de Desenvolvimento Humano calculado para Municípios (IDH-M). O segundo é o Indicador Sintético de Qualidade de Vida (ISQV), com metodologia adaptada pelo Observatório para o Desenvolvimento Econômico-Social da Universidade da Beira Interior. Esse último contempla dimensões como aquelas relacionadas a habitação, segurança ou transporte.

Tabela 4.5 – Valores do Índice de Saneamento Ambiental (ISA) obtidos para 2011, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) para 2004 e Índice Sintético de Qualidade de Vida (ISQV) para 2006 dos municípios portugueses da região do Algarve

Município	ISA, 2011	IDH-M, 2004	ISQV, 2006
Monchique	2,6	0,847	51,856
Silves	3,5	0,890	68,471
Alcoutim	4,0	0,802	39,733
Vila do Bispo	4,1	0,888	73,097
Aljezur	4,3	0,860	68,936
Olhão	4,3	0,901	71,032
Castro Marim	4,3	0,868	72,065
São Brás do Aportel	4,8	0,921	67,937
Faro	5,1	0,917	84,012
Lagoa	5,4	0,912	82,836
Tavira	5,4	0,891	75,767
Lagos	5,6	0,914	92,985
Vila Real de Santo Antonio	6,5	0,922	82,289
Portimão	6,7	0,915	87,942
Albufeira	6,7	0,919	113,398
Loulé	7,2	0,907	87,825

Observamos que municípios como Vila Real de Santo Antonio, Portimão, Albufeira e Loulé apresentaram os melhores desempenhos do ISA. O IDH-M e o ISQV, que mensuram aspectos complementares da condição de sustentabilidade, também foram elevados naquele grupo.

O gráfico de dispersão da figura 4.7a demonstra uma correlação muito boa entre o ISA e o IDH-M ($\rho=0,728$ e $p=0,004$); e na figura 4.7b a forte correlação entre o ISA e o ISQV ($\rho=0,859$ e $p=0,005$). Alcoutim e Monchique ficaram evidentes como os municípios com as condições menos favoráveis considerando o saneamento ambiental e aspectos da qualidade de vida.

Figura 4.7: Gráficos de dispersão para indicadores e municípios portugueses da região do Algarve. (A) Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M, 2004) e Índice de Saneamento Ambiental (ISA, 2011) (B) Índice Sintético de Qualidade de vida (ISQV, 2006) e Índice de Saneamento Ambiental (ISA, 2011)

5. DISCUSSÃO

5.1. Considerações sobre a medida integrada de saúde e ambiente no contexto brasileiro

Nesta tese, a investigação de medidas integradas em países em desenvolvimento partiu da diversidade do tema de saúde ambiental para enfocar indicadores no escopo do saneamento básico e da atenção primária em saúde. Isso é justificável uma vez que esses temas permanecem na agenda de prioridades. Além desse aspecto, o acesso à informação poderia ser obtido com mais facilidade, uma vez que medidas baseadas na mortalidade e na cobertura de serviços de saneamento são mais constantes nos sistemas de monitoramento daqueles países.

Particularmente no Brasil, escolhido para a análise dos modelos *fuzzy*, tivemos evidências de aquelas questões serem mesmo prementes. Embora constem há mais de dez anos em documentos como a Agenda 21 brasileira e os Objetivos do Milênio, ainda continuam como desafios.

Os resultados aqui discutidos foram oriundos de modelos *fuzzy* alimentados por indicadores com os dados consultados em bases *online* do Ministério da Saúde. Cabe salientar que, embora o portal apresentasse um vasto rol de medidas em saúde, não encontramos o mesmo na área ambiental. Outrossim, as medidas de saneamento básico disponíveis

permaneciam do censo demográfico de 2000 (IBGE). Portanto, nessa área ratificamos que há necessidade de investimentos que visem aumentar a diversidade e a regularidade de informações.

Uma característica dos modelos *fuzzy* é a de permitir o cálculo da medida integrada com referência a diferentes períodos de tempo ou localidades geográficas, desde que as informações dos indicadores estejam disponíveis. Como um de nossos pressupostos era fomentar e potencializar o uso das bases públicas e gratuitas, a defasagem temporal nos indicadores ambientais ocorreu em virtude de aqueles serem os disponíveis no momento da investigação.

Os dados do censo demográfico de 2010 ainda tem acesso restrito junto ao IBGE. Entretanto, para ilustrar a situação atual brevemente apontamos a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008). Embora a metodologia seja distinta ao censo, esse estudo revelou que o abastecimento de água e a coleta de lixo já atingiram grande parcela dos municípios. Contudo, a rede de esgoto permanece preocupante com cobertura que, no geral, não chegou a metade das cidades no país.

A análise dos resultados sugere a viabilidade de uma medida agregada por modelos *fuzzy* para apoiar a tomada de decisão. O IASA teve a capacidade de retratar a condição dos estados e capitais brasileiros, evidenciando um panorama de desigualdade, conforme o esperado.

Os valores dos componentes do IASA – o IS e o IA – permitem formular a hipótese de dois padrões. Um mais ampliado, em relação à saúde, no qual o predomínio das melhores condições ocorreu no sul, no

sudeste e parte do centro-oeste; e outro mais restrito, referente à questão de saneamento básico, cujos valores mais elevados foram encontrados apenas nas regiões sul e sudeste. Assim, o IASA caracterizou o norte, o nordeste e parte do centro-oeste como os perfis mais negativos de saúde ambiental. Essa questão, em conjunto com fatores como urbanização desordenada e carência de políticas públicas, possivelmente acentua o desfavorecimento das condições de vida (Heller, 1998; Soares et al., 2002; Giatti, 2007).

Ao modificar a escala para os estados e as capitais, parece existir, na sequência, situações que mereceriam maior atenção do ponto de vista do poder público e da mobilização dos cidadãos. A primeira delas fez referência a um grupo cuja assistência classificaríamos como prioritária. Ele ficou composto pelos estados do Acre, Rondônia, Amapá, Maranhão e Alagoas, cujo IASA foi igual ou inferior a 2,50, e suas respectivas capitais, que apresentaram os valores do IASA inferior a 4,40.

O oposto, ou seja, a situação mais favorável no país acerca de saúde ambiental localizou-se no Distrito Federal e Brasília, cabendo a ressalva da extensão territorial e populacional que ambos encerram. Assim, ampliando o enfoque, o grupo cujos valores do IASA foram mais elevados correspondeu aos estados e capitais da região sul e sudeste. Surgiram, contudo, duas exceções: Paraná, porque apresentou, entre todos os estados do sul e sudeste, o menor valor do indicador de saúde ambiental; Roraima visto que se diferenciou positivamente em toda a região norte e nordeste, obtendo IASA superior inclusive a estados como Espírito Santo e Rio Grande do Sul.

