

Apêndice I

Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento - IAEM

1. 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. No processo de alocação de novos pontos, usualmente, dá-se prioridade aos locais onde se constata maior presença de fontes de poluição, ou seja, com atividade industrial mais elevada ou em locais com população elevada e falta de tratamento de efluente doméstico.

De acordo com o indicador europeu de densidade recomendada para pontos de monitoramento de águas superficiais - a Diretiva Europeia de Águas (*Water Framework Directive*), que é de 1 ponto por 1.000 km². Em 2007 a CETESB conseguiu atingir esta marca em relação a densidade de pontos e assim a manteve até 2020, sendo que, pela primeira vez, em função das restrições de coleta durante a pandemia este número voltou novamente a ficar abaixo deste valor, com 0,93 ponto por 1.000 km². Em 2021, com menos restrições na rede de monitoramento, este patamar foi novamente atingido pelo Estado de São Paulo, voltando a 1,8 pontos/1.000 km².

Embora seja bastante importante atingir esta associação quanto à densidade em função da área, a distribuição interna de pontos entre as 22 UGRHs permanece bastante desigual.

Desta forma, torna-se relevante outra maneira de avaliação capaz de verificar a abrangência da rede de qualidade de forma espacial, considerando-se outros fatores, além da extensão territorial. Desenvolvendo-se para isto o Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento-IAEM, considerando a pressão populacional e macrossos do solo, agrupados no critério pressão antrópica, correlacionado com as informações de qualidade da água.

2. Análise do IAEM dos anos de 2011, 2020 e 2021

Em face dos eventos e com algum reflexo de mudanças na composição de números da rede de monitoramento relativo às interrupções da amostragem comprometida pela pandemia, o intervalo de tempo de comparação do índice IAEM, deixou de ser efetuado com intervalo de 10 anos, sendo relacionado ao ano anterior, isto é, 2020. Porém, a análise temporal de 2011, será incluída antes do período comparativo atual, entre 2020 e 2021.

Para fins de comparação do panorama numérico dos anos de 2011, 2020 e 2021, as Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 mostram os cálculos nas respectivas matrizes de análise multicritério (AMC) para os anos acima mencionados.

Com os resultados numéricos processados nas Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 de padronização sintetizados por unidade, com as notas para cada UGRHI, classificam-se os resultados conforme os intervalos do índice, de 1 (melhor situação) até 0 (pior situação), distribuídos nas 5 classes e 2 categorias, com as respectivas denominações, relativa ao nível de pressão antrópica exercida na UGRHI. Na Tabela 4, alteram-se as denominações das classes, referentes aos termos empregados na coluna “Sustentabilidade do Monitoramento da Qualidade de Água”, relativa às publicações em anos anteriores:

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	Muito Abrangente	1	0,756	Não Vulnerável	Não Vulnerável
	Abrangente	0,755	0,606	Boa Sustentabilidade	
	Suficiente	0,605	0,506	Sustentável	
	Pouco Abrangente	0,505	0,356	Vulnerabilidade Significativa	Vulnerável
	Insuficiente	0,355	0	Alta vulnerabilidade à pressão antrópica	

2.1. Cenário do IAEM para 2011

Em 2011, considerando os 354 pontos em que foi possível fazer o cálculo do Índice de Qualidade de Água - IQA, a rede de monitoramento da CETESB indicou uma densidade de 1,43 pontos por 1.000 km², atendendo ao critério de densidade de pontos, recomendado pela Comunidade Econômica Europeia (CEE). Apesar da desigualdade espacial na distribuição dos pontos, dentro do território paulista, este critério tem sido alcançado para Estado de São Paulo como um todo desde 2007. Entretanto, as UGRHIs com predominância de atividades agropecuárias, situadas na parte oeste do Estado, possuíam, em seu conjunto, densidades abaixo da metade do recomendado, como a UGRHI 18 - São José dos Dourados, que continha em 2011, somente 0,15 pontos por 1.000 km².

A população do estado de São Paulo em 2011 foi estimada em 41.586.892 habitantes, conforme Estimativa do IBGE (disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=31451&t=resultados>), e a densidade populacional estadual foi estimada em 167,54 habitantes por km². A Tabela 5 contém os dados do IAEM 2011.

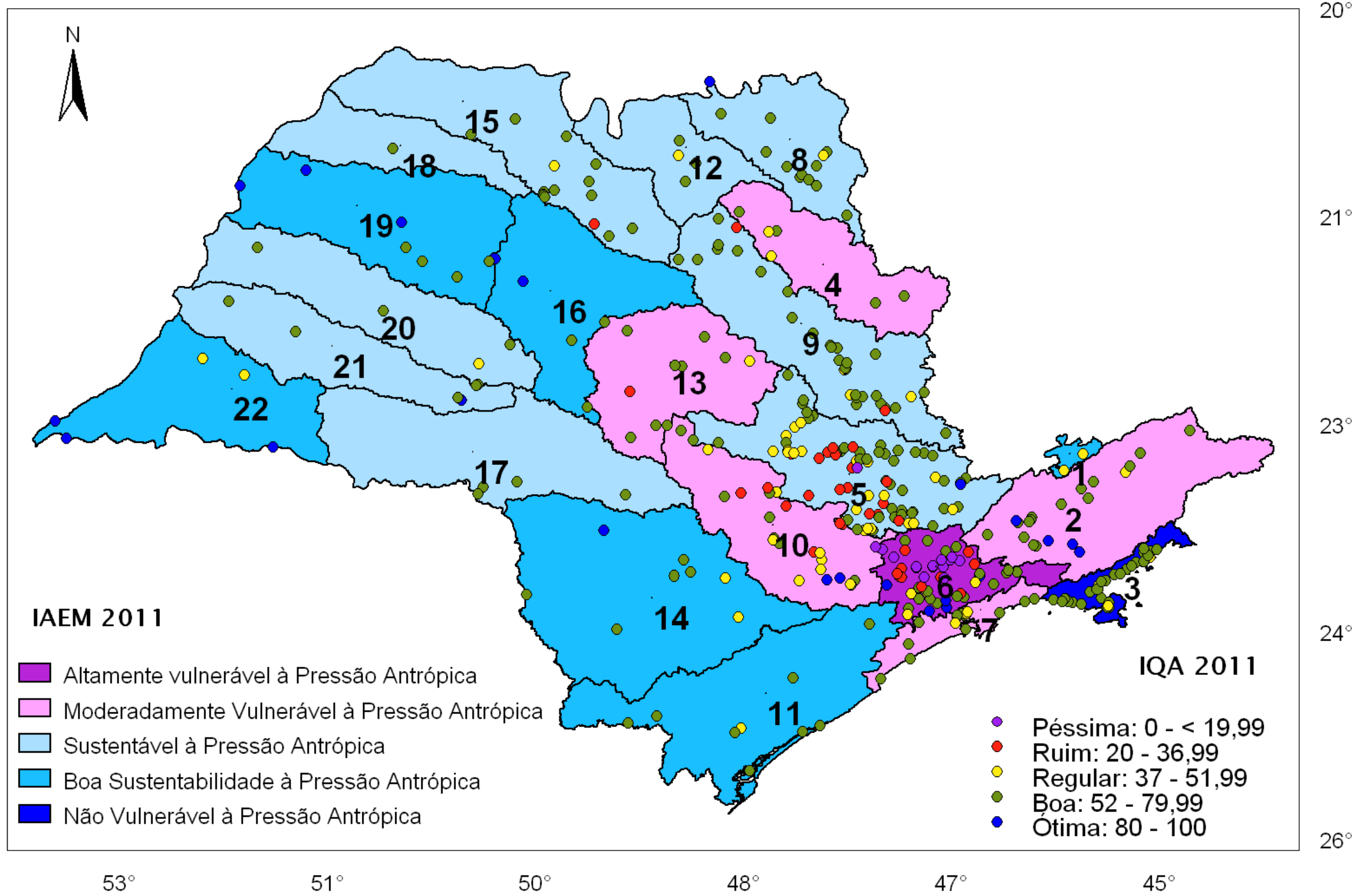
Tabela 5 – Dados originais do IAEM de 2011

Matriz de Análise Multi-criterial para geração do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento-Estado de São Paulo: Ano 2011								
Fatores Analisados:			Antrópico (Custos)		Monit. Ambiental (Benefícios)			Resultado IAEM (ÍNDICE0-1)
Dados Originais		Critérios	Dens. Pop.	Macro Uso-Solo	Média anual IQA/ UGHRI	Núm. Pontos Calc.	Dens. Rede Básica	
UGHRIs	Área Km ²	POP. IBGE 2011	hab/km ²	fator de pressão 1 a 4	Índice (0-100)	unidade	Ptos./1000 km ²	IAEM 2011
1	675	65.035	96,35	1	48,77	2	2,96	0,62
2	14.444	2.011.425	139,26	4	65,50	20	1,38	0,47
3	1.948	286.163	146,90	1	63,36	30	15,40	0,82
4	8.993	1.118.432	124,37	3	61,21	6	0,67	0,50
5	14.178	5.138.391	362,42	4	50,59	84	5,92	0,53
6	5.868	19.658.648	3.350,14	4	46,06	50	8,52	0,28
7	2.818	1.678.513	595,64	4	61,69	15	5,32	0,46
8	9.125	675.164	73,99	3	68,22	13	1,42	0,54
9	15.004	1.462.336	97,46	3	60,54	33	2,20	0,55
10	11.829	1.867.193	157,85	4	53,12	24	2,03	0,45
11	17.068	365.600	21,42	1	65,80	11	0,64	0,66
12	7.239	334.655	46,23	3	61,89	4	0,55	0,51
13	11.779	1.492.429	126,70	3	58,95	10	0,85	0,50
14	22.689	725.250	31,96	1	65,49	8	0,35	0,66
15	15.925	1.242.954	78,05	2	61,35	11	0,69	0,58
16	13.149	515.359	39,19	2	77,58	5	0,38	0,62
17	16.749	669.443	39,97	2	71,48	4	0,24	0,60
18	6.783	224.863	33,15	2	68,17	1	0,15	0,59
19	15.588	758.713	48,67	2	77,03	8	0,51	0,62
20	13.196	365.487	27,70	2	64,49	6	0,45	0,59
21	10.769	450.131	41,80	2	63,24	4	0,37	0,58
22	12.395	480.708	38,78	2	72,53	5	0,40	0,61
SP	248.219,5	41.586.892	167,55	3	63,05	354	1,43	12,34
								∑ IAEM 2011

E na sequência mostra-se o cenário estadual do IAEM em 2011 através do Mapa 1, conjuntamente com a classificação do IQA dos pontos monitorados no mesmo ano.

