

# Apêndice I

## Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento - IAEM

### Introdução

A rede de monitoramento de água doce da CETESB tem evoluído ao longo do tempo com base nas experiências de seus técnicos e nas necessidades de gerenciamento qualidade da água que se apresentam. No processo de alocação de novos pontos usualmente é dada prioridade aos locais onde se constata maior presença de fontes de poluição, ou seja, com presença de atividade industrial elevada ou em locais com população elevada e falta de tratamento de esgoto doméstico. De acordo com o indicador europeu de densidade recomendada - a Diretiva Européia de Águas (*Water Framework Directive*), em 2003, apenas 6 das 22 UGRHIs, atingiram a densidade de pontos recomendada de 1 ponto por 1.000 Km<sup>2</sup>. Contudo, esta relação por si só não contempla a pressão antrópica, nem os resultados obtidos pelos pontos monitorados. Assim, torna-se importante uma avaliação que fosse capaz de verificar a abrangência da rede de qualidade de forma espacial levando em consideração outros fatores além da extensão territorial, tais como: a pressão populacional, macro usos do solo agrupados no critério pressão antrópica, correlacionado com as informações de qualidade da água já disponíveis para a gestão das águas paulistas.

O IAEM, Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento consiste numa análise multi-criterial composta por dois grupos de variáveis: antrópicas e ambientais e faz a correlação espacial baseado em cinco fatores, efetuando uma análise integrada, portanto, indo além do critério de referencia da densidade de pontos de cada UGRHI, que se baseia apenas na extensão territorial.

Dentro do critério antrópico são analisados fatores tais como a pressão populacional (estimada pela densidade populacional/km<sup>2</sup> e pelo macro-usos do solo (conforme as vocações das UGRHIs), que fornecem uma ideia da pressão antrópica existente em cada unidade, que correlacionam o critério ambiental com as informações sobre monitoramento superficial: o número de pontos com IQA -Índice de Qualidade de Águas calculado, a densidade de pontos e a média qualidade da água (média anual do IQA por UGRHI). Assim os dados ficam sintetizados e disponíveis para a gestão das águas paulista facilitando, dessa forma, a comparação da abrangência espacial da rede de monitoramento entre as UGRHIs para cada ano analisado.

Assim, a matriz para geração do índice compõe-se de dois grupos divididos em custos e benefícios (Tabela 1). O grupo de variáveis antrópicas (densidade populacional e macro-uso do solo) é considerado como custo, pois no cálculo do índice IAEM influenciam negativamente, ou seja, podem causar degradação no ambiente hídrico. Com isto, podem somar até 0,45 da nota máxima do índice que varia de 0 a 1 (sendo 1 a melhor nota).

O grupo das variáveis ambientais está associado à gestão do monitoramento e ao resultado do monitoramento é considerado como benefício, uma vez que estes fatores influenciam positivamente, ou seja, quanto maior sua presença, melhor será a gestão do território e sua contribuição positiva para o índice. Equivalem a 0,55 da composição nota do índice IAEM.

Portanto, o resultado não é um índice que avalia a qualidade de água, mas sim um índice que avalia a abrangência e a vulnerabilidade espacial da rede de monitoramento dentro do contexto de cada UGRHI e no universo amostral de cada ano. Uma vez que a qualidade de água é um de seus componentes principais, bons resultados da qualidade da água sempre podem contribuir para a melhora do índice. (Midaglia, 2009)