Outra observação diz respeito a comparação do IASA com diferentes medidas de sustentabilidade. Esse procedimento auxiliou a reflexão sobre a plausibilidade dos resultados do IASA. As análises de correlação e também os achados da literatura atuaram como balizas. O esperado era que o IASA apontasse para direções, ou seja, interpretações semelhantes. Essa foi uma etapa importante para demonstrar a viabilidade da medida integrada.

Indicadores como o PIB *per capita* e o IDH tiveram uma correlação positiva com o IASA, que era esperada e se confirmou. Contudo, embora ambas as medidas façam parte do mesmo debate, elas não captam as mesmas dimensões de sustentabilidade que o IASA. O PIB *per capita* mensura aspectos econômicos, ou seja, o fluxo de riqueza, enquanto que o IDH é uma proposta que tenta extrapolar a questão financeira ao agrupar áreas como educação e saúde.

Como vimos, em geral, os maiores valores do IASA se concentram nos estados do sul e do sudeste. As figuras comparativas 4.3a e 4.4a nos sugerem que esses também congregam os PIB *per capita* e IDH mais elevados.

Uma particularidade foi identificada nos estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul. O valor encontrado do IASA, igual a 2,50 e um dos mais baixos em todo o país, foi semelhante àquele dos estados das regiões norte e nordeste. Entretanto, há uma questão relevante: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul apresentaram valores do IDH e PIB *per capita* extremamente elevados, tanto quanto os estados do sul e sudeste. Existe a

necessidade de uma investigação mais detalhada, porém uma hipótese sugerida é a de que, naqueles estados, localizados em uma das áreas principais de agronegócio no país, a questão ambiental pode ter recebido pouca importância do poder público, a despeito da favorável condição econômica e de desenvolvimento humano.

Para ilustrar outros aspectos da condição de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul apontamos outros dois fatores relevantes. Um deles é referente à grande quantidade de conflitos ambientais e de saúde localizada nesses estados, quase em uma posição de liderança no país, como aponta o Mapa de Conflitos Envolvendo Ambiente e Saúde em 2012 (Fiocruz).

O outro fator diz respeito ao uso do Índice de Gini, que monitora a condição de distribuição de renda. Esse indicador varia entre zero, situação de perfeita igualdade, e um, considerada como desigualdade máxima. Valores próximos a 0,5 são, na verdade, característicos de locais com desigualdade bastante forte. Segundo os dados do relatório produzido pelo IBGE (2010) o maior valor do Índice de Gini foi igual a 0,567 e justamente para o centro-oeste. A medida reflete grande parcela da renda concentrada em pouca quantidade de habitantes. Nesse sentido, o PIB e o IDH elevados, que já não apontavam, como regra geral, para melhores condições de saúde ambiental, também não parecem reduzir a condição de desigualdade.

Nas capitais, a comparação do IASA com o PIB *per capita* e IDH foi um pouco diversa em relação aos estados. Para o maior valor de IASA, igual a 7,50, identificamos, além de capitais do sul e sudeste, também

das regiões norte e nordeste em uma faixa de variação mais ampla do PIB *per capita* e do IDH, a saber: o PIB *per capita* variou de dez a cinquenta mil (fig. 4.3b) e o IDH de 0,740 a 0,900 (fig. 4.4b).

Embora atualmente o PIB e o IDH sejam as principais medidas de sustentabilidade, existem inúmeras críticas à limitação desses indicadores. Precisamos retomar que, ao correlacionar esses indicadores com o IASA, observamos que os indicadores, de fato, medem aspectos próximos; contudo, de modo algum coincidentes.

Destacamos, portanto, que medidas com variáveis de ambiente e saúde precisam ser reunidas naquelas pactuadas mundialmente para o debate do desenvolvimento sustentável. Esse aspecto, inclusive, manteve-se como pauta da proposta brasileira no encontro Rio+20, em 2012, que encaminhou a necessidade de um terceiro indicador, direcionado àquelas áreas, ao lado do PIB e do IDH. Particularmente, corroboramos a emergência desses instrumentos, o que nos leva a acreditar em um solo fértil na seara de pesquisas de indicadores integrados.

A correlação negativa entre o IASA e o número de internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento inadequado, apresentada na figura 4.5, trouxe subsídios mais específicos para a percepção do impacto da saúde ambiental na qualidade de vida. Se o custo de um internamento já seria suficiente para onerar os recursos públicos, quando extrapolamos para outros fatores indiretos envolvidos, como remuneração dos profissionais da saúde, ou com a aquisição de insumos, entre outros, os gastos se tornam ainda maiores. Assim, resultados como

aqueles do Acre ou do Piauí são preocupantes. Eles reúnem as piores condições de saúde ambiental e uma quantidade de internações quase dez vezes maior que a notificada em São Paulo ou no Rio de Janeiro.

Pontuamos a importância de outras comparações utilizando o IASA em virtude de, possivelmente, ser uma forma concisa de justificar a necessidade de investimentos em promoção de saúde, além do tratamento de doenças. Outra situação positiva que gostaríamos de fomentar é o uso das medidas integradas nas instâncias decisórias instaladas no país.

Tanto a área de saúde quanto a ambiental apresentam os conselhos municipais como fóruns deliberativos, com características consultivas e legislativas, compostos por representantes da sociedade civil, entidades não governamentais e membros executivos. Com perfil democrático e representativo, os conselhos acabam por ser elementos indispensáveis na gestão da saúde ambiental.

É importante ressaltar que as discussões que envolvem gastos públicos e a proposição de políticas, por exemplo, ocorrem nesses espaços. Ao fazer uma constatação do ponto de vista quantitativo, embora o SUS, com sua implantação, tenha a totalidade de municípios do país com o conselho de saúde, segundo o IBGE (2010) apenas 47% dos municípios tinham, em média, o conselho do meio ambiente. Em geral, os estados com os valores mais baixos do IASA coincidiram com as menores porcentagens de conselhos de meio ambiente instalados.

Isso nos motiva a destacar o prejuízo na gestão pública e no capital social que, acreditamos, afeta diretamente a situação brasileira de

saúde ambiental. Os resultados do IASA poderiam ser mais um indutor para pesquisas locais e de cunho qualitativo nessa esfera da participação social.

Desconsiderar o investimento em saneamento como uma prioridade absoluta é comprometer, de maneira direta, a competitividade do país. Isso em virtude do saneamento estar interligado com uma multiplicidade de fatores que promovem impacto no sistema econômico de diversas formas, tais como horas não trabalhadas do cidadão adoecido, despesas fiscais da rede de saúde, e ainda no próprio custo do comprometimento do ambiente, com a poluição oriunda do lixo ou do esgoto, com um valor incalculável (Turolla, 2002).