Mapa 1 – Cenário das UGRHs no Estado de São Paulo em função do IAEM para o ano de 2011

Mapa do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento de Água - 2011 - Estado de São Paulo e suas 22 UGRHs



Segundo os resultados do IAEM 2011, o monitoramento foi considerado como “Muito Abrangente/Não Vulnerável” somente para uma unidade:

- A UGRHI 3 - Litoral Norte, que obteve o maior IAEM do Estado de São Paulo: 0,82, pois destacou-se das demais por ter atingido a maior densidade de pontos (15,40 pontos/1.000 km²) entre as 22 UGRHIs, com 30 pontos monitorados. Além disto, teve média anual do IQA de 63,36 (Boa qualidade). Portanto, esta unidade não apresentava vulnerabilidade frente às questões antrópica à época.

O índice de monitoramento IAEM classificado como “Abrangente/ Boa Sustentabilidade”, foi constatado em 6 UGRHIs, em função da pressão antrópica da época:

- Três UGRHIs classificadas com o uso do solo, com ênfase para Conservação Ambiental (fator de ponderação 1): a UGRHI 1 - Mantiqueira, com densidade demográfica de 96,34 hab./km² e densidade de pontos de 2,96 pontos/1.000 km². A unidade obteve média do IQA 48,77 (Qualidade Regular) e IAEM de 0,62. A UGRHI 11 - Ribeira do Iguape/Litoral Sul, que novamente apresentou a menor densidade populacional estadual (21,42 hab./km²), com a menor pressão antrópica em termos de população estadual. Esta unidade de gerenciamento hídrico passou a ter 11 pontos, em 2011, e sua densidade de pontos elevou-se a 0,64 pontos/1.000 km². A média do IQA foi 65,80 (Boa qualidade). Já a UGRHI 14 - Alto Paranapanema, obteve IAEM de 0,66 e apresentou densidade de pontos de 0,35 pontos/1.000 km², pois monitorou 8 pontos. Porém sua nota foi compensada pela baixa ocupação populacional (31,96 hab./km²) e pela média anual do IQA de 65,49 (Boa qualidade) que melhorou em relação à 2010.
- E três UGRHIs predominantemente com macroúso agropecuário, com fator de ponderação 2, classificadas com “Abrangente/ Boa Sustentabilidade”. São elas: UGRHI 16 - Tietê /Batalha, com apenas cinco pontos e densidade de 0,35 pontos/1.000 km²), que obteve a segunda maior média anual do IQA 77,58 (Boa qualidade). A UGRHI 19 - Baixo Tietê, com oito pontos de monitoramento e metade da densidade recomendada (0,51 pontos/1.000 km²). Como também apresentou boa média do IQA 77,03 (Boa qualidade) e IAEM 0,62. E a UGRHI 22 - Pontal do Paranapanema, com área territorial de 12.395 km², contou com 5 pontos na Rede Básica e como consequência ficou com baixa densidade de pontos (0,40 pontos/1.000 km²). O IQA médio anual ficou em 72,53 (Boa qualidade), e finalizou com IAEM 0,61.

Foram nove as UGRHIs classificadas com o índice de abrangência espacial do monitoramento “Suficiente/Sustentável”, em 2011. Cinco estão no grupo das UGRHIs com macroúso do solo voltado ao setor agropecuário:

- A UGRHI 15 - Turvo/Grande, por ter o maior número de pontos (11) no grupo das UGRHIs com macroúso do solo agropecuário, obteve-se densidade média de 0,69 pontos/1.000 km², abaixo do recomendado. A média do IQA de 61,35, foi classificado como qualidade Boa e IAEM 0,58. Já a UGRHI 17 - Médio Paranapanema com densidade populacional de 39,96 hab./km², considerada como de baixa pressão antrópica, monitorou quatro pontos da Rede Básica e obteve densidade de apenas 0,24 pontos/1.000 km². Entretanto a média do IQA de seus pontos foi 71,48 (Boa qualidade), resultando em um IAEM de 0,60. A UGRHI 18 - São José dos Dourados, que embora tenha apresentado a menor densidade de pontos do ano de 2011, com somente 0,15 pontos/1.000 km²

(monitorou um único ponto - SJDO 02500), cuja média anual do IQA foi 68,17 (Boa qualidade). A unidade também manteve baixa densidade demográfica, praticamente estável, variando de 33,04 (2010) para 33,15 hab./ km² (2011), e obteve IAEM de 0,59. A UGRHI 20 - Aguapeí, com IAEM de 0,59 também com baixa pressão antrópica, pois indicou a segunda menor densidade populacional (27,69 hab./km²) do estado. O monitoramento foi de 6 pontos e a densidade de pontos inferior a metade do recomendado (0,45 pontos/1.000 km²). O IQA médio ficou 64,49 (Boa qualidade). E a UGRHI 21 - Peixe com IAEM de 0,58 (Suficiente/Sustentável), por ter apenas 4 pontos e densidade de pontos de 0,37 /1.000 km² e baixa pressão antrópica com densidade populacional de 41,79 hab./km².

Outras 3 UGRHIs, com macroúso do solo "em industrialização", com fator de ponderação 3, foram classificadas como "Suficiente/Sustentável":

- UGRHI 8 - Sapucaí/Grande que aumentou o monitoramento para 13 pontos em 2011, mantendo-se acima da densidade mínima recomendada, com 1,42 pontos/1.000 km². Nesta UGRHI foi registrada a maior nota do IQA de 2011, no ponto do Rio Grande GRDE 02300, em Miguelópolis, com 92,23 (Ótima qualidade). A média anual foi de IQA 68,22 (Boa qualidade) e o IAEM foi 0,54. Já a UGRHI 9-Mogi-Guaçu, com 1.462.336 habitantes (2011), equilibrou a pressão antrópica mantendo o dobro da densidade recomendada (2,1 pontos/1.000 km²) e boa média de IQA anual 60,54 (Boa qualidade). A UGRHI 12 – Baixo Pardo/Grande, obteve IAEM de 0,50. Monitorou apenas 4 pontos em 2011 e continua com baixa densidade, 0,55 pontos/1.000 km² e IQA médio 61,89 (Boa qualidade). Mas apresenta baixa pressão antrópica, com densidade populacional de 46,22 hab./km².

E ainda neste grupo, classificado como "Suficiente/Sustentável" e IAEM de 0,53, tem-se uma unidade com macroúso do solo industrial:

- UGRHI 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiaí, com 5,1 milhões de habitantes (2011) e terceira maior densidade populacional (362,42 hab./km²) e, desta forma, com grande pressão antrópica. A média anual do IQA indicou a terceira pior do conjunto estadual em 2011, com 50,59 (Qualidade Regular). Ressalta-se, entretanto, que a unidade alcançou o maior número de pontos monitorados por UGRHI de 2011: 84 pontos, sendo também a segunda maior UGRHI em termos de densidade do monitoramento, com 5,9 pontos/1.000 km².

Na categoria do IAEM "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa" à pressão antrópica foram 5 as unidades assim classificadas. São 3 unidades com macroúso predominantemente industrial (ponderado pelo maior valor de impacto para o fator de pressão antrópica): UGRHIs 2 - Paraíba do Sul, 7 - Baixada Santista e 10 - Sorocaba/Médio Tietê.

- A UGRHI 2 - Paraíba do Sul, monitorou 20 pontos e atingiu densidade 1,38 pontos/1.000 km² (menor relação de densidade espacial entre as UGRHIs com macroúso do solo industrial). A unidade possui população total próxima de 2 milhões (2.011.425 em 2011) significando um fator de pressão antrópica importante. Apesar de manter uma boa qualidade de água, com IQA médio de 65,50 apresentou de IAEM 0,47, enquadrando-se como sendo "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa" à pressão antrópica. A UGRHI 7 - Baixada Santista, com IAEM de 0,45 esteve com 15 pontos de monitoramento (2011), e densidade 5 vezes acima do recomendado (5,32 pontos/1.000 km²). Entretanto a unidade está integrada nesta categoria, principalmente, devido à alta densidade

populacional, 595,63 hab./km². O IQA médio foi 61,69 (Boa qualidade) e o IAEM 0,46. Também nesta classe está a UGRHI 10 - Sorocaba/Médio Tietê, com 24 pontos (2011), e densidade de pontos de 2,02 pontos/1.000 km². A média anual do IQA foi 53,12 (Boa qualidade).

E mais duas unidades com uso do solo considerado “em industrialização” que estão nesta categoria do IAEM “Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa” à pressão antrópica”:

- UGRHIs 4 - Pardo com densidade populacional de 124,36 hab./km² em 2011. A unidade aumentou 2 pontos em relação ao ano anterior e monitorou 6 pontos da Rede Básica, com densidade de 0,66 pontos/1.000 km². O IQA médio foi 61,21 (Boa qualidade), obtendo IAEM de 0,50, portanto, com “Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa” à pressão antrópica. Na UGRHI 13 – Tietê/ Jacaré, a densidade populacional ficou em 126,70 hab./km². Esta unidade monitorou 10 pontos, passando de 0,59 (2010) para 0,68 pontos/ 1.000 km², mas ainda abaixo da densidade recomendada. A média anual do IQA manteve a qualidade Boa (IQA 61,75).

E por fim, temos a UGRHI 6 - Alto Tietê, classificada com a abrangência do monitoramento “Insuficiente /Alta vulnerabilidade” à pressão antrópica:

A unidade do Alto Tietê, onde se situa a cidade de São Paulo, com população de 11.316.149 habitantes (2011) apresentou o menor índice do IAEM (0,28). Esta UGRHI tem a maior densidade populacional do Estado, com 3,350,14 hab./km², efluindo esgoto doméstico acima da capacidade de assimilação dos corpos hídricos urbanos receptores. Apesar de ter tido 50 pontos e contemplar a segunda maior densidade do Estado, com 8,52 pontos/1.000 km² o monitoramento foi classificado como “Insuficiente /Alta vulnerabilidade” à pressão antrópica. A média anual do IQA foi 46,06, (Qualidade Regular), mas vários pontos apresentaram IQA de Péssima qualidade, tal como o ponto na foz do rio Pinheiros, PINH 04900, que foi a pior média anual entre os pontos monitorados, com IQA 15,071 (Qualidade Péssima).