**Tabela 1** – Composição da Matriz de análise dos fatores da Análise Multi-critério.

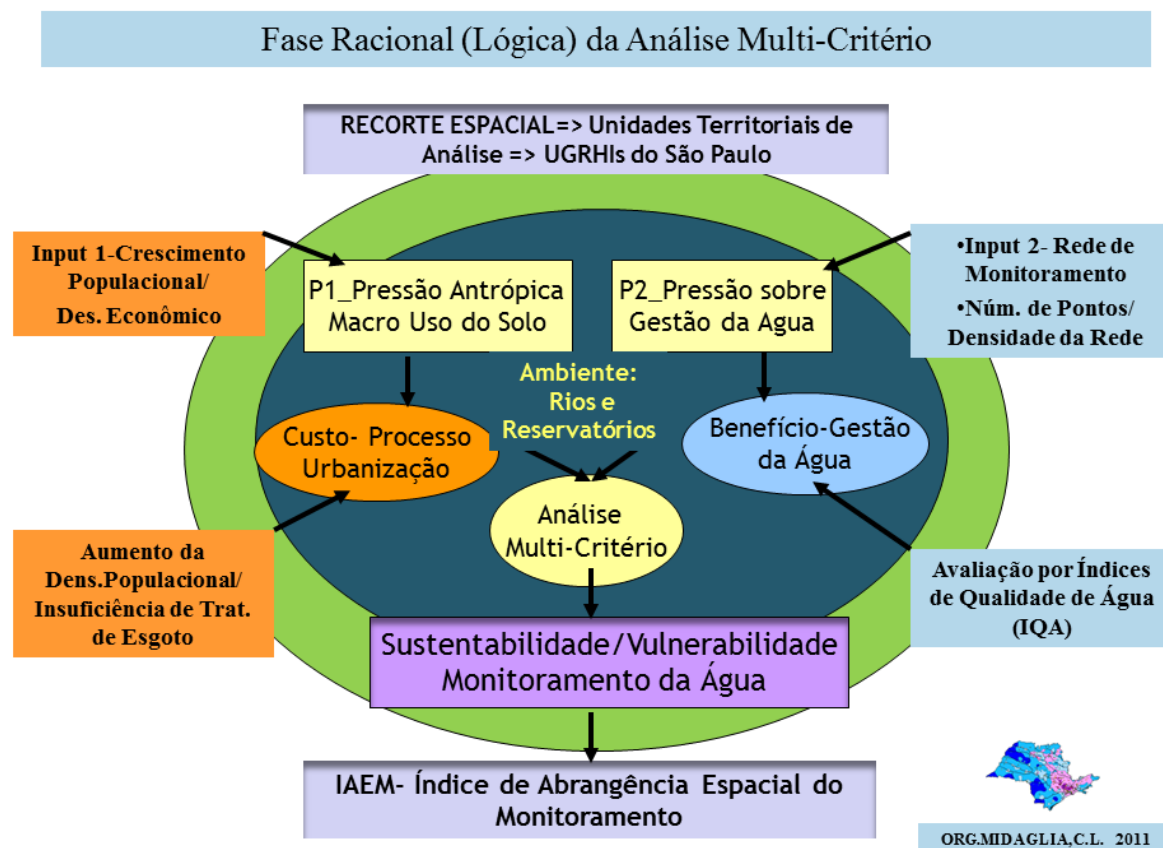
Critérios	Variável	Peso
Antrópico (Dens. Pop. e Macro Uso do Solo da UGRHI)	Dens. Populacional	0,25
	Atribuição da UGRHI	0,2
Custos	$\Sigma$ Impactos	0,45
Ambiental (Monitoramento de Água)	Média Anual do IQA	0,30
	Num. Pontos Monit.	0,10
	Dens. de Pontos	0,15
Benefícios	$\Sigma$ Gestão do Monitoramento	0,55
	Total	1

### Concepção do Índice:

O desenvolvimento de novas métricas que sintetizem a informação é uma forma de evitar o consumo excessivo de tempo para o entendimento de fatores correlacionados. Assim, o desenvolvimento de indicadores e índices compostos tem evoluído recentemente.

As redes de monitoramento de qualidade de águas superficiais são instrumentos importantes na avaliação e na gestão do estado da qualidade de água, tanto por sua série histórica como pela distribuição geográfica dos locais avaliados.

Com a finalidade de detectar mudanças nos fatores usados para avaliar o progresso num âmbito mais abrangente para o monitoramento foi desenvolvido o índice IAEM. Seus indicadores consideram as particularidades de cada UGRHI. Isto significa, na prática, incluir além da densidade de pontos que é baseada apenas na extensão territorial, a atribuição da UGRHI, a qualidade ambiental da água (fator que representa o status da parcela da natureza) e considerar no mesmo âmbito a parcela da contribuição da ocupação do homem (densidade populacional no mesmo espaço). A figura 1 mostra a estruturação lógica para compor a matriz AMC, de análise multi-critério.

**Figura 1** - Estruturação Racional dos Critérios para Análise Multi- Critério do IAEM

A fase racional apresenta o resumo da composição dos fatores que tem a função de verificar a relação de sustentabilidade do meio físico, aqui representado pelos recursos hídricos superficiais, ou seja, os rios e reservatórios. Apresenta também como avaliar a sustentabilidade da rede considerando-se a pressão populacional e o uso do solo em função da densidade espacial da rede de cada ano. A inclusão dos resultados do IQA no grupo de benefícios resgata o valor histórico deste índice de qualidade de água, o qual é utilizado pela CETESB há mais de 35 anos. O produto é o índice IAEM, que vai correlacionar os fatos básicos inerentes ao monitoramento da qualidade das águas a cada ano, buscando especializar e sintetizar as informações disponíveis sobre os resultados da qualidade de água com a geração de cenários desde praticamente o início da rede de monitoramento.