Uma investigação no Brasil realizada para o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) revelou como foi significativa para a redução da mortalidade infantil, nas últimas duas décadas, a instalação da rede de saneamento básico (Mendonça e Motta, 2007). O estudo econométrico que esse documento encerra, entretanto, acaba sendo mais revelador. Concluiu que, na redução da incidência de mortalidade na infância, o custo médio para salvar uma vida ficou semelhante tanto nos investimentos feitos na expansão da rede de saneamento quanto no aumento do número de leitos hospitalares. Portanto, sublinhamos, além de superar o paradigma focado no tratamento da doença, investir em saúde ambiental, como o próprio documento apontou, apresenta-se como uma medida preventiva de alto impacto.

Os resultados do IASA permitem-nos formular a hipótese de que a Agenda 21 brasileira continua muito atual. Persiste o anseio pela

universalização do serviço de saneamento em um país em desenvolvimento como o Brasil.

Vis-à-vis a desigualdade caracterizada pelos diferentes indicadores debatidos até aqui, entre os quais o IASA, diante das lentes da saúde coletiva e da complexidade, evidencia-se uma condição de injustiça ambiental. As condições prejudiciais à qualidade de vida atingem desproporcionalmente regiões e, conseqüentemente, grupos sociais, pobres, com desamparo ético e legal, tornando a saúde ambiental uma condição de privilégio (Arriagada, 2005; Martinez-Alier, 2007; Acsehrad et al., 2009).

A necessidade de investimentos em saúde ambiental no país já foram referendadas em relatórios como o da Comissão Nacional sobre Determinantes Sociais de Saúde. Particularmente sobre o saneamento, segundo o documento da Fundação Getúlio Vargas (2007), o tema deveria ter sido resolvido no século passado, entretanto, da maneira como é tratado, mais 115 anos serão necessários para lidar com parte da questão, como a universalização da rede de esgoto.

De modo geral, fica patente como a questão de saúde e ambiente no Brasil, intimamente articulada com aspectos econômicos e sociais, implica necessidades básicas importantes. Faz sentido, portanto, a afirmação de que na elaboração de instrumentos para avaliar o desenvolvimento sustentável estejam imbricadas escolhas científicas e políticas.

Nesse estudo acreditamos que o IASA viabiliza o fortalecimento do controle social e o empoderamento. Uma vez confirmada a

injustiça ambiental em determinadas comunidades e regiões, o indicador pode ter utilidade para contextualizar e para pleitear ações dos governos, para avaliação dos gastos de recursos aplicados e para a proposição ou fiscalização de políticas públicas, entre outras.

O estudo brasileiro é um processo no qual além da viabilidade sobre a apropriação do instrumento, perspectivas futuras são apontadas. Algumas produções recentes poderão ser correlacionadas com o IASA para estabelecer novas hipóteses. Uma delas é o Índice de Desempenho do SUS (IDSUS), divulgado recentemente pelo MS, mas que ainda recebe ajustes metodológicos. A outra é a pesquisa feita no Centro de Estudos da Metrópole (CEM) – um Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID) da FAPESP, que investigou o desempenho das políticas públicas de educação e de saúde no Brasil na década de 2000 e cujos resultados devem ser divulgados no final de 2012.

Marchini et al. (2009) apresentaram como as propriedades da lógica *fuzzy* e a necessidade de ferramentas de monitoramento do ambiente vem a ser campos profícuos para impulsionar o desenvolvimento de programas computacionais (*softwares*). Concordamos com os autores uma vez que as parcerias com o Observatório de Saúde da Região Metropolitana de São Paulo e Observatório de Saúde do Litoral do Paraná materializam tal questão, pois existe o interesse desses órgãos na aplicação da metodologia e, também, na divulgação *online* do IASA para a avaliação de municípios.

5.2. Considerações sobre a medida integrada de saúde e ambiente no contexto de Portugal

O segundo estudo foi fruto de um período de aprofundamento na tríade que envolve a aplicação da lógica *fuzzy*, a análise de saúde ambiental e o debate sobre desenvolvimento sustentável. Isso porque o ponto de partida dessas questões em Portugal, membro da União Europeia (UE) e um dos países classificado como desenvolvido, é bastante diverso do Brasil, o que culminou na necessidade de elaborar um novo modelo *fuzzy* de avaliação.

Nesse sentido, uma primeira diferença diz respeito à condição geral de saúde da população. Podemos dar exemplo desse assunto, de modo breve, com o histórico da taxa de mortalidade infantil. Portugal, na década de 60, apresentava o pior desempenho nesse indicador entre os vinte e sete países da UE, com valor igual a 80 óbitos por mil nascimentos. Em menos de cinquenta anos, período que corresponde à efetivação como país membro, a redução foi descrita como a maior na Europa. Segundo dados da OMS para 2005, a taxa recuou para 3,3 óbitos por mil nascimentos, valor bem abaixo da média da UE que era de 4,7 óbitos por mil nascimentos (Rosa e Chitas, 2010).

A universalização do saneamento, interligada com a questão anterior, seguramente fez parte dos fatores essenciais para o aperfeiçoamento da qualidade de vida e do ambiente naquele país. Assim, indicadores de cobertura de serviços de saneamento, como os utilizados no modelo *fuzzy* do Brasil, são secundários na pauta atual de Portugal que, em

contrapartida, avança nas investigações sobre qualidade e níveis de poluentes, para citar temas de indicadores que seriam indispensáveis ao modelo *fuzzy* nessa nova abordagem.

Registramos, também, que as análises de sustentabilidade são frequentes e fazem uso de grande quantidade de indicadores quantitativos, uma vez que a UE estabelece uma série de normativas ambientais e de saúde comuns, para diferentes escalas geográficas, que são monitoradas e divulgadas regularmente. Uma parcela importante das atividades dos órgãos públicos estatais desses países consiste em analisar os dados que se referem à atenção aos parâmetros como nível de poluentes no ar ou na água, reciclagem de lixo, ou taxas de mortalidade. Essa é uma prática cujo não cumprimento das metas culmina em graves sanções no nível político central e em instâncias hierarquicamente mais poderosas, como o parlamento europeu.

Sobre essa questão, especificamente, ressaltamos o quanto a política ambiental europeia avançou ao propor diretrizes generalizáveis aos países membros. Isso impulsionou um considerável aspecto organizacional, como a criação de departamentos específicos que tratam da relação entre saúde ambiental nas autarquias regionais do Ministério da Saúde. A existência de tais espaços e a atuação de profissionais com capacidade técnica vinculada a gestão ambiental e à saúde coletiva, embora em franco avanço no Brasil, já ocorrem em Portugal há quase duas décadas. Portanto, ao menos nessa esfera, observamos o quanto saúde e ambiente são áreas

mais integradas em um país desenvolvido, o que favorece a articulação e execução de políticas intersetoriais.

Em paralelo às diferenças entre os países, que justificavam uma nova abordagem de modelagem, a discussão contemporânea sobre sustentabilidade em Portugal, interligada com outros países europeus, orientou-nos para propor uma medida de avaliação com enfoque temático e geográfico mais restrito. Naquele continente, após um intenso ciclo de instituição das Agendas 21, passaram a ser valorizadas as análises no espaço regional e local, utilizando medidas baseadas em opinião de especialistas e novas metodologias. Isso vai ao encontro de uma abordagem sistêmica, que privilegia a interação crítica das pessoas com o seu contexto, considerando a sua percepção indispensável para o aprimoramento da condição local (Waltner-Toews, 2004).