Em resumo, conforme o IAEM 2011, dentre as 22 UGRHIs, somente 5 unidades classificaram-se com o monitoramento vulnerável a pressão antrópica existente à época. E não vulnerável 17 UGRHIs. Se fosse considerado somente o critério da CEE (densidade territorial), somente 11 unidades de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo atenderiam ao critério da densidade recomendada.

2.2. Cenário do IAEM para os anos de 2020 /2021

Conforme explicitado no Capítulo 3 do corpo principal do RAI 2021 - Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo - 2021, em face às bruscas mudanças na composição de números da rede de monitoramento, o IAEM 2021 vai ser comparado a 2020. A Tabela 6 mostra os dados originais de 2020 (primeiro ano da pandemia) e 2021 (com influência da pandemia), com as somatórias do IAEM calculado para as 22 UGRHIs, em que se divide o Estado de São Paulo.

Tabela 6 – Dados originais para geração do Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento 2020 e 2021

Matriz de Análise Multi-criterial para geração do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento-Estado de São Paulo: Ano 2020									Matriz de Análise Multi-criterial para geração do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento-Estado de São Paulo: Ano 2011								
Fatores Analisados:			Antrópico (Custos)		Monit. Ambiental (Benefícios)			Resultado IAEM (ÍNDICE0-1)	Fatores Analisados:			Antrópico (Custos)		Monit. Ambiental (Benefícios)			Resultado IAEM (ÍNDICE0-1)
Dados Originais		Critérios	Dens. Pop.	Macro Uso-Solo	Média anual IQA/ UGHRI	Núm. Pontos Calc.	Dens.Red. Básica		Dados Originais		Critérios	Dens. Pop.	Macro Uso-Solo	Média anual IQA/ UGHRI	Núm. Pontos Calc.	Dens.Red. Básica	
UGHRIs	Área Km ²	POP. IBGE 2020	hab/km ²	fator de pressão 1 a 4	Índice (0-100)	unidade	Ptos./1000 km ²	IAEM 2020	UGHRIs	Área Km ²	POP. IBGE 2021	hab/km ²	fator de pressão 1 a 4	Índice (0-100)	unidade	Ptos./1000 km ²	IAEM 2021
1	675	70.125	103,89	1	63,48	3	4,44	0,70	1	675	70.463	104,39	1	59,09	5	7,41	0,69
2	14.444	2.253.095	155,99	4	61,20	12	0,83	0,45	2	14.444	2.271.905	157,29	4	62,59	31	2,15	0,47
3	1.948	341.132	175,12	1	68,23	7	3,59	0,70	3	1.948	345.844	177,54	1	64,85	31	15,91	0,80
4	8.993	1.263.688	140,52	3	51,40	5	0,56	0,47	4	8.993	1.275.223	141,80	3	61,52	7	0,78	0,50
5	14.178	5.909.454	416,80	4	50,65	35	2,47	0,46	5	14.178	5.972.714	421,27	4	49,83	66	4,66	0,48
6	5.868	21.704.648	3.698,82	4	36,57	67	11,42	0,36	6	5.868	21.857.224	3.724,82	4	37,12	101	17,21	0,36
7	2.818	1.881.706	667,75	4	61,95	16	5,68	0,49	7	2.818	1.897.551	673,37	4	54,70	19	6,74	0,44
8	9.125	744.851	81,63	3	56,32	6	0,66	0,50	8	9.125	750.037	82,20	3	64,89	2	0,22	0,51
9	15.004	1.634.221	108,92	3	55,98	6	0,40	0,49	9	15.004	1.647.517	109,81	3	58,92	21	1,40	0,52
10	11.829	2.154.115	182,10	4	54,83	21	1,78	0,46	10	11.829	2.177.771	184,10	4	56,03	30	2,54	0,46
11	17.068	381.230	22,34	1	63,51	4	0,23	0,65	11	17.068	381.848	22,37	1	68,79	14	0,82	0,67
12	7.239	361.964	50,00	3	51,85	4	0,55	0,48	12	7.239	363.816	50,26	3	57,36	9	1,24	0,50
13	11.779	1.663.315	141,21	3	60,46	5	0,42	0,50	13	11.779	1.676.436	142,32	3	61,79	15	1,27	0,52
14	22.689	782.169	34,47	1	61,29	5	0,22	0,64	14	22.689	785.962	34,64	1	71,23	12	0,53	0,68
15	15.925	1.375.688	86,39	2	58,83	6	0,38	0,57	15	15.925	1.385.672	87,01	2	58,88	21	1,32	0,58
16	13.149	568.329	43,22	2	73,92	6	0,46	0,62	16	13.149	572.261	43,52	2	70,31	11	0,84	0,61
17	16.749	727.434	43,43	2	73,53	3	0,18	0,61	17	16.749	731.474	43,67	2	73,05	9	0,54	0,61
18	6.783	239.412	35,30	2	66,86	1	0,15	0,58	18	6.783	240.282	35,42	2	78,75	6	0,88	0,63
19	15.588	837.412	53,72	2	70,68	5	0,32	0,60	19	15.588	843.277	54,10	2	72,39	12	0,77	0,61
20	13.196	390.252	29,57	2	58,86	3	0,23	0,56	20	13.196	391.779	29,69	2	62,29	10	0,76	0,58
21	10.769	488.188	45,33	2	57,21	3	0,28	0,56	21	10.769	490.809	45,58	2	68,81	6	0,56	0,60
22	12.395	516.905	41,70	2	64,02	7	0,56	0,59	22	12.395	519.267	41,89	2	66,68	10	0,81	0,60
SP	248.219,5	46.289.333	186,49	3	60,08	230	0,93	12,01	SP	248.219,5	46.649.132	187,94	3	62,72	448	1,80	12,42
Σ IAEM 2020									Σ IAEM 2021								

Em 2021, segundo a Estimativa do IBGE (disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=31451&t=resultados>), a população do Estado de São Paulo atingiu 46.649.132 habitantes, aumentando em cerca de 5 milhões durante no período de 10 anos (2011-2021). As UGRHIs com macroúso do solo industrial, notadamente as de maiores pressões antrópica, houve um aumento de 3,8 milhões de pessoas. Já no período entre os anos de 2020 a 2021, o incremento total da população estadual foi 359.799 habitantes, sendo que 274.147, nas UGRHIs com macroúso do solo industrial.

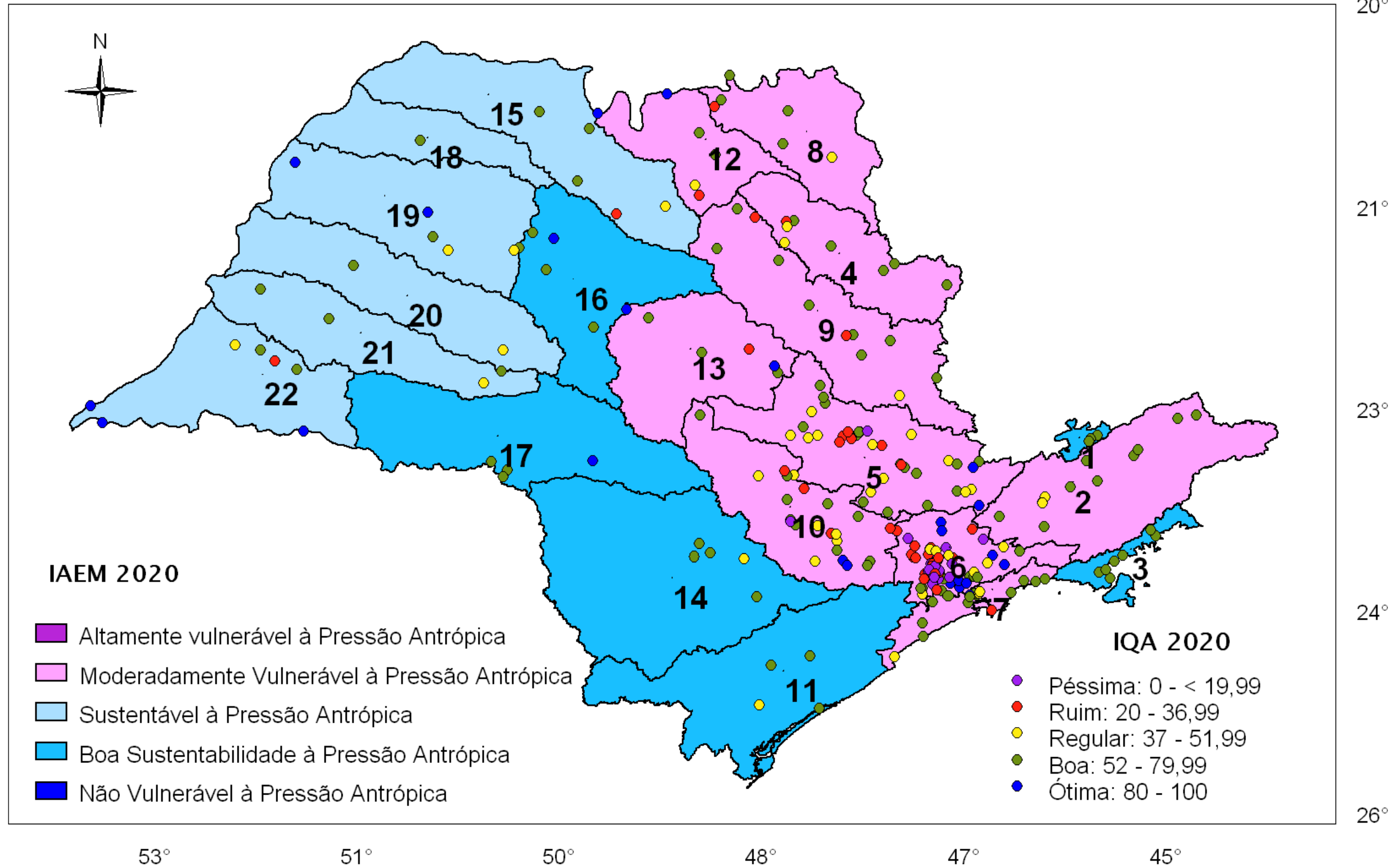
A redução do monitoramento em 2021 foi muito menos significativa do que foi em 2020, uma vez que as restrições de coleta e processamento acarretaram uma diminuição em 2019 em mais de 50% da rede existente. Mas no segundo ano, ainda com restrições da pandemia a redução foi bem menor, pois da Rede Básica inicialmente planejada para 2021, com 520 pontos, obteve-se 86% com no mínimo de três coletas e 54% com todas as quatro coletas previstas. Com isto, o Estado de São Paulo passou de uma densidade de 0,93 pontos/1.000 km² (2020), inferior ao recomendado, voltando a atingir 1,8 pontos/1.000 km², superior ao recomendado (1 ponto/1.000 km²).