Assim, a adoção do IAEM/SCWMI – *Spatial Coverage Water Monitoring Index* é forma de promover a criação e implementação de políticas voltadas ao gerenciamento e uso sustentável desse recurso natural. O índice foi relacionado no Banco de Indicadores do SIRGH [http://143.107.108.83/sigrh/basecon/Caderno\\_Indicadores\\_Gestao\\_2014\\_setembro\\_2014.pdf](http://143.107.108.83/sigrh/basecon/Caderno_Indicadores_Gestao_2014_setembro_2014.pdf) Banco de Indicadores para Gestão dos Recursos Hídricos - Categoria: Resposta.

O delineamento metodológico está descrito a seguir:

### Metodologia do cálculo do IAEM - Índice de Abrangência Espacial de Monitoramento:

O IAEM é resultado de uma análise Multi-criterial composta basicamente por dois grupos de variáveis escolhidas para integrá-lo: antrópicas e ambientais. A fase seguinte consiste em se definir como cada grupo de critério vai influenciar na AMC - Análise multi-critério. E isto é feito basicamente verificando-se qual a importância de cada componente e qual o significado de cada um deles. Vale lembrar que isto é uma análise subjetiva, e pode variar conforme o analista e seus interesses. Mas é fundamental dividi-los de maneira que eles possam ser entendidos como um custo ou um benefício para o avaliador. O grupo de variáveis antrópicas representam os custos, pois se entende que podem causar impactos no ambiente hídrico. E o grupo de benefícios, são fatores que influem positivamente no resultado, tal como o conhecimento da rede de monitoramento, seus resultados e distribuição espacial.

Para cada um dos indicadores de ambos os grupos é necessário padronizar as variáveis, que se apresentam em valores expressos com diferentes unidades, de forma a torná-las comparáveis entre si. Sem isto não existe a menor possibilidade de fazer a tabela AMC e obter uma comparação óbvia entre elas. A partir da padronização, poderão ser comparados, somados ou multiplicados ou entre si.

Existem vários métodos de transformar as unidades de medida de cada um dos critérios em unidades comparáveis. Neste caso, foram utilizados dois métodos, apresentados a seguir: **padronização máxima** e **padronização intervalada**. Durante este processo, percebe-se como cada critério é transformado em unidades comparáveis, e como se comportam uns em relação aos outros.

As seguintes equações transformam os valores originais de cada UGRHI dentro de razão de proporção, em uma escala que varia entre 0-1.

- **Padronização máxima:** Este método transforma os valores reais para um valor adimensional entre 0 e 1. Para as condições de benefícios, o maior valor da série será padronizado para um valor igual a 1 e quando existir na série um valor igual a zero, o valor de padronização será igual ao seu número original (zero). Para as condições de custo ocorre o inverso, o maior valor da série será padronizado a zero e quando existir na série um valor igual a zero, o valor padronizado será igual a 1. Qualquer valor entre o máximo e o mínimo da série será padronizado a uma razão proporcional à série.

As padronizações máximas são regidas pelas seguintes equações lineares:

#### Equação de Padronização Máxima para Custos:

$$x_i = 1 - \left( \frac{\text{valor real do critério na UGRHI}_i - \text{menor valor real do critério na série}}{\text{maior valor real do critério na série}} \right)$$

#### Equação de Padronização Máxima para Benefícios:

$$x = \frac{\text{valor real do critério na UGRHI}_i}{\text{maior valor real do critério na série}}$$

- **Padronização Intervalada:** Este método transforma os valores reais para um valor adimensional entre 0 e 1. Para as condições de benefícios, o maior valor da série será padronizado para um valor igual a 1 e o menor valor da série será padronizado para um valor igual a zero. Para as condições de custo ocorre o inverso, o maior valor da série será padronizado a 0 e o menor valor da série será padronizado para um valor igual a 1. Usam-se as seguintes equações:

A Equação de Padronização Intervalada para Custos é mostrada a seguir:

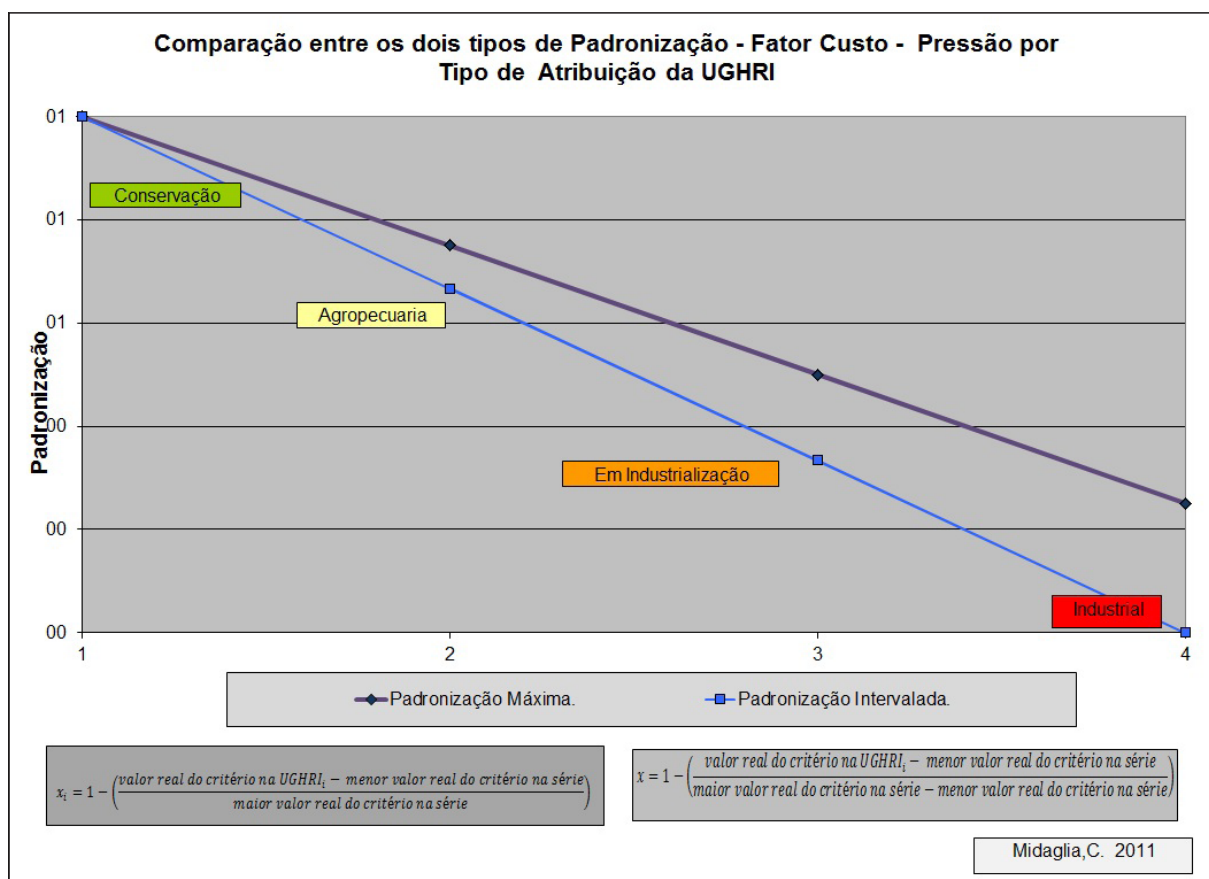
$$x = 1 - \left( \frac{\text{valor real do critério na UGRH}_i - \text{menor valor real do critério na série}}{\text{maior valor real do critério na série} - \text{menor valor real do critério na série}} \right)$$

Enquanto a Equação da Padronização Intervalada para Benefícios é:

$$x = \frac{\text{valor real do critério na UGRH}_i - \text{menor valor real do critério na série}}{\text{maior valor real do critério na série} - \text{menor valor real do critério na série}}$$

A figura 2 a seguir mostra um exemplo da diferença dos tipos de padronização para o critério atribuição das UGRHs quando ponderadas pelo fato de pressão de 1 a 4.

Figura 2 – Comparação dos valores gerados padronizados



**Material de Análise:**

A comparação dos cenários anuais de dados originais para 2007 e 2017 (tabelas 2 e 3) levando-se em conta que são todos fatores correlacionados será possível e mais simples após a geração do índice IAEM.

Os dados para compor as Matrizes AMC Anuais para geração do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento para os anos estudados são obtidos a partir das seguintes Fontes:

- **Dados da população:** são obtidos no site do IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)) ou em divulgações do publicada em Diário Oficial da União anualmente.
- **Macro Uso do Solo** - Atribuição da UGRHI, segundo o anexo III da Lei 9034 de 1994 (PERH); LEI Nº 16.337, DE 14 DE DEZEMBRO DE 2016, que Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas (<http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20161215&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=1>)
- **Número de Pontos, densidade e dados de qualidade (IQA)** – Relatórios anuais de qualidade de Água – CETESB.