A escolha do Algarve, nesse segundo estudo, foi fruto de uma conjuntura de diferenciais positivos. Após a implementação da Agenda 21 em vários municípios, essa foi a primeira região portuguesa a planejar, em conjunto com a universidade, um sistema integrado de indicadores de desenvolvimento sustentável visando auxiliar a instância decisória, o Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável do Algarve (SIDS Algarve).

A proposta da avaliação utilizando a lógica *fuzzy* avançou a medida que uma instituição pública, a ARS-Algarve, apontou uma demanda premente do apoio da universidade. Embora a saúde ambiental na escala regional tivesse uma condição positiva em comparação às demais no país,

havia necessidade de um sistema classificador que agregasse indicadores, além de informações qualitativas, a fim de diferenciar o status de cada um dos dezesseis municípios.

A elaboração do modelo *fuzzy* contou com um planejamento que visava permitir que os especialistas colaboradores pudessem inicialmente ter noções acerca do objetivo do trabalho e de fundamentos teóricos do método, tomando contato com a lógica *fuzzy*. Em seguida, articular esse conhecimento com contribuições pessoais sobre a saúde ambiental. Destacamos a importância dessa etapa, de quase dois meses, na investigação. Ela é evidência, na prática, de uma forma de cooperação entre a academia, nesse caso explorando tecnologias, e os serviços de saúde, com suas demandas práticas.

Cabe um comentário sobre a apropriação da lógica *fuzzy* pelos participantes, causadora de sensações de receio, inicialmente, e de motivação. Consideramos que, embora inicialmente existisse estranheza devido às habilidades matemáticas requisitadas, os conceitos foram paulatinamente incorporados, pois faziam parte do cotidiano do pensamento humano. O êxito nessa etapa estimula futuras experiências de capacitação teórica, visando que outras aplicações possam ser desenvolvidas pelos próprios profissionais.

A configuração do modelo *fuzzy* esteve em sintonia com o contexto vivenciado pelos especialistas no seu cotidiano, ou seja, a ocupação exercida no órgão público. Devido ao grande volume de informações utilizadas para monitoramento dos municípios, uma expectativa

natural era que os profissionais fossem estruturar dimensões específicas reunindo categorias de indicadores – água, ar e solo – ou dimensões distintas, como a proposta dual do modelo brasileiro – saúde e ambiente. Entretanto, culminou com a proposição de dois parâmetros – um que sintetiza os aspectos vinculados a um panorama favorável em saneamento ambiental e outro referente àqueles de panorama desfavorável – e um fator conclusivo, o cenário de saneamento ambiental.

Observamos que essa foi uma proposta onde os profissionais decidiram realizar uma avaliação mais delimitada de saúde ambiental, na área de saneamento ambiental, sobre a qual executavam a maior parte das atividades. Em contrapartida a uma aparente restrição temática, utilizaram a terminologia “panorama” e “cenário”, que consideravam mais amplos.

A atribuição do valor de cada panorama dependia de um procedimento caracterizado pelo conhecimento heurístico. A fim de apoiar o fornecimento dessas medidas de opinião os especialistas elaboraram uma lista de indicadores quantitativos (tabela 3.6), que possuía um caráter objetivo, porém eles também acessavam outros documentos bem mais subjetivos sobre os municípios, como atas das conferências portuguesas sobre a qualidade do ambiente, relatórios de políticas inovadoras sobre a água dos balneários ou projetos técnicos em implantação. Assim, puderam envolver na análise informações relevantes, mas desconsideradas por outros métodos de avaliação.

Consideramos que essa concepção do modelo *fuzzy* demonstrou uma práxis, na área de saúde ambiental, mais integrativa. A

proposta, portanto, avança em relação àquela do Brasil na apreensão do fenômeno ao utilizar medidas de opinião, método adequado quando o conhecimento sobre as relações estabelecidas entre as variáveis ainda é incompleto, e na necessidade de se envolver escolhas que não são meramente científicas (Swor e Canter, 2011).

Acerca dos resultados, demonstrados na tabela 4.4 e na figura 4.6, a variabilidade do ISA entre os dezesseis municípios revela predominância do melhor desempenho no leste, na fronteira com a Espanha. Os menores valores se localizam a oeste, concentrando-se naqueles municípios que não estão na faixa litorânea. A condição econômica permite a formulação de algumas hipóteses explicativas desse cenário. Segundo dados do SIDS (2008), uma assimetria intra-regional é evidente: os municípios do litoral tem maior grau de urbanização, poder de compra e concentração da população que aqueles localizados no interior.

É preciso considerar a principal fonte de recursos do Algarve, o turismo. A intensidade turística entre 1998 e 2005 foi da ordem de 10%, um valor que, segundo órgãos de monitoramento, permite segurança mínima para o ambiente, pois demonstra capacidade de atender, por exemplo, pressões por infra-estrutura sanitária. Diretrizes orçamentárias nacionais, entre as quais o Plano Estratégico Nacional de Turismo (2006), tem regularmente previsto maiores investimentos nas cidades onde essa atividade econômica é mais frequente. Nesse sentido, Albufeira, Lagoa, Portimão e Vila Real de Santo António são aquelas com maior intensidade

turística da região e cuja captação de recursos, para áreas como saúde e ambiente, é maior ano após ano.

Pesquisadores portugueses (Santana, 2005; 2007; Queirós, 2011), interessados em ampliar a rede de municípios e comunidades saudáveis, têm denunciado como a privação de variáveis imateriais e materiais, dentre eles os fatores na área de saúde ambiental, afeta a qualidade de vida naquele país. Nosso estudo dialoga a favor desse argumento, especialmente quando comparamos o ISA com outros indicadores de sustentabilidade, identificados na figura 4.7. Particularmente observamos a correlação do ISA com o ISQV, medida que tem sido utilizada nacionalmente para monitoramento de qualidade de vida. Nesse caso Albufeira tem desempenho muito positivo e, de modo oposto, Alcoutim.

As análises da região do Algarve revelaram um grupo de municípios – Alcoutim, Monchique e Silves – que não só têm a pior condição na avaliação do saneamento ambiental, mas também das medidas de sustentabilidade. Segundo o Instituto Nacional de Estatística de Portugal, na última década Alcoutim e Monchique enfrentaram um decréscimo da população de 23% e 13%, respectivamente. Além disso, esses municípios recebem menores investimentos uma vez que decisões de estratégia política impõem dificuldades de acesso aos recursos. Isso estabelece um ciclo negativo que, sem subsídio ou melhorias, amplifica as desigualdades.