A maior presença de pontos do monitoramento da Rede Básica, em todas as UGRHIs em 2021, fez a amplitude da distribuição espacial da densidade de pontos/1.000 km² dentro do conjunto das 22 UGRHIs tornar-se um pouco mais elevada novamente. Em 2020, a amplitude foi de 11,27 pontos/1.000 km² e oscilou de 0,15 pontos/1.000 km² na UGRHI 18 - São José dos Dourados à 11,42 pontos/1.000 km² na UGRHI 6 – Alto Tietê. Já em 2021, a amplitude aumentou para 16,99 variando de 0,22 pontos/1.000 km², registrado na UGRHI 08-Sapucai/ Grande à 17,21 pontos/1.000 km² na UGRHI 6 – Alto Tietê. Isto mostra que ainda existem em ambas as comparações, grandes desigualdades espaciais no monitoramento entre as UGRHIs quando somente o fator densidade de pontos é considerado.

Em termos de mudança de classes do índice multicritério IAEM, em relação a 2020, verificam-se seis alterações, todas para categoria melhor. São elas: UGRHI 3- Litoral Norte, UGRHI 8-Pardo, UGRHI 9-Mogi-Guaçu, UGRHI 13-Tietê/ Jacaré, UGRHI 18- São José dos dourados e UGRHI 19-Baixo Tietê. O Mapa 2 (2020) e o Mapa 3 (2021) resumem a situação das UGRHIs em relação ao IAEM.

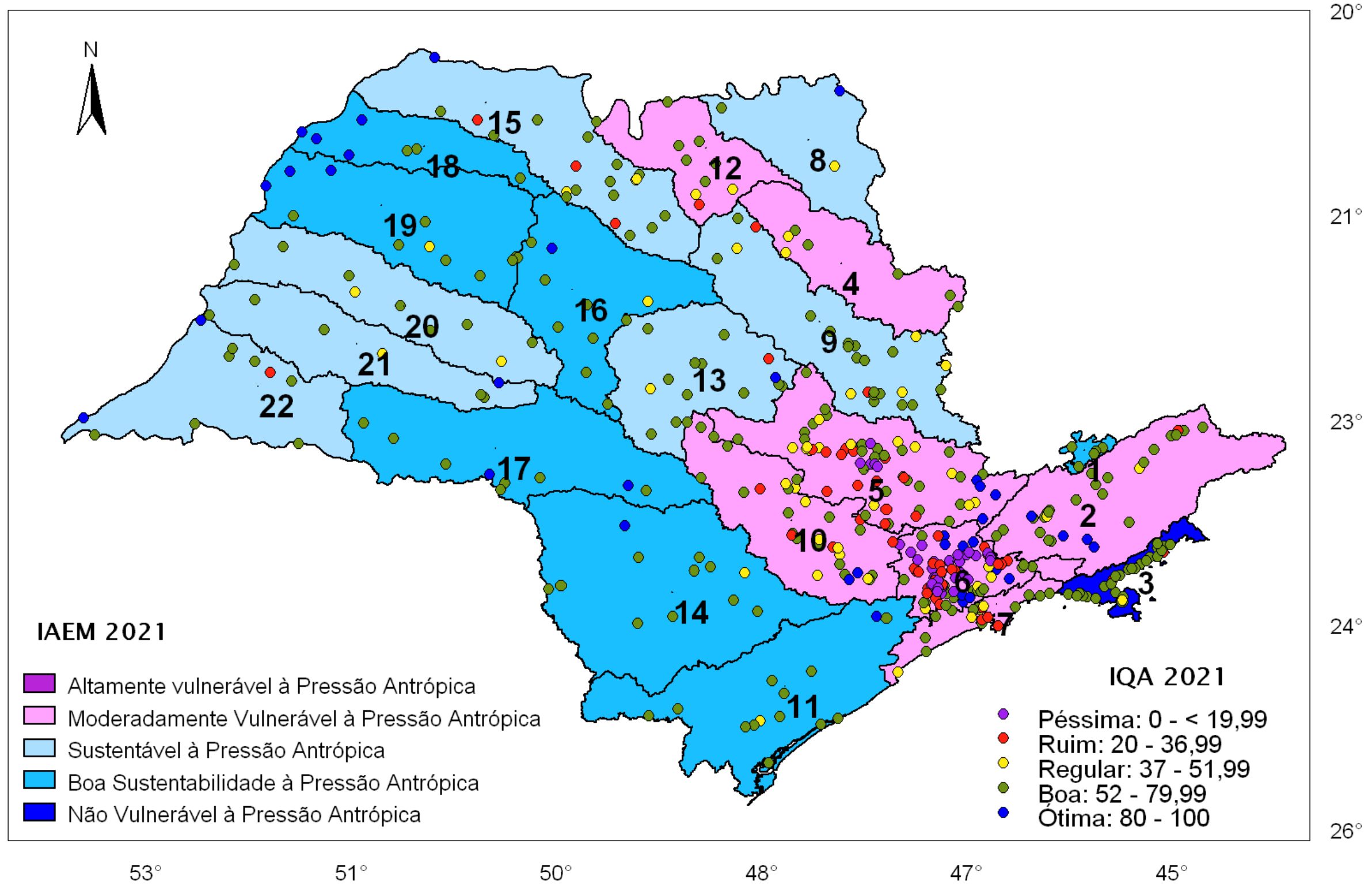
Mapa 2 – Situação das UGRHs no Estado de São Paulo em função do IAEM – 2020

Mapa do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento de Água - 2020 - Estado de São Paulo e suas 22 UGRHs



Mapa 3 – Situação das UGRHIs no Estado de São Paulo em função do IAEM - 2021

Mapa do IAEM - Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento de Água - 2021 - Estado de São Paulo e suas 22 UGRHIs



Segundo os resultados do IAEM 2021, somente a UGRHI 03 - Litoral Norte foi classificada com o monitoramento "Muito Abrangente/Não vulnerável" à pressão antrópica":

- A unidade passou da densidade de 3,59 pontos/1.000 km² e sete pontos (2020) para 15,91 pontos/1.000 km² com o retorno dos 31 pontos da Rede Básica prevista. Tal como nos anos anteriores a pandemia, inclusive em 2019, a unidade voltou a apresentar altíssima densidade (15,91 pontos/1.000 km²), pois tem muitos rios que nascem na Serra do Mar e drenam diretamente para o mar. A UGRHI 3 - Litoral Norte apresentou pequena queda na média anual do IQA 64,85 (2021) e 68,23 (2020) ambas com Boa qualidade. O IAEM passou de 0,70 (2020) "Abrangente/Boa Sustentabilidade" para 0,80 (maior nota do IAEM em 2021) elevando-se para a melhor categoria: "Muito Abrangente/Não vulnerável" à pressão antrópica.

Conforme os critérios do IAEM para a categoria "Abrangente/Boa Sustentabilidade" frente à pressão antrópica, tem-se seguintes 7 UGRHIs:

Três unidades com macroúso destinado à conservação solo (ponderado no fator 1) com grandes unidades de conservação, que permaneceram na mesma categoria em 2020. São as UGRHIs 1, 11 e 14:

- A UGRHI 1 – Mantiqueira, que voltou a ter cinco pontos de amostragem tal como anterior a pandemia; a densidade que havia diminuído (2020) para 4,44 pontos/1.000 km², atingiu 7,41 pontos/1.000 km² em 2021. Entretanto a média do IQA 63,48 (qualidade Boa) em 2020 diminuiu para 59,09 (qualidade Boa) em 2021. Com isto, o IAEM oscilou de 0,70 para 0,69 no mesmo período.
- A UGRHI 11 - Ribeira de Iguape/Litoral Sul continua em 2021 a apresentar a menor pressão antrópica do Estado, com densidade populacional de 22,37 hab./km². A unidade passou a contar com 14 pontos monitorados em 2021 e densidade subiu para 0,82 pontos/1.000 km² contra os somente quatro pontos do ano anterior, com densidade bem abaixo do recomendado: 0,23 pontos/1.000 km². A média do IQA melhorou, passando de 63,51 (Boa qualidade) para 68,79 (Boa qualidade) em 2021. O IAEM melhorou de 0,65 para 0,67 no intervalo analisado.
- A UGRHI 14-Alto Paranapanema, que permanece na mesma classe, mas cujo IAEM melhorou de 0,64 para 0,68. A unidade manteve baixa pressão antrópica devido a sua densidade populacional de 34,64 hab./km² (2021). A redução de pontos (2020) de somente 5 com mais de três coletas foi revertida e os 12 pontos previstos foram executados. Assim a densidade de pontos voltou a ser de 0,53 pontos/1.000 km², porém metade do recomendado. O IQA médio continua com Boa qualidade, variando positivamente a média anual de 61,29 (2020) para 71,23 em 2021. Destaca-se que nesta unidade obteve-se a melhor nota do IQA no Estado em 2021: O ponto JURU 02500, localizado no Reservatório de Jurumirim, registrou IQA de 91,96 (qualidade Ótima).

Quatro UGRHIs cujas unidades possuem macroúso agropecuário (com fator de ponderação 2) também pertencem a esta categoria "Abrangente/Boa Sustentabilidade", sendo duas unidades já nesta categoria em 2020, e duas que subiram de categoria.

- A UGRHI 16 - Tietê/Batalha permanece na mesma categoria do ano anterior, onde o IAEM oscilou de 0,62 para 0,61. Manteve a baixa densidade demográfica com 42,91 hab./km² (2020) e 43,52 hab./km² em 2021, portanto, pressão antrópica é praticamente estável. Essa UGRHI, que já possuía densidade de pontos abaixo do recomendado antes da pandemia, monitorando apenas seis pontos em 2020, retornou aos 11 pontos da Rede Básica previstos para 2021. Assim obteve densidade de

0,84 pontos/1.000 km². A média do IQA variou de 73,92, (2020) para 70,31 em 2021, indicando uma pequena queda, mas mantendo Boa qualidade.