Os produtos gerados pelos dois métodos de padronização, resultam em 2 séries normatizadas, as quais foram posteriormente multiplicadas pelo viés de 2 pesos, duas visões ou opiniões, que devem ser analisados ao máximo. Comparando-se as 4 séries de índices gerados passou-se a interpretação dos resultados e tendo como base a realidade da época de cada ano, entendeu-se que o resultado que melhor representou o período de estudo foi o método da padronização intervalada. E dentre as duas visões ou pesos propostos, entendeu-se que era melhor considerar os resultados obtidos na segunda fase da AMC – sensibilização que é a multiplicação pelos pesos. A visão AMC dá uma importância ligeiramente maior para a parte dos benefícios (0,55), ou seja, para a gestão da água, que engloba o número de pontos, sua densidade espacial e a média do IQA, pois é principalmente para se evidenciar esta condição, de boa gestão da qualidade, que este índice de abrangência se atem, frente aos custos causados pelo uso antrópico (0,45).

As tabelas 2 e 3 mostram as matrizes AMC de cálculo para os anos de 2007 e 2017.





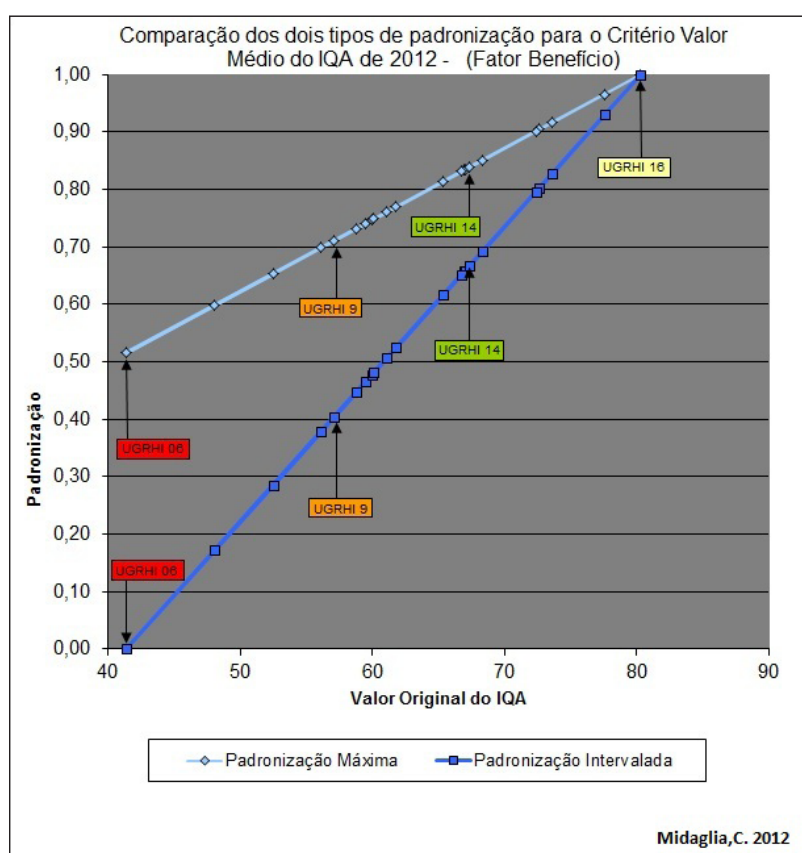


### O fator IQA sem normatizar:

As notas do IQA, Índice de Qualidade de Água utilizado pela CETESB desde 1975, foi regulamentado pelo decreto Estadual 8468, de 1976 com vistas a servir de informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento das águas superficiais. (CETESB, 1980). Seu resultado já representa uma média ponderada de vários parâmetros (tabela 2) para expressar a qualidade das águas, com maior facilidade de comunicação para público não especializado ou não.

O IAEM reconhece a importância e o valor histórico do IQA- Índice de Qualidade de Água, no monitoramento da qualidade de água, utilizado pela CETESB há mais de 35 anos, e através da inserção de suas médias anuais como parte de sua composição do Índice, com peso de 0,30.

Figura 3 – Exemplo dos tipos de Padronização sobre o valor original do IQA 2012



Porém, ainda que tenha sido escolhido o método de padronização intervalada, a normatização do IQA foi questionada. Como esta nota já é resultado de um produtório cujo intervalo varia de 0 a 100, não haveria necessidade de submetê-la a nova normatização, que poderia resultar em uma transformação equivocada, pois poderia subestimar ou superestimar os resultados da nota da qualidade da água (IQA). A sugestão foi entendida como uma contribuição positiva para a revisão da proposta original e foi incorporada. Portanto, apresentam-se aqui valores que já contemplam esta revisão, ainda que em termos de avaliação da melhor performance por unidade por ano anual, isto possa dificultar a avaliação comparativa. Porém, como este não é o objetivo principal, decidiu-se por aceitar esta sugestão e assim foi apresentado no 2º. CARTOGEO (disponível em <http://www.2cartogeo.com.br/index.asp>) em 2011.