Em resumo, observamos como o modelo *fuzzy* viabilizou a obtenção do ISA, com potencial para subsidiar a discriminação dos municípios e a formulação de hipóteses. Os valores do ISA, inclusive,

apontam para a necessidade de revisão da distribuição de recursos e a eminência de maior atenção aos municípios interioranos da região.

Nas reuniões de apresentação dos resultados do sistema proposto, a direção da ARS-Algarve e os especialistas destacaram potencialidades e sinalizaram o interesse no uso do ISA como medida balizadora. Todavia, elencaram necessidades prévias como: investigações pontuais, nas cidades com o melhor e o pior valor do ISA; inclusão de outros materiais para consulta e apoio das medidas de opinião; novos testes com profissionais de outros órgãos públicos; apresentação para debate dos resultados em audiências públicas.

Recentemente, o governo português divulgou o Plano Nacional de Saúde 2011-2016 cujo cerne faz referência ao desafio das diversas instâncias em lidar com a incerteza. Segundo Manuel Teixeira (2011), presidente da Administração Central do Sistema de Saúde, os fatores de influência na questão de saúde podem ser “um vírus, uma ideia ou uma oscilação dos mercados” e, para tanto, o sistema de saúde precisa mobilizar-se para procurar alternativas, lidar com esse aspecto e trazer informações precisas.

Consideramos a experiência exitosa seja na viabilidade e originalidade da apropriação da lógica *fuzzy* na área de saúde ambiental, seja nos resultados do indicador que foram encontrados. Ela oportuniza novos estudos, dentre os quais a aplicação análoga do modelo em outras regiões portuguesas, interesses futuros entre os grupos das universidades envolvidas.

5.3. Considerações finais

Devemos reconhecer que a interação entre saúde e ambiente é complexa ao ponto de originar situações que ainda são desconhecidas na ciência. Seguindo o pensamento apontado por Funtowicz e Ravetz e da teoria da complexidade, há situações que merecem abordagens diferenciadas para a incerteza.

Entretanto, boa parte dos marcos teóricos ou modelos matemáticos atualmente em voga ainda desconsideram essa condição. Assim, a preferência é por não incorporar a incerteza em métodos de pesquisa ou tratar apenas parte dela, retratando os fenômenos de maneira dual, ao custo de não se aproximar, de fato, do que ocorre na realidade. A ciência pós-normal ressalta a necessidade de articular métodos que envolvam o incerto e o conhecimento de especialistas, que sejam participativos e possam articular análises mais sistêmicas, dialógicas e vislumbrando uma condição transdisciplinar.

A avaliação de cenários em saúde ambiental é um processo permeado por questões científicas e políticas, alta vulnerabilidade social, impactos pouco ou nada conhecidos no nível científico, envolvimento de diferentes variáveis qualitativas e quantitativas, para citar alguns fatores. Conforme vimos na figura 1.3, quanto mais informações acerca de um problema, maior é a incerteza durante a decisão e na proposta de solução.

É diante desse enquadramento teórico que investigamos o desenvolvimento de medidas com a lógica *fuzzy* como proposta

metodológica. Evidenciamos relevantes propriedades durante a elaboração do IASA e do ISA, como o uso de um formalismo matemático que articula o conhecimento oriundo de experiências e de opiniões com termos linguísticos; a vantajosa combinação de dados qualitativos com quantitativos; a viabilidade do desenvolvimento de uma operação computacional para o problema; o fornecimento de medidas possivelmente mais próximas do real.

O estudo brasileiro caracterizou a condição de saúde ambiental de modo amplo. O IASA demonstrou ser mais um indicador de apoio à análise de desigualdades no nosso território cujos resultados precisam ser discutidos à luz do conceito de justiça ambiental. As diferenças em estados, capitais e regiões sinalizaram como, particularmente em países em desenvolvimento, é delicada a relação entre saúde, sustentabilidade sócio-ambiental e fatores econômicos.

Em Portugal destacamos situações que são consideradas avanços na discussão de sustentabilidade, como a universalidade de serviços de água e esgoto; o monitoramento da relação entre saúde e ambiente por uma gama mais diversificada de indicadores; a existência de departamentos que lidam com o tema de modo intersetorial; o interesse dos governos central e local por métodos que operem em óticas alternativas às tradicionalmente utilizadas. Diante desse contexto, o estudo na região do Algarve avaliou de modo detalhado o saneamento ambiental, tema indispensável em saúde ambiental. O método para originar o ISA foi articulado com um processo que privilegiou os juízos de valor, ou seja, as

medidas de opinião, um elemento considerado de importância primordial por preencher as lacunas das evidências. Assim, a investigação se afirmou como exemplo do potencial da lógica *fuzzy* no desenvolvimento de um modelo matemático para ser empregado em um país desenvolvido.

Por fim, parece ser oportuno retomar a citação do filósofo francês Bachelard: “é preciso refletir para medir e não medir para refletir”. Acreditamos no desafiador requisito de que sejam pesquisados novos indicadores e metodologias, com pilares teóricos distintos, como o promovido neste trabalho. O IASA e o ISA, frutos de modelos matemáticos *fuzzy*, são precursores de um campo profícuo, uma vez que tem poder de relatar e discriminar características, formular hipóteses e provocar novos estudos no tema de saúde ambiental.

6. CONCLUSÃO

Esse caminho de estudos do doutorado possibilitou ampliar a compreensão sobre a viabilidade do uso da Teoria de Conjuntos *Fuzzy* e elaboração de medidas que promovessem uma avaliação integrada da relação entre saúde e ambiente, alicerçada no pensamento complexo dos fenômenos. Ainda, permitiu reflexões sobre a utilidade desses instrumentos em duas propostas específicas – uma para países desenvolvidos e outra para países em desenvolvimento.

O Brasil foi investigado a partir de um índice de saúde ambiental originado pela integração de indicadores de mortalidade e de cobertura de serviços de saneamento. Os resultados do modelo *fuzzy*, comparados e em conjunto com outras medidas de sustentabilidade, corroboraram a situação de desigualdade e injustiça ambiental no país.

Em Portugal, um novo modelo *fuzzy* foi desenvolvido em conjunto com profissionais da saúde para classificar o cenário de saneamento ambiental. A medida originada permitiu discriminar a condição de diferentes municípios da região do Algarve e formular hipóteses sobre a interação entre resultados e condições do turismo. Esse pode ser considerado como um exemplo do desenvolvimento de soluções oriundas da parceria entre universidade e órgãos públicos.

À guisa de conclusão se retoma a premência de novos indicadores que mapeiem e integrem as áreas de saúde de ambiente no

debate sobre o desenvolvimento sustentável. Fomentar, desempenhar e apoiar pesquisas nesse sentido, sobretudo, faz parte de um movimento preocupado com o potencial da vida da/na Terra que precisa ser aprimorado.

7. ANEXO

Artigos produzidos e submetidos durante os estudos de doutoramento:

Canavese D, Ortega NRS. A proposal of using a fuzzy system to integrate scores of Health and Environment: a case study at Brazil. *Advances in Intelligent Systems Research*. 2011;1:973-977.