- A UGRHI 17 – Médio Paranapanema, conservou a mesma nota do IAEM do 0,61 (2020): “Abrangente/Boa Sustentabilidade”. A população de 2020 foi de 727.434 para 731.474 habitantes em 2021, mantendo baixa densidade demográfica. Reduziu para 3 pontos o número de pontos coletados em 2020, com densidade muito abaixo da metade do recomendado: 0,18 pontos/1.000 km². Já em 2021, retomou ao previsto, passou a 0,54 pontos/1.000 km², pois monitorou 9 pontos. Houve estabilidade também na média anual do IQA de 73,53 (2020) e 73,05 (2021) atestando Boa qualidade no período.
- A UGRHI 18 - São José dos Dourados, cuja pressão antrópica manteve-se estável, permanecendo a densidade populacional entorno de 35 hab./km² tanto em 2020 como em 2021. Em 2020, com as restrições, coletou em apenas um único local, tal como já ocorreu no período entre 1978 a 2012, quando a unidade indicava a pior densidade do Estado, com 0,15 pontos/1.000 km². Em 2021 voltou a ter 6 pontos monitorados com densidade de 0,88 pontos/1.000 km². A média anual do IQA de 2021 foi a maior dentre todas as outras unidades do estado: 78,75 (Boa qualidade). O IAEM variou positivamente de 0,58 “Suficiente/Sustentável” para 0,63 e a rede de monitoramento classificada como “Abrangente/Boa Sustentabilidade”.
- A UGRHI 19 - Baixo Tietê, que também subiu de categoria uma vez que o IAEM foi 0,60 (Suficiente/Sustentável) em 2020 e, em 2021, foi para 0,61 classificando-se como “Abrangente/Boa Sustentabilidade” frente à pressão antrópica. Em 2020 o número de pontos esteve restringido para apenas 5, com apenas um 1/3 da densidade recomendada. Mas, em 2021, retornou com os 12 pontos previstos e a densidade voltou a ser de 0,77 pontos/1.000 km², ainda abaixo do recomendado. Este fator foi compensado pela baixa densidade demográfica, que esteve entorno de 53 hab./km² em 2020 e 54,10 hab./km² em 2021, e também devido a ser ponderado pelo fator 2 referente ao macroúso do solo. O IQA médio anual da unidade oscilou um pouco com a média anual passando de 70,68 para 72,39 (Boa qualidade em ambos os casos).

Foram também 7 as UGRHIs classificadas com o Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento classificadas como “Suficiente/Sustentável”. São três unidades do grupo de UGRHIs com macroúso do solo em industrialização e mais 4 com predominância de atividades agropecuárias:

- UGRHI 8 - Sapucaí/Grande mudou de categoria, com IAEM de 0,50 “Pouco Abrangente/Vulnerabilidade Significativa” em 2020 para 0,51, ficando com o monitoramento “Suficiente/Sustentável” em 2021. A unidade manteve a pressão antrópica com densidade populacional entorno de 82 hab./km² e a população atingindo 750.037 habitantes (2021). Já quanto ao número de pontos monitorados, houve um retrocesso no período 2020/2021 por reflexos das restrições de coletas naquela região, diminuindo de 6 pontos e 0,66 pontos/1.000 km² (2020) para apenas 2 em 2021, quando a densidade caiu para 0,22 pontos/1.000 km². Entretanto o retorno para a atual categoria só ocorreu devido a manutenção do IQA médio anual de 62,61 (2020) para 64,89 (Boa qualidade), que a classificou melhor em relação as demais unidades com mesmo macroúso.
- UGRHI 9-Mogi-Guaçu, com 1.634.221 habitantes (2020) passou para 1.647.517 habitantes em 2021. Em 2020, só conseguiu monitorar 6 pontos e densidade caiu para menos da metade do

recomendável, com apenas 0,40 pontos/1.000 km². Em 2021 a rede de monitoramento realizou 21 pontos (mais de três coletas) e a densidade subiu para 1,40 pontos/1.000 km². Também a média do IQA aumentou no período comparado, passando de 55,98 (qualidade Boa) em 2020 para 58,92 (2021). Assim, o IAEM passou de 0,49 “(Pouco Abrangente/ vulnerabilidade significativa)” em 2020 para 0,52 “Suficiente/Sustentável” (2021), subindo de categoria e demonstrando a importância da abrangência espacial do monitoramento.

E mais 4 UGRHIs com macroúso do solo agropecuário ainda na categoria Suficiente/Sustentável:

- UGRHI 13 - Tiete/Jacaré mudou de categoria no período comparado. O IAEM foi 0,50 (2020) “Pouco Abrangente/ vulnerabilidade significativa” para 0,52, “Suficiente/Sustentável”. A unidade que esteve com apenas 5 pontos e densidade 0,42 pontos/1.000 km² (2020) e, em 2021, amostrou 15 pontos e a densidade voltou a superar o mínimo recomendado, atingindo 1,27 pontos/1.000 km². Já a respeito da média anual do IQA, verifica-se que foi bem semelhante: 61,79 (2021) contra 60,46 (2020), ambas demonstrando Boa qualidade da água.
- UGRHI 15 - Turvo/Grande, única do grupo das agropecuárias com densidade recomendada, 1,32 pontos/1000 km², retornando os 21 pontos planejados em 2021. As médias anuais do IQA foram muito semelhantes: em 2020, 58,83 (Boa qualidade) e, em 2021, 58,88 (Boa qualidade). O IAEM variou de 0,57 para 0,58 (Suficiente/Sustentável).
- UGRHI 20 - Aguapeí, que em 2020 manteve-se na mesma categoria do IAEM (Suficiente/Sustentável), porém, subindo de 0,56 (2020) para 0,58 (2021). Além disso, essa UGRHI reverteu a limitação de monitorar apenas três pontos (2020) com densidade de 0,23 pontos/1.000 km² para 10 (2021) e 0,76 pontos/1.000 km², ainda abaixo da recomendada. O IQA médio manteve-se com qualidade Boa em ambos os anos considerados: 58,86 (2020) e 62,29 (2021). O fator densidade populacional continua a atuar favoravelmente na nota do IAEM, pois a unidade permanece com baixa densidade populacional mantendo-se em 29 hab./km² no período no intervalo, o que indica baixa pressão antrópica sobre seus recursos hídricos.
- UGRHI 21 – Peixe, que obteve IAEM de 0,56 (2020) oscilou positivamente para 0,60 em 2021, mas mantendo-se na mesma categoria “Suficiente/Sustentável”, apesar de manter baixa densidade populacional, entorno de 45 hab./km², estável no período avaliado. A unidade passou de 3 pontos (2020) para 6 pontos, mas continua apresentando baixa densidade de monitoramento com 0,56 pontos/1.000 km² (2021). Em relação à qualidade de água, apresentou média anual do IQA de 57,21 (2020), melhorando para 68,81 (2021), ambos os anos classificados como água bruta de Boa qualidade.
- UGRHI 22 - Pontal do Paranapanema, com IAEM 0,59 (2020) (Suficiente/Sustentável) foi para 0,60 (2021), mantendo-se na mesma classe. Em 2020, monitorou 7 pontos, com densidade de 0,56 pontos/1.000 km², mas em 2021 foram coletados 10 pontos de amostragem cuja densidade ficou em 0,81 pontos/1.000 km², ficando mais perto da densidade recomendada. A média do IQA anual 64,02 (2020) foi classificada como de Boa qualidade assim como a média de 66,68 (2021). Quanto à pressão antrópica, a população cresceu de 516.905 para 519.267 habitantes e a densidade demográfica manteve-se estável, entorno de 41 hab./km² em ambos os anos.

Em 2021 o número de UGRHIs classificadas com o IAEM "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa" diminuiu de 11 (2020) para 7 unidades. Ressalta-se que todas estas 7 unidades já estavam assim classificadas em 2020, não havendo, portanto, melhora. Foram 2 UGRHIs com fator de ponderação do 3 (macroúso do solo em industrialização):

- UGRHI 4 - Pardo, com 1.275.223 habitantes e densidades demográfica de 141,80 hab./km² (2021) permaneceu nesta categoria do IAEM "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa". Em 2020, em função das maiores restrições da pandemia só registrou 5 pontos com três coletas e assim a densidade caiu para 0,56 pontos/1.000 km². Em 2021 monitorou 7 pontos (0,78 pontos/1.000 km²) e não obteve a densidade territorial mínima da CEE. Porém, a média anual do IQA que era 51,40 (qualidade Regular) subiu para 61,52 (Boa qualidade) e a nota do IAEM aumentou de 0,47 (2020) para 0,50 (2021).
- UGRHI 12 - Baixo Pardo/Grande, mantendo a variável da pressão antrópica - densidade demográfica baixa nesse intervalo apresentado, com densidade populacional entorno de 50 hab./km², no intervalo 2020/2021. Com a volta dos 9 pontos monitorados atingiu a densidade recomendada, com densidade de 1,24 pontos/1.000 km². Esta unidade que tinha apresentado queda, em 2020, na média anual do IQA 51,85 (qualidade Regular) melhorou para 61,37 (qualidade Boa) em 2021. Com isto o IAEM subiu de 0,48 (2020) para 0,50 (2021), mas ainda permanecendo na categoria vulnerável.

Ainda com IAEM "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa" estão todas as 5 unidades com predominância de atividades industrial (Fator 4 de ponderação para macroúso do solo), influenciando negativamente na componente de pressão antrópica do índice. Os motivos são:

- A UGRHI 2 - Paraíba do Sul, onde vivem 2.271.905 habitantes (2021), e que tem 18.810 habitantes a mais que em 2020. A unidade manteve a média do IQA 61,20 (2020) e 62,59 (2021) com qualidade Boa. Com o retorno da capacidade de amostragem, o monitoramento passou dos 12 (2020) para 31 pontos monitorados. Em 2020, dentre as unidades com macroúso industrial foi a única a não atingir a densidade mínima recomendada (0,83 pontos por 1.000/km²), e, em 2021, foi a UGRHI que apresentou a menor densidade (2,15 pontos/1.000 km²). O IAEM variou positivamente de 0,45 para 0,47, portanto ainda dentro da categoria "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade significativa" devido à pressão antrópica existente.
- A UGRHI 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiaí, de macroúso industrial é a segunda UGRHI mais populosa do estado, com 5,9 milhões de habitantes (2020) e aumentou em um só ano mais 63.260 pessoas, próxima dos 6 milhões de habitantes, portanto, com pressão antrópica significativa. Quanto à nota do IQA médio quase não houve alteração, pois foi registrada média anual de 50,65 (2020) e 49,83 (2021), indicando qualidade Regular em ambos os anos. Apresentou resultados apenas em 35 pontos e densidade foi de 2,47 pontos/1.000 km² (2020). Mas em 2021 monitorou 66 pontos dos 91 planejados. O IAEM desta unidade aumentou de 0,46 para 0,48, ambos considerados "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade Significativa". Contudo, demonstra ainda falta de abrangência espacial e vulnerabilidade significativa no monitoramento da água bruta.
- A UGRHI 6 - Alto Tietê apresentou índice IAEM considerada vulnerável à pressão antrópica e registrando a mesma nota do ano anterior: 0,36 e permanecendo na categoria atual "Pouco Abrangente/