Em 2012 foi apresentado como proposta de solução na plataforma online do 6º Fórum Mundial de Águas em Marseilles, na França (<http://www.solutionsforwater.org/solutions/proposal-of-implementation-of-an-spatial-coverage-water-monitoring-index-scwmi#item-header-targets>).

Por fim, os resultados numéricos sintetizados por unidade, com médias para cada UGRHI, são classificados em 5 faixas e 2 classes, descritas na tabela 5.

**Tabela 4** – Classes do Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento (IAEM).

IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento		Intervalos		Sustentabilidade do Gerenciamento da Qualidade	Status do Monitoramento da Qualidade X Pressão Antrópica
Classes	Insuficiente	0	0,355	Alta vulnerabilidade á pressão antrópica	Vulnerável
	Pouco Abrangente	0,355	0,505	Vulnerabilidade significativa	
	Suficiente	0,505	0,605	Não Vulnerável	Não Vulnerável
	Abrangente	0,605	0,755	Sustentável	
	Muito Abrangente	0,756	1	Boa Sustentabilidade	

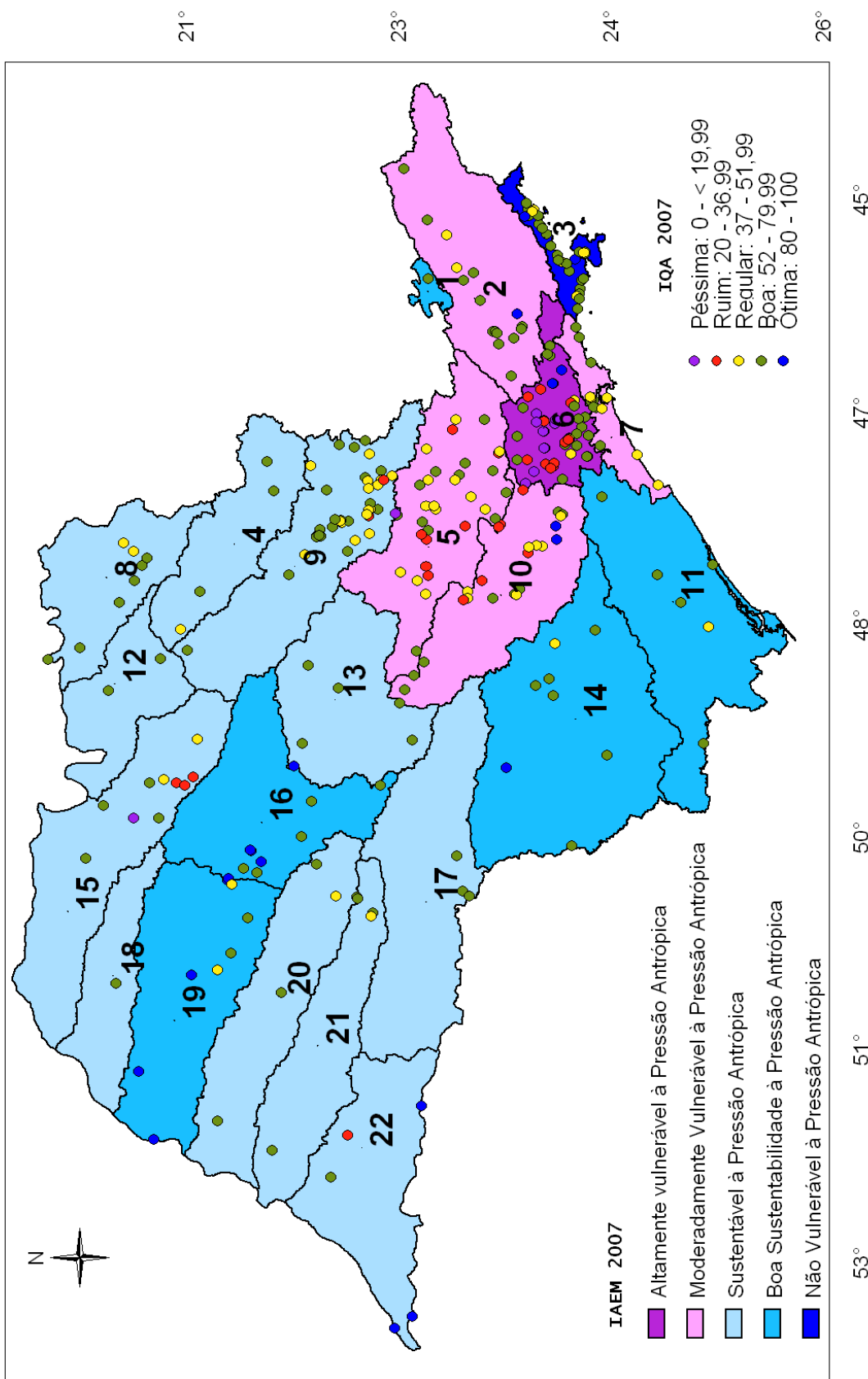