Canavese D, Ortega NRS, Giatti L. Ecosystemic Approach and the *Fuzzy* Logic: a dialectical proposal for information on Environmental Health. Submetido para *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*; 2011.

Canavese D, Ortega NRS. A proposal of a fuzzy rule-based system for the analysis of environmental health in Brazil. Submetido para *Ecological Indicators*; 2011.

Canavese D, Ortega NRS, Queirós M, Monteiro A, Pinheiro D, Guerreiro , Nunes S. The Assessment of a Local Sustainability Condition and Fuzzy Logic: an expert opinion system to evaluate the environmental sanitation of Algarve Region, Portugal. Submetido para *Ecological Modelling*; 2012.

Canavese D, Ortega NRS, Dimitrov, P. Análise da condição ambiental do Brasil utilizando um modelo baseado na Lógica *Fuzzy*. Em elaboração para submissão para *Cadernos de Saúde Pública*; 2012.

8. REFERÊNCIAS

Acseirad H, Mello CCA, Bezerra GN. *O que é justiça ambiental?* Rio de Janeiro: Ed. Garamond; 2009.

Acseirad H, Mello C, Bezerra G. *Cidade, ambiente e política: problematizando a Agenda 21 local*. Rio de Janeiro: Ed. Garamond; 2006.

Adriaenssens V, Baetsb BD, Goethalsa PLM, Pauwa ND. Fuzzy rule-based models for decision support in ecosystem management. *The Science of the Total Environment*. 2004;319:1–12.

Almeida Filho N. *The paradigm of complexity: applications in the field of public health*. In: World Health Organization. *A research policy agenda for science and technology to support global health development*. Geneve,1-15; 1997.

Almeida Filho N. *A Saúde e o Paradigma da Complexidade*. Porto Alegre; 2004. Disponível em:
<http://projeto.unisinos.br/ihu/uploads/publicacoes/edicoes/1158325839.84pdf.pdf>

Almeida Filho N. Transdisciplinaridade e o paradigma pós-disciplinar na saúde. *Saúde e Sociedade*. 2005;14(3):30-50.

Arriagada I. Dimensiones de la pobreza y políticas desde una perspectiva de gênero. *Revista de La Cepal*. 2005;n.85:101-113.

Ascough II JC, Maier HR, Rovalico JK, Strudley MW. Future research challenges for incorporation of uncertainty in environmental and ecological decision-making. *Ecological Modelling*. 2008;219:383-399.

Augusto LGS e Branco A. Política de informação em Saúde Ambiental. *Rev. Bras. Epidemiol*. 2003;6(2):151-157.

Barcellos C e Quitério LAD. Vigilância ambiental em saúde e sua implantação no Sistema Único de Saúde. *Rev Saude Publica*. 2006;40(1):170-7.

Barros LC. *Modelos determinísticos com parâmetros subjetivos [dissertação]*. São Paulo: UNICAMP; 1992.

Barros LC, Tonelli PA, Bassanezi LC. Fuzzy modeling in population dynamics. *Ecological Modelling*. 2000;128:27-33.

Barros LC, Bassanezi RC, Leite MBF. The epidemiological models SI with a fuzzy transmission. *Computer and Mathematics with Applications*. 2003;45: 1619-1628.

Brasil. Ministério da Saúde. 8ª. *Conferência Nacional de Saúde – 1986. Relatório Final*. Brasília: Ministério da Saúde; 1986.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. *Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional*. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 nacional. 2ª. Edição. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; 2004.

Brasil. Comissão Nacional sobre Determinantes Sociais de Saúde (CNDSS). *Relatório Final*. Brasília; 2008. Disponível em: <http://www.cndss.fiocruz.br/pdf/home/relatorio.pdf>.

Brasil. Ministério da Saúde, Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades. *1ª Conferência Nacional de Saúde Ambiental*. Relatório final. Brasília; 2010.

Brasil. Ministério da Saúde. *Rio+20 – O futuro que queremos*. Texto original em inglês. Brasília; 2012.

Brundtland, G. *Our Common Future*. Londres: Oxford University Press; 1987.

Bullard JE. Sustaining technologies? Agenda 21 and UK authorities' use of the World Wide Web. *Local Environment*. 2000;5(3):329-341.

Byrne D. *Complexity Theory and the Social Sciences: an introduction*. New York: Routledge; 1998.

Cairus HF. *Ares, águas e lugares*. In: Cairus HF & _____. *Textos Hipocráticos: o doente, o médico e a doença*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 2005.

Canavese D, Ortega NRS, Giatti L. Ecosystemic Approach and the *Fuzzy Logic*: a dialectical proposal for information on Environmental Health. Submetido para Revista Brasileira de Engenharia Ambiental. 2011.

Campos GWS, Minayo MCS, Akerman M, Drumon Júnior M, Carvalho YM (org.). *Tratado de Saúde Coletiva*. Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz; 2006.

Capra F. As conexões ocultas. *Ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Editora Cultrix; 2002.

Cerqueira F e Facchina M (org.). *A Agenda 21 e os Objetivos do Milênio: as oportunidades para o nível local*. Caderno de Debates n. 7. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; 2005.

Chen Z, Zhao L, Lee K. Environmental risk assessment of offshore produced water discharges using a hybrid fuzzy-stochastic modeling approach. *Environmental Modelling & Software*. 2010;25:782-792.

Cnumad. *Jornal da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente*. Rio de Janeiro, [s.n]; 1992.

Costa AJL. *Mensuração do grau de incapacitação funcional através de um modelo baseado na lógica fuzzy* [tese]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo; 2001.

Costa AJL, Massad E, Ortega NRS, Araujo AQC. Perception of disability in a public health perspective: a model based on fuzzy logic. *International Journal of Medical Informatics*. 2004;73(7-8):647-656.

Demo P. *Complexidade e Aprendizagem: a dinâmica não linear do conhecimento*. São Paulo: Editora Atlas; 2002.

Evans B e Theobald K. LASALA: Evaluating Local Agenda 21 in Europe. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2003;46(5):781–794.

Ferry L. *A nova ordem ecológica: a árvore, o animal e o homem*. Tradução de Rejane Janowitz. Rio de Janeiro: Ed. Difel; 2009.

Fiocruz. *Mapa da injustiça ambiental e saúde no Brasil* [on-line]. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.conflitoambiental.iciet.fiocruz.br/index.php>.

Fisher BEA. Fuzzy approaches to environmental decisions: application to air quality. *Environmental Science & Policy*. 2006;9:22-31.

Freitas CM. Problemas ambientais, saúde coletiva e ciências sociais. *Ciência & Saúde Coletiva*. 2003;8(1):137-150.

Freitas CM. A produção científica sobre o ambiente na saúde coletiva. *Cad. Saúde Pública*. 2005;21(3):679-701.

Freitas CM e Porto MF. *Saúde, Ambiente e Sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 2006.