Vulnerabilidade significativa". Continua, em 2021, a ser, tal como em anos anteriores, a UGRHI com a pior nota do IAEM. Os seguintes fatores explicam sua classificação: Alta vulnerabilidade frente à pressão antrópica existente na unidade, pois com uma população total de 21.704.648 habitantes (2020), acrescida de 152.576 novos habitantes, atingindo 21.857.224 habitantes (2021). Assim apresenta altíssima densidade demográfica, com 3.698,82 hab./km² (2020), subindo para 3.724,82 hab./km² (2021), concentrados no entorno das duas maiores cidades do Estado de São Paulo: São Paulo, a capital onde já habitam 12.396.372 residentes e Guarulhos, com 1.404.694 moradores. A rede de monitoramento de água na UGRHI 6-Alto Tietê atingiu 101 pontos em 2021, sendo o maior número de pontos por UGRHI. Com isto também apresentou uma densidade de 17,21 pontos/1.000 km², sendo também a mais densa rede do Estado. Muitos dos pontos do Projeto Novo Pinheiros e do Projeto Mananciais continuaram a ser executados em 2021, razão deste acréscimo. A média do IQA (2020) foi 36,57 (Qualidade Regular), principalmente devido aos 27 novos pontos que foram alocados em locais sensíveis, tais como muitos afluentes do Rio Pinheiros. Juntamente com os pontos do projeto FEHIDRO Mananciais, mantiveram a média do IQA na classe Regular. A média anual de 2021 foi semelhante: 37,12 (Qualidade Regular). O ponto GVIT 00900, situado no Córrego Guavirutuba, junto a sua foz na represa de Guarapiranga, registrou tal como em 2020, a pior nota do IQA com valores de 10,85 (Qualidade Péssima) e 10,87 (Qualidade Péssima) em 2021.

- UGRHI 7 - Baixada Santista em 2020, apresentou-se com monitoramento de 16 pontos e densidade de 5,68 pontos/1.000 km² e em 2021 retornou para os 19 pontos planejados com densidade de 6,74 pontos/1.000 km². A média do IQA com queda no intervalo comparado, de 61,95 para 54,70, ambas com qualidade Boa. A pressão antrópica existente continua, com cerca de 1,8 milhões de habitantes e um acréscimo de 15.845 habitantes entre 2020/2021. A densidade demográfica também é muito alta, 673,37 hab./km² (2021), sendo a segunda maior do Estado. Com isto o IAEM baixou de 0,49 para 0,44, permanecendo na categoria "Pouco Abrangente/ Vulnerabilidade significativa".
- UGRHI 10 - Sorocaba/Médio Tietê, também bastante urbanizada e industrializada, tem mantido a pressão antrópica, situação semelhante aos anos anteriores. O número de pontos de 21 (2020), e a densidade de 1,78 pontos/1.000 km²; porém em 2021 retornou-se a monitorar 30 pontos planejados e a densidade elevou-se para 2,54 pontos/1.000 km². O IQA obteve média anual com qualidade boa, com notas de 54,83 (2020) e 56,03 (2021). O índice IAEM de 0,46 "Pouco Abrangente/ vulnerabilidade significativa" nos anos avaliados, permaneceu estável.

Finalmente, em 2021, tal como em 2020, nenhuma UGRHI situa-se com nota baixa o suficiente para ser classificada com IAEM "Insuficiente/ Alta vulnerabilidade" à pressão antrópica.

3. Resultados e Conclusões

Analisando-se a variação da abrangência do monitoramento entre 2020 e 2021, somente com o critério territorial, um dos fatores para caracterizar a abrangência da rede de monitoramento, contemplou-se o seguinte cenário em 2020: somente seis das 22 UGRHIs mantiveram-se dentro do índice de densidade mínima de 1 ponto/1.000 km²; mas em 2021 a densidade mínima foi atingida por 11 das 22 UGRHIs. Já de acordo com os cenários do Índice de abrangência espacial do monitoramento - IAEM no período estudado, o número de UGRHIs classificadas com o monitoramento "Não vulnerável" à pressão antrópica que havia sido de 12 UGRHIs em 2020 subiu para 15 em 2021. Resumindo-se: pode-se concluir que a rede de monitoramento de 2021 sofreu bem menos os impactos das restrições de coleta e análise e que houve diminuição de unidades vulneráveis. Isto também pode ser visto pelo aumento da somatória geral do estado, que foi um pouco maior, passando de 12,01 (2020) para 12,42 (2021).

4. Concepção e Metodologia do cálculo do IAEM - Índice de Abrangência Espacial de Monitoramento:

O IAEM-Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento realiza uma análise multicriterial composta por dois grupos principais de variáveis: antrópicos e ambientais. A correlação espacial baseia-se em cinco fatores que executam uma análise integrada, portanto, indo além do critério de referência da densidade de pontos de cada UGRHI, firmado apenas na extensão territorial.

- *Critério antrópico:* onde são analisados fatores tais como a pressão populacional (estimada pela densidade populacional/km² e pelo macroúso do solo (conforme as ex-vocações das UGRHIs), que fornecem uma ideia das atividades económicas presentes majoritariamente ligadas a pressão antrópica existente em cada unidade; e
- *Critério ambiental:* relativo ao Monitoramento de Água da Rede básica da CETESB, com fatores relacionados ao número total de pontos que puderam gerar o IQA - Índice de Qualidade de Águas, a densidade de pontos de cada UGRHI e a média de qualidade da água (média anual do IQA por UGRHI).

Após a fase de análise multicriterial, os dados ficam sintetizados e disponíveis para a gestão das águas paulistas, facilitando a comparação pela da abrangência espacial e vulnerabilidade da rede de monitoramento entre as UGRHIs, para cada ano analisado conforme o universo de dados cada ano, e, possibilita mais subsídios ao planejamento anual da rede superficial de monitoramento. Dessa forma o índice gerado contribui para avaliar os avanços da rede de monitoramento estadual.

A matriz para geração do índice compõe-se de dois grupos, divididos em custos e benefícios (Tabela 7). O grupo de variáveis antrópicas (densidade populacional e macroúso do solo) é considerado como custo para o ambiente, pois no cálculo do índice IAEM influenciam negativamente, ou seja, podendo ocasionar

degradação no sistema hídrico. Podem somar até 0,45 da nota máxima do índice que oscila de 0 a 1 (sendo 1 a melhor nota).

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

Portanto, o resultado não é um índice que avalia a qualidade de água, mas sim um que afere 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 do IQA sempre podem contribuir para a melhora do índice IAEM (Midaglia, 2009).

Tabela 7 – Composição da Matriz de análise dos fatores da Análise Multicritério.

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

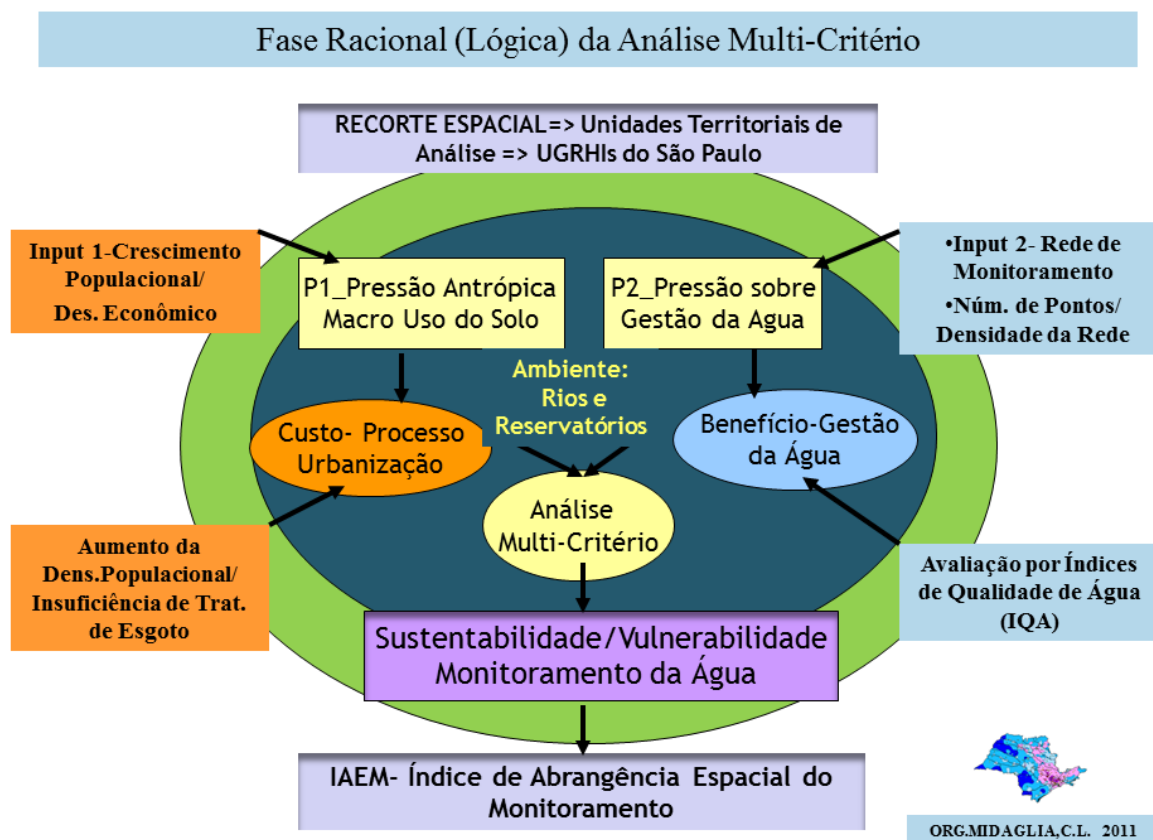
- **Concepção do Índice:**

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

De modo a detectar mudanças nos fatores utilizados para avaliar o progresso num âmbito mais abrangente para o monitoramento, foi desenvolvido o IAEM. Os indicadores consideram as particularidades de cada UGRHI. Isto significa, na prática, incluir além da densidade de pontos 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 antrópica (densidade populacional no mesmo espaço). A Figura 1 mostra a estruturação lógica idealizada para compor a matriz AMC, de análise multicritério.