## Resultados e Conclusões

Portanto, o IAEM não é um índice de qualidade de água, mas sim um índice que reflete e avalia a susceptibilidade e a sustentabilidade do monitoramento através de cenários anuais. Inclui a qualidade de água entre seus componentes, pois se infere que além de se monitorar, quando se obtém bons resultados da qualidade da água, o fator influi positivamente na nota. O índice contribui para avaliar a abrangência e vulnerabilidade espacial da rede de monitoramento estadual com os impactos antrópicos ocorridos no território paulista, conforme o universo de cada ano, e, dará mais subsídios ao planejamento anual da rede superficial de monitoramento. Poderá indicar se é necessário ou não adensar a rede em determinadas unidades de gerenciamento hídrico e/ou investir em recuperação ambiental.

A CETESB passou a utilizar o índice IAEM com a propriedade de avaliar a evolução dos cenários de monitoramento de diversos anos. Nesse momento, a comparação temporal do índice é de 11 anos. Será apresentado em forma de tabelas e mapas (mapas 1 e 2).

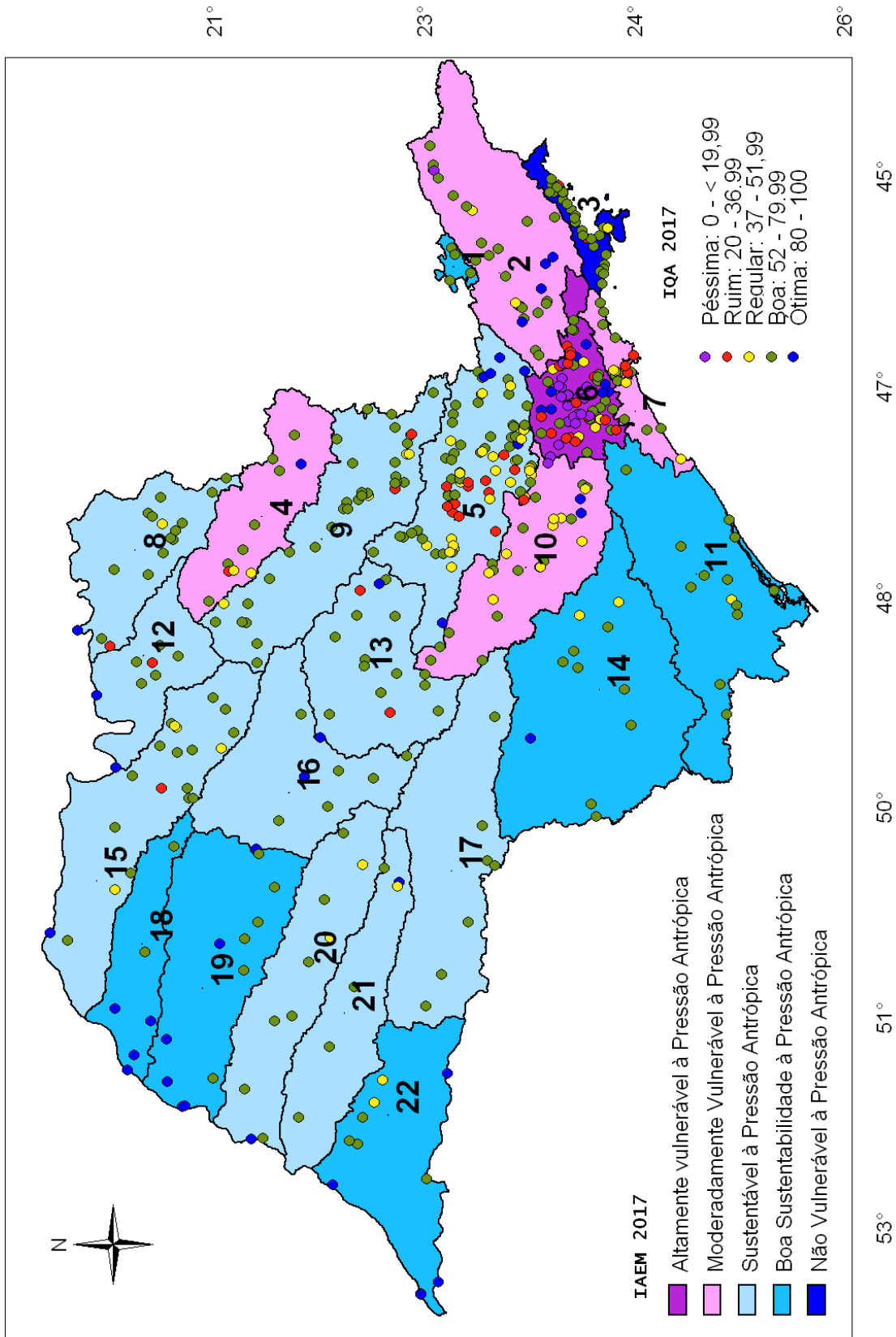
**Mapa 1** – Cenário das UGRHs no Estado de São Paulo em função do IAEM para o ano de 2007.