Fundação Getúlio Vargas. *Trata Brasil: Saneamento e Saúde*. Rio de Janeiro; 2007.

Funtowicz SO e Ravetz JR. *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1990.

Funtowicz SO e Ravetz JR. Science for the Post-Normal Age. *Futures*. 1993;25(7):735–755.

Giatti LL. Reflexões sobre água de abastecimento e Saúde Pública: em estudo de caso na Amazônia brasileira. *Saúde e Sociedade*. 2007;16(1):134-144.

Heller L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. *Ciência e Saúde Coletiva*. 1998;3(2):73-84.

Hezri AA e Dovers SR. Sustainable indicators, policy and governance: issues for ecological economics. *Ecological Economics*. 2006;60:86-79.

Icaga Y. Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators*. 2007;7:710-718.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. Estudos e Pesquisas*. Informação Geográfica número 7. Rio de Janeiro: IBGE; 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)*. 2008. Disponível em: www.ibge.gov.br.

Janssen JAEB, Krol MS, Schielen RMJ, Hoekstra AY, Kok JL. Assessment of uncertainties in expert knowledge, illustrated in fuzzy rule-based models. *Ecological Modelling*. 2010;221:1245–1251.

Jefalice R, Barros LC, Bassanezi RC, Gomide, F. Fuzzy modeling in symptomatic HIV vírus infected population. *Bull. Math. Biol.* 2004;66:1597-1620.

Jensen R, Lopes MHB. Nursing and Fuzzy Logic: an integrative review. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*. 2011;19(1):195-202.

Kahraman C e Kaya I. A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives. *Expert Systems with Applications*. 2010;37:6270–6281.

Kay JJ, Henry AR, Boyle M, Francis G. An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures*. 1999;31:721–742.

Kommadath B, Sarkar R, Rath B. A Fuzzy Logic Based Approach to Assess Sustainable Development of the Mining and Minerals Sector. *Sustainable Development*. 2011 (publicado online DOI: 10.1002/sd.503).

Lermontov A, Yokoyama L, Lermontov M, Machado MAS. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*. 2009;9:1188-1197.

Malheiros TF, Philippi Jr A, Coutinho SMV. Agenda 21 Nacional e Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: contexto brasileiro. *Saúde Soc. São Paulo*. 2008;17(1):7-20.

Marchini A, Facchinetti T, Mistri M. F-IND: A framework to design fuzzy indices of environmental conditions. *Ecological Indicators*. 2006;9:485-496.

Maricato E, Arantes O, Vainer C. *A cidade do pensamento único*. Petrópolis: Ed. Vozes; 2000.

Maricato E. *Brasil, cidades. Alternativas para a crise urbana*. 5ª. Edição. Petrópolis: Ed. Vozes; 2011.

Martinez-Alier J. *O Ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração*. São Paulo: Ed. Contexto; 2007.

Mascarenhas A, Coelho P, Subtil E, Ramos TB. The role of common local indicators in regional sustainability assessment. *Ecological Indicators*. 2010;10:646-656.

Massad E, Burattini M, Ortega NRS. Fuzzy Logic and Measles Vaccination: designing a control strategy. *International Journal of Epidemiology*. 1999;28:550-557.

Massad E, Ortega NRS, Struchiner CJ, Burattini MN. Fuzzy Epidemics. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2003;29:241-259.

Massad E, Ortega NRS, Barros LCB, Struchiner CJ. *Fuzzy Logic in Action: applications in Epidemiology and beyond*. Heidelberg: Springer; 2008.

Mendonça MJC e Motta RS. Saúde e Saneamento no Brasil. Planejamento e Políticas Públicas. Volume 30. Brasília: Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA); 2007.

Minayo MCS (org.). *Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 2002.

Moldan B, Janousková S, Hák T. How to understand and measure environmental sustainability: indicators and targets. *Ecological Indicators*. 2012;17:4-13.

Morin E. *Introdução ao pensamento complexo*. Lisboa: Editora Piaget; 1990.

Morin E. *Ciência com Consciência*. Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. 8ª. Edição. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil; 2005.

Morón AB, Calvo-Flores MD, Ramos JMM, Almohano MPP. AIEIA: Software for fuzzy environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications*. 2009;36:9135–9149.

Nascimento LFC e Ortega NRS. Modelo lingüístico fuzzy para estimação do risco de morte neonatal. *Rev Saúde Pública*. 2002;36(6):686-92.

Navarro MBMA. *Ambiente e Complexidade como tema integrador*. In: Miranda AC, Barcellos C, Moreira JC, Monken M. *Território, ambiente e saúde*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 89-100, 2008.

Ness B, Urbel-Piirsalu E, Anderberg S, Olsson L. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics*. 2007;60:498-508.

Ocampo-Duque W, Ferré-Huguet N, Domingo JL, Schuhmacher M. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: a case study. *Environmental International*. 2006;32:733-742.

Oliveira D. *Elaboração de modelos lingüísticos, baseados na teoria de conjuntos fuzzy, para mensuração de qualidade de vida relacionada à saúde* [dissertação]. Rio de Janeiro: Instituto de Estudos de Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2004.

Organização das Nações Unidas. *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*. New York; 2001. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/publications/indisd-mg2001.pdf>.

Organização das Nações Unidas. *Declaração do Milênio. Cúpula do Milênio*. New York; 2000.

Ortega NRS, Barros LC, Massad EM. Fuzzy Dynamical System in Epidemic Modelling. *Kybernetes*. 2000;29(1-2):201-218.

Ortega NRS. *Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a problemas da Biomedicina* [tese]. São Paulo: Instituto de Física, Universidade de São Paulo; 2001.

Ortega NRS, Barros LC, Massad E. Fuzzy gradual rules in epidemiology. *Kybernetes*. 2003;32(4):460-477.

Ortega NRS, Massad E, Struchiner CJ. A Bayesian approach to fuzzy hypotheses testing for the estimation of optimal age for vaccination against measles. *Mathematics and Computers in Simulation*. 2008;79:1-13.

Ottinger G. Environmental just technology. *Environmental Justice*. 2011;4(1):81-85.

Paim JS. *Desafios para a saúde coletiva no século XXI*. Salvador: Editora EDUFBA; 2006.

Palma A e Mattos UAO. Contribuições da ciência pós-normal à saúde pública e a questão da vulnerabilidade social. *História, Ciências e Saúde*. 2001.

Passos ADC. Epidemia de cólera no sul do Brasil. *Cad. Saúde Pública*. 1999;15(2):679-701.

Pena-Vega A. *O despertar ecológico: Edgar Morin e a ecologia complexa*. Rio de Janeiro: Editora Garamond; 2005.

Phillis YA e Andriantiatsaholainaina LA. Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic. *Ecol Econ*. 2001;37:435–456.

Pignatti MG. Saúde e ambiente: as doenças emergentes no Brasil. *Ambiente & Sociedade*. 2004;(2)1:133-148.