Figura 1 – Estruturação Racional dos Critérios para Análise Multicritério do IAEM



A fase racional mostra o resumo da composição dos fatores com a função de verificar a relação de sustentabilidade do meio físico, aqui representado pelos recursos hídricos superficiais, (os rios e reservatórios). Exibe 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, o qual é utilizado pela CETESB há mais de 35 anos. O produto é o índice IAEM, que correlaciona os fatos básicos inerentes ao monitoramento da qualidade das águas a cada ano, buscando especializar e sintetizar as informações disponíveis sobre os resultados com a geração de cenários desde praticamente o início da rede de monitoramento de água bruta.

A adoção do IAEM/SCWMI – *Spatial Coverage Water Monitoring Index* promove a discussão e implementação de novas políticas voltadas ao gerenciamento e uso sustentável desse recurso natural, tal como usado em relatórios de planos de bacias. <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/events//CBH-SMT/6684/3brelatorio-situao-2018.pdf>. O índice foi relacionado no Banco de Indicadores do SIRGH para Gestão dos Recursos Hídricos – na Categoria: Resposta. http://143.107.108.83/sigrh/basecon/Caderno_Indicadores_Gestao_2014_setembro_2014.pdf. O delineamento metodológico está descrito a seguir:

4.1. Metodologia do cálculo do IAEM - Índice de Abrangência Espacial de Monitoramento:

O IAEM resulta de uma análise Multicritério, composta basicamente por dois grupos de variáveis pensadas para integrá-lo: antrópicos e ambiental. A fase seguinte consiste em se definir, como cada grupo de critério, influencia na AMC- Análise multicritério. E isto é feito basicamente verificando-se qual a importância de cada componente e o significado de cada um deles. Ressalta-se que é uma análise subjetiva, podendo variar conforme o analista e seus interesses prioritários. Mas é fundamental dividi-los de maneira que possam ser entendidos como custo ou benefício para o avaliador. O grupo de variáveis antrópicas representam os custos, pois podem causar impactos no ambiente hídrico. E o grupo de benefícios, fatores que influem positivamente no resultado, tal como o conhecimento da rede de monitoramento, resultados e distribuição espacial.

Para cada um dos indicadores de ambos os grupos, necessita-se padronizar as variáveis, pois 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 confrontados, 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: 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. Nas 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, isto é, 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 cifra 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 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 igual a 1. Usam-se as seguintes equações:

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

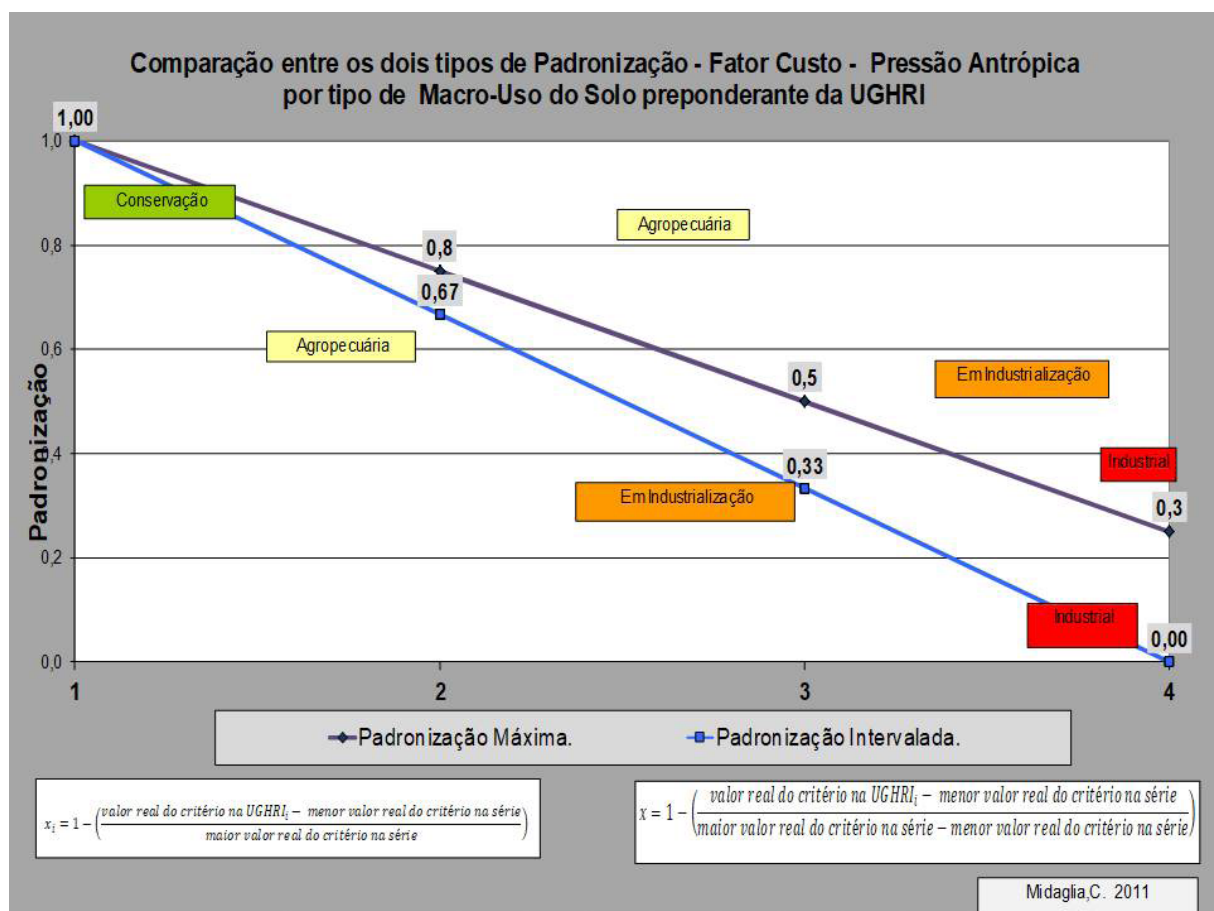
$$x = 1 - \left(\frac{\text{valor real do critério na UGHRI}_i - \text{menor valor real do critério na série}}{\text{maior valor real do critério na série} - \text{menor valor real do critério na série}} \right)$$

Enquanto a Equação da Padronização Intervalada para Benefícios é:

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

A Figura 2 revela 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 dos vários anos das tabelas com os dados originais publicadas no corpo principal do RAS, e levam em conta que são todos fatores correlacionados para possibilitar a geração do índice IAEM.

São as seguintes as fontes dos 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:

- **Número de Pontos, densidade e dados de qualidade (IQA)** – Relatórios anuais de qualidade de Água – CETESB. <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>
- **Dados da população:** são obtidos no site do IBGE (www.ibge.gov.br) ou em divulgações publicada no Diário Oficial da União, anualmente.
- **Macroúso do Solo-** Foi baseado na 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>) e <https://www.al.sp.gov.br/norma/180242>

Entretanto, foi publicado um novo art. 28 da Lei 16.337/2016 revogando a Lei 9.034/1994, onde constava essa classificação por “vocação” onde constava essa classifica o de um dos critérios antrópicos, a atribui o das UGRHIs por “voca o”. Na nova Lei 16.337/2016 não existe mais essa classifica o, mas sim aquela dada pelo Anexo III da mesma, isto  , uma caracteriza o geral, atualizada por meio dos Relatórios de Situa o. Mas para manter o critério de compara o, a pondera o originalmente delineada na proposta do  ndice, a voca o, referindo-se, genericamente, o macroúso do solo preponderante das UGRHIs e permanecerá utilizado no cálculo, com pesos variando de 1 a 4.

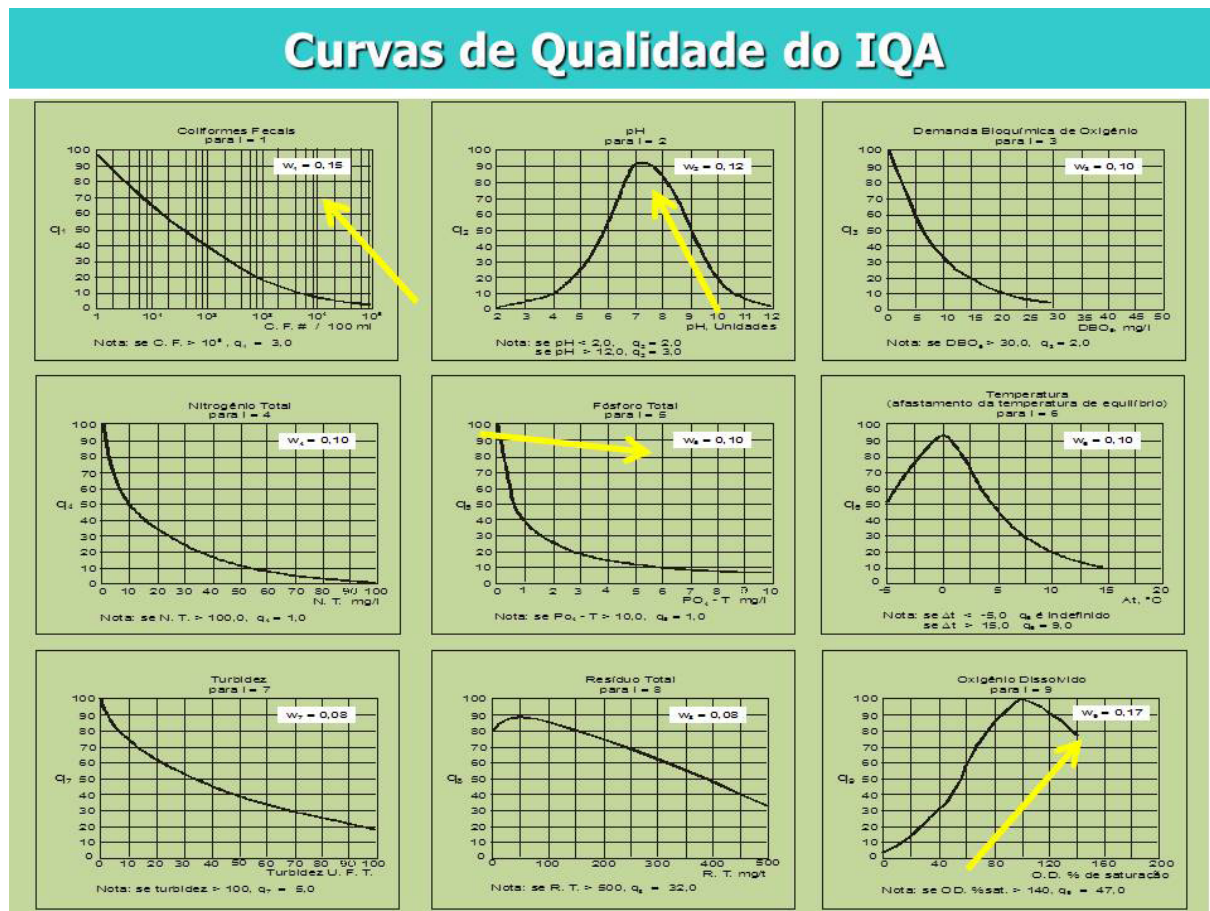
Assim, dentro do critério antrópico, continuam sendo analisados enquanto custos dois fatores: a pressão populacional estimada pela densidade populacional/km², de cada ano e, pelos macroúso do solo, conforme a classifica o das principais antigas ex-voca es das UGRHIs. Ambos fornecendo uma ideia da pressão antrópica existente em cada unidade.