Mapa do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento de Água - 2007 - Estado de São Paulo e suas 22 UGRHs



**Mapa 2 –** Cenário das UGRHs no Estado de São Paulo em função do IAEM - 2017.

**Mapa do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento de Água - 2017 - Estado de São Paulo e suas 22 UGRHs**



## Referencias Bibliográficas

D.RUIZ; C.L.V.MIDAGLIA; C.C.LAMPARELLI, J.E. BEVILACQUA & N.MENEGON JR. - **O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NO ESTADO DE SÃO PAULO: Perspectivas para redução do fósforo**-XISIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE- 2012 J.P. Paraíba. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/xisrh/local.php>  
<http://www.asec.com.br/ArquivoAMR/ArtigoTecnico/ASECartigoTecnico0007.pdf>

**HERWIJNEN, M. van.** Spatial Decision Support for Environmental Management. **Amsterdam: Vrije Universiteit, 1999. 274 p.**

ITC - INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION. **Principles of Remote Sensing and Geographic Information Systems.** CD. 3ªed. Enschede, NL, 2004.

\_\_\_\_\_. **Spatial Decision Support Systems: Distance Education.** 2 CD's. Curso a distância de especialização. Enschede, NL, 2008.

\_\_\_\_\_. **ILWIS - Remote Sensing and GIS software.** Enschede, NL, 20 de agosto de 2009. Disponível em: <[www.itc.nl/ilwis](http://www.itc.nl/ilwis)>.

\_\_\_\_\_. **ILWIS - Documentation version 3.** Enschede, NL, s/d. Disponível em: <<http://www.itc.nl/ilwis/documentation/version3.asp>>.

**MIDAGLIA, C.L.** Proposta de Implantação do Índice de Abrangência Espacial de Monitoramento - IAEM por meio da Análise da Evolução da Rede de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo, 2009. Tese de doutorado e (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

MIDAGLIA, C.L.; TASHIBANA, E.; KAWAKUBO, F. **Análise da Pressão Antrópica Sobre A Rede de Monitoramento das Águas Superficiais do Estado de São Paulo por Meio da Avaliação Multi-Critério do IAEM -Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento.** Anais do Simpósio Internacional: Anais do II SIMPÓSIO INTERNACIONAL CAMINHOS ATUAIS DA CARTOGRAFIA NA GEOGRAFIA 2010. Disponível em: < [http://www.2cartogeo.com.br/Anais\\_2CARTOGEO.pdf](http://www.2cartogeo.com.br/Anais_2CARTOGEO.pdf) >

MIDAGLIA, C.L. 2012 -**The difficult sustainability between cities and their Waters.** Pg. 68-69. Missão empresarial. Rio de Janeiro: Abrapress, 2012. 144p. 2012 1(1) jun. Edição especial Rio+20. Disponível em: <[http://www.abrapress.com.br/revistas\\_missoes.php](http://www.abrapress.com.br/revistas_missoes.php)>

**SAATY, T. L.** The Analytic Hierarchy Process. **NY: McGraw Hill, 1980.**

**Sharifi, M.A.** (2007) Integrated planning and decision support systems: concepts, adoption and evaluation. In: Asian journal of geoinformatics, 7 (2007)4, pp. 13-21

6<sup>th</sup> World Water Forum: Solutions for water: **Proposal of Implementation of an Spatial Coverage Water Monitoring Index-SCWMI.** MIDAGLIA, CARMEN LUCIA VERGUEIRO; OVANDO CRESPO, CRISTINA KAREN; PÉREZ MACHADO, REINALDO PAUL - 2012. Marseilles, France. Disponível em: <<http://www.solutionsforwater.org/solutions/proposal-of-implementation-of-an-spatial-coverage-water-monitoring-index-scwmi>>