Pollard SJT, Davies GJ, Coley F, Lemon M. Better environmental decision making — Recent progress and future trends. *Science of the total environment*. 2008;400:20-31.

Portugal. Ministério da Economia e da Inovação. *Plano Estratégico Nacional de Turismo 2006-2015*. Lisboa; 2006.

Portugal. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve. *Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável do Algarve. Sinais de Sustentabilidade do Algarve 2007*. Faro; 2008.

Portugal. Alto Comissariado da Saúde, Ministério da Saúde. *Boletim Informativo do Plano Nacional de Saúde 2011-2016*. Pensar Saúde. Edição 2. Lisboa; 2011.

Portugal. Ministério da Saúde. *Plano Nacional de Saúde 2011-2016*. Lisboa; 2011. Disponível em: <http://www.acs.min-saude.pt/pns2012-2016/pns-2012-2016>.

Prato T. Sustaining Ecological Integrity with respect to climate change: a fuzzy adaptive management approach. *Environmental Management*. 2010;45:1344-1351.

Prato T. Adaptively managing wildlife for climate change: a fuzzy logic approach. *Environmental Management*. 2011;48:142-149.

Queirós M. *Teorias da Complexidade: Princípios para o Ordenamento do Território*. In: Bosque Sendra, J.; Rodríguez Espinosa, V.M. (org.), *La Perspectiva Geográfica ante los Retos de la Sociedad y el Medio Ambiente en el Contexto Ibérico*. Madrid: Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones; 87-103, 2009.

Queirós M. *Portugal e a integração europeia em debate: a insustentabilidade das atuais dinâmicas territoriais e a incapacidade de concretização dos objectivos do desenvolvimento sustentável*. In: Cruz et al. (Eds.) *Dinámicas territoriales, políticas de desarrollo territorial sostenible y nueva gobernanza territorial en el espacio Iberoamericano*. Conceptos, métodos y tendencias. Toluca: Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México; 2011.

Rametsteiner E, Puzl H, Alkan-Olsson J, Frederiksen P. Sustainability indicator development – Science or political negotiation? *Ecological Indicators*. 2011;11:61-70.

Ramos TB e Caeiro S. Meta-performance evaluation of sustainability indicators. *Ecological Indicators*. 2010;10:157,166.

Ramos T. Development of regional sustainability indicators and the role of academia in this process: the Portuguese practice. *Journal of Cleaner Production*. 2009;17:1101-15.

Ravetz JR. Post-Normal Science—an insight now maturing. *Futures*. 1999a;31(7):641–646.

Ravetz JR. What is Post-Normal Science? *Futures*. 1999b;31(7):647–654.

Ravetz J. The post-normal science of precaution. *Futures*. 2004;36:347-57.

Ravetz JR. Post-Normal Science and the complexity of transitions towards sustainability. *Ecological Complexity*. 2006;3:271-284.

Rosa MJV e Chitas P. *Portugal: os números. Ensaios da Fundação Francisco Manuel dos Santos*. Lisboa: Editora da FFMS; 2010.

Ross T. *Fuzzy logic with engineering applications*. 3rd edition. United Kingdom: Wiley; 2010.

Roveda JAF, Mota MT, Roveda SRMM, Lourenço RW, Martins ACG. Fuzzy Environmental Quality Index. *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. 2010;1-6.

Sadegh-Zadeh K. Fundamentals of clinical methodology: 3. Nosology. *Artificial Intelligence in Medicine*. 1999;17:87-108.

Sadegh-Zadeh K. Fuzzy Health, Illness, and Disease. *J Med Philos*. 2000;25(5):605-638.

Sadegh-Zadeh K. The Prototype Resemblance Theory of Disease. *Journal of Medicine and Philosophy*. 2008;33:106–139.

Santana P. *Geografias da saúde e do desenvolvimento. Evoluções e tendências em Portugal*. Coimbra: Ed. Almedina; 2005.

Santana P (coord). *A Cidade e a Saúde*. Coimbra: Ed. Almedina; 2007.

Santos M. *Por Uma Outra Globalização: do pensamento único à consciência universal*. Rio de Janeiro: Editora Record; 2003a.

Santos M. Saúde e ambiente no processo de desenvolvimento. *Ciência e Saúde Coletiva*. 2003b;1(8):309-314.

Santos M. *A Natureza do Espaço: técnica, razão e emoção*. 4. ed. São Paulo: EDUSP; 2004.

Silvert W. Ecological impact classification with fuzzy sets. *Ecological Modelling*. 1997;96:1-10.

Singh RK, Murty HR, Gupta SK, Dikshit AK. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*. 2009;9:189-212.

Soares S, Bernardes R, Netto O. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para a formulação de um modelo de

planejamento em saneamento. *Cadernos de Saúde Pública*. 2002;18(6):1713-1724.

Swor T e Canter L. Promoting environmental sustainability via na expert elicitation process. *Environmental Impact Assessment Review*. 2011;31:506-514.

Tanaka H. *Estudo da perfusão e ventilação pulmonar em imagens de tomografia de impedância elétrica através de modelagem fuzzy* [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2007.

Tanguay GA, Rajaonson J, Lefebvre JF, Lanoie P. Measuring the sustainability of cities: an analysis of the use of local indicators. *Ecological Indicators*. 2010;10:407-418.

Teixeira JC, Guilhermino RL. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, empregando dados secundários do banco de dados Indicadores e Dados Básicos para a Saúde – IDB 2003. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2006;11(3):277-282.

Teixeira JC, Gomes MHR, Souza JA. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros – estudo comparativo entre 2001 e 2006. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2011;16(2):197-204.

Tran LT, Knight CG, O'Neill RV, Smith ER, Ritters KH, Wickham J. Fuzzy Decision Analysis for Integrated Vulnerability Assessment of the Mid-Atlantic Region. *Environmental Management*. 2002; 29(6):845-859.

Turolla FA. *Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas. Texto para discussão número 922*. Brasília: Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA); 2002.

Viikari AY. Confusing messages of sustainability indicators. *Local Environment*. 2009;14 (10):891-903.

Visser S, Giatti LL, Carvalho RAC, Guerreiro JCH. Estudo da associação entre fatores socioambientais e prevalência de parasitose intestinal em área periférica da região da cidade de Manaus. *Ciência e Saúde Coletiva*. 2011;16(8):3481-3492.

Waltner-Toews D. *Ecosystem, Sustainability and Health. A practical approach*. Cambridge: Cambridge University Press; 2004.

Wilson J, Tyedmers P, Pelot R. Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics. *Ecological Indicators*. 2007;7:299-314.

Yuan B e Klir GJ. *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR; 1995.

Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965;8:338-53.

Zadeh LA. Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*. 2008;178:2751-2779.

Zadeh LA. A Summary and Update of “Fuzzy Logic”. *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Granular Computing*. 2010;42-44.

Zhourri A, Laschefski K (org.). *Desenvolvimento e conflitos ambientais*. Belo Horizonte: Editora UFMG; 2010.