- **O fator IQA sem normatizar:**

O IAEM reconhece a importância e o valor histórico do IQA-  ndice de Qualidade de água, no monitoramento da qualidade de água, utilizado pela CETESB há mais de 40 anos, e através da inser o de suas m dias anuais como parte de sua composi o do  ndice, com peso de 0,30.

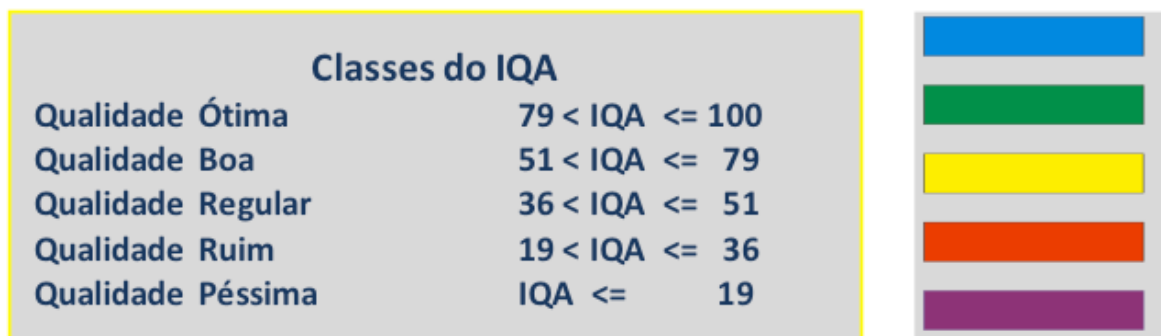
A nota do IQA- ndice de Qualidade de água-utilizado pela CETESB desde 1975, foi regulamentado pelo decreto Estadual 8468, de 1976 com vistas a servir de informa o básica para o público em geral, bem como para o gerenciamento das águas superficiais. (CETESB, 1980). Os resultados representam uma média ponderada de 9 parâmetros (Figura 3) para expressar a qualidade das  guas, com maior facilidade de comunica o para público especializado ou não.

Figura 3 – Pesos dos parâmetros do IQA – Índice de Qualidade de Água



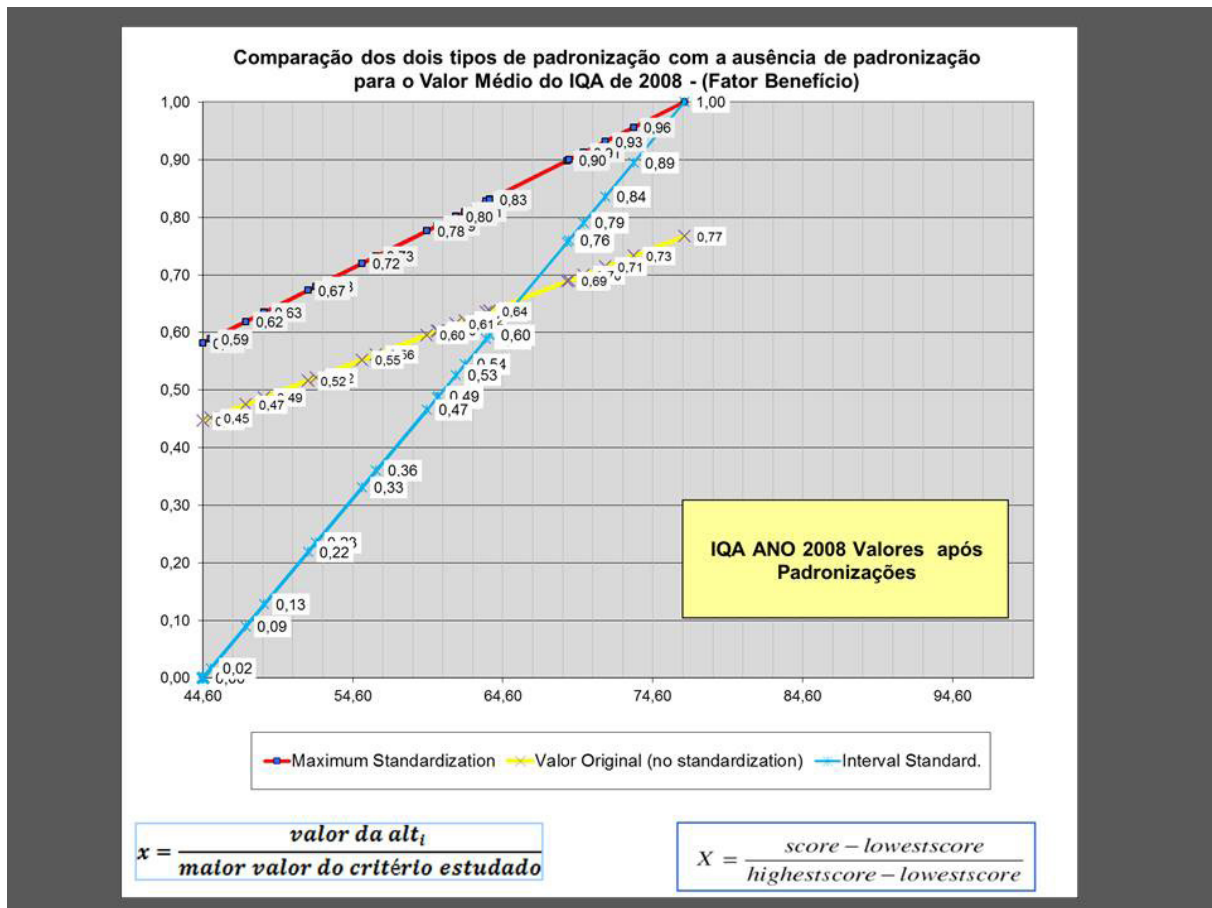
Porém, ainda que tenha sido escolhido o método de padronização intervalada, a normatização do IQA foi questionada. Como esta nota já é resultado de um produtório ponderado cujo intervalo varia de 0 a 100, (Figura 4) não se necessitaria submetê-la a nova normatização/ padronização que poderia resultar em uma transformação equivocada, pois poderia subestimar ou superestimar os resultados da nota da qualidade da água (IQA).

Figura 4 – Classes do IQA – Índice de Qualidade de Água



A sugestão foi considerada como uma contribuição positiva para a revisão da proposta original e foi incorporada. Portanto, mostram-se os valores que contemplam esta revisão, ainda que em termos de avaliação da melhor performance por unidade por ano, e isto possa dificultar a avaliação comparativa (Figura 5). Porém, como não é o objetivo principal, decidiu-se aceitar esta sugestão e assim foi apresentado no 2º. CARTOGEO (disponível em <http://www.2cartogeo.com.br/index.asp>) em 2011.

Figura 5 – Exemplo dos tipos de Padronização sobre o valor original do IQA 2008



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 conforme os intervalos do índice, que oscilam de 1 (melhor situação) até 0 (pior situação) distribuídos nas 5 faixas e 2 classes, com as respectivas denominações, quanto ao nível de pressão antrópica exercida na UGRHI. A tabela sofreu em 2022 alteração na denominação das classes referentes aos termos utilizados na coluna "Sustentabilidade do Monitoramento da Qualidade de Água", em relação aos anos anteriores:

Tabela 8 – 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	Muito Abrangente	1	0,756	Não Vulnerável	Não Vulnerável
	Abrangente	0,755	0,606	Boa Sustentabilidade	
	Suficiente	0,605	0,506	Sustentável	
	Pouco Abrangente	0,505	0,356	Vulnerabilidade Significativa	Vulnerável
	Insuficiente	0,355	0	Alta vulnerabilidade à pressão antrópica	

Os produtos gerados pelos dois métodos de padronização, resultam em 2 séries normatizadas, que foram posteriormente multiplicadas pelo viés de 2 pesos, 2 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 mais adequado considerar os resultados obtidos na segunda fase da AMC – sensibilização, isto é, a multiplicação pelos pesos. A visão AMC indica uma importância ligeiramente maior para a parte dos benefícios (0,55), ou seja, para a gestão da água, englobando o número de pontos, densidade espacial e a média do IQA, principalmente para se evidenciar esta condição, de boa gestão da qualidade, que este índice de abrangência se atém, frente aos custos causados pelo uso antrópico (0,45).

A CETESB passou a utilizar o índice IAEM a partir de 2012, com a finalidade de avaliar a evolução dos cenários existentes na rede de monitoramento de diversos anos. O intervalo de comparação temporal inicialmente do índice foi de 10 anos, mas recentemente tem se adaptado a demanda de análise. A evolução positiva/negativa é exibida em forma de tabelas AMC e os respectivos mapas de cada ano. Esta análise enriquece o entendimento da variação da abrangência do monitoramento para muito mais do que o critério territorial da CEE, caracterizando anualmente cada cenário da rede de monitoramento de água frente às pressões presentes em cada UGRHI.

Portanto, com o IAEM é um índice de qualidade do monitoramento água, com propriedade de verificar a susceptibilidade e a sustentabilidade do monitoramento são demonstradas por cenários anuais, refletindo as influências dos demais aspectos vinculados aos pontos de monitoramento. Inclui a qualidade de água entre seus componentes de maior peso, pois se infere que além de se monitorar, quando se obtém bons resultados da qualidade da água, os valores obtidos influem positivamente na nota geral. Indica onde é necessário adensar ou reduzir a rede em determinadas unidades de gerenciamento hídrico e/ou investir em recuperação ambiental.

5. Referências 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** - XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE- 2012 J.P. Paraíba. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/xisrhn/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>.

_____. **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 >

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>

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

6th 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>>

