

## ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL CONSIDERANDO A VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL ATRAVÉS DO USO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA NO ESTADO DA PARAÍBA

<sup>1</sup>Amanda Cristiane Gonçalves Fernandes, <sup>2</sup>Hugo Morais de Alcântara, <sup>3</sup>Camilo Allyson Simões de Farias e <sup>4</sup>Sileno Fernandes Oliveira Filho

<sup>1, 2, 4</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), Av. Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Campina Grande-PB, CEP 58.429- 900, Brasil  
<sup>2, 3</sup> Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), Rua Luiz Grande, s/nº, Frei Damião, Sumé-PB, CEP 58.540-000, Brasil  
amandafernandestt@gmail.com, hugo.morais@professor.ufcg.edu.br, camilo.allyson@professor.ufcg.edu.br e fernadessileno@gmail.com

### RESUMO:

A variabilidade espaço-temporal das precipitações impacta diretamente no ciclo hidrológico, no uso e ocupação do solo e na economia local. Neste contexto, os modelos regionais pluviométricos podem gerar informações de relevante importância, servindo de apoio para a tomada de decisões associadas ao planejamento e ao gerenciamento dos recursos hídricos. Este trabalho teve como objetivo calibrar uma equação de regressão linear múltipla para relacionar precipitações médias anuais e localizações geográficas de 145 postos pluviométricos distribuídos em três mesorregiões do estado da Paraíba, Borborema, Agreste Paraibano e Mata Paraibana. Para o estudo foram considerados os postos com séries pluviométricas com mais de 10 anos de dados diários. Os postos que apresentaram poucas falhas em suas séries tiveram os seus dados preenchidos pelo método determinístico IDW. Os resultados da regressão foram considerados moderados, com um coeficiente de determinação de 0,62 para as mesorregiões estudadas. Os erros médios percentuais da estimativa apontaram que a maior parte da superfície analisada está classificada com erros entre 8,3% e 22,8%. Com o uso da ferramenta estatística de regressão múltipla foi possível obter uma equação linear para estimar a média da precipitação anual em três mesorregiões do Estado da Paraíba.

### ABSTRACT:

The variability of precipitations in space and time is directly related to the hydrological cycle, land use and occupation, and local economy. In this sense, regional models for rainfall may provide relevant information, supporting the decision-making process associated with water resources planning and management. The objective of this work was to calibrate a multiple linear regression equation to relate average annual precipitations to spatial localization of 145 stations placed on three mesoregions of *Paraíba State*, Brazil, *Borborema*, *Agreste Paraibano*, and *Mata Paraibana*. For the study case, stations with rainfall series with more than 10 years of daily data were considered. The posts that their few flaws in their series had the data filled in by the IDW deterministic method. The results were moderate, with a determination coefficient of 0.62 for the studied mesoregions. The average percentage errors of the estimate showed that most of the analyzed surface is classified with errors between 8.3% and 22.8%. Using the multiple regression statistical tool, it was possible to obtain a linear equation to estimate the average annual precipitation in three mesoregions of the Paraíba State.

**PALAVRAS-CHAVE:** equação de regressão; semiárido; séries de precipitação.

## INTRODUÇÃO

O clima de uma dada região pode ser caracterizado pela distribuição espaço-temporal das precipitações. A análise desta distribuição é essencial para entender a variabilidade pluviométrica e compreender o ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas. Além disso, a importância dos estudos da precipitação é ainda maior devido à agricultura ser um dos principais fatores que move a economia brasileira (Fontes et al., 2007).

O monitoramento precário dos dados pluviométricos é uma realidade em muitas regiões no país, seja pela ausência de postos pluviométricos, falta de manutenção dos instrumentos de medição, falhas no histórico dos dados ou pela pouca quantidade de anos registrados (Carvalho e Ruiz, 2016). A partir disso, é necessária a aplicação de métodos que possam construir um novo conjunto de dados a partir dos dados numéricos existentes. As principais técnicas aplicadas para a interpolação dos dados podem ser do tipo aleatórias, o inverso do quadrado da distância ou ainda a aplicação de análises de regressão múltipla considerando os parâmetros espaciais que estão correlacionados (Cruz et al., 2013).

A interpolação dos dados pontuais obtidos por meio de pluviômetros pode gerar mapas que representam a variabilidade espacial da precipitação. Através da interpolação é possível converter dados de observações pontuais em campos contínuos (Queiroga et al., 2007). Para isso, é comum utilizar metodologias mais simples, como o método do Quadrado da Distância ou os Polígonos de Thiessen (Mine, 2006). Philips et. al. (1992) destacaram o uso do Inverso do Quadrado da Distância (IDW) e da técnica geoestatística de Krigagem para avaliar a variabilidade espacial de precipitações em uma região montanhosa. Os autores ainda observaram que as metodologias citadas não conseguem produzir uma equação que seja capaz de estimar os valores médios de precipitação para as séries históricas que possuem problemas em seus registros.

O entendimento de um modelo regional pluviométrico é importante para auxiliar nas ações de planejamento dos recursos hídricos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é utilizar a ferramenta estatística da regressão múltipla para ajustar uma equação linear que relacione os dados de precipitações médias anuais com as localizações de 145 postos pluviométricos em três mesorregiões (Borborema, Agreste Paraibano e Mata Paraibana) do estado da Paraíba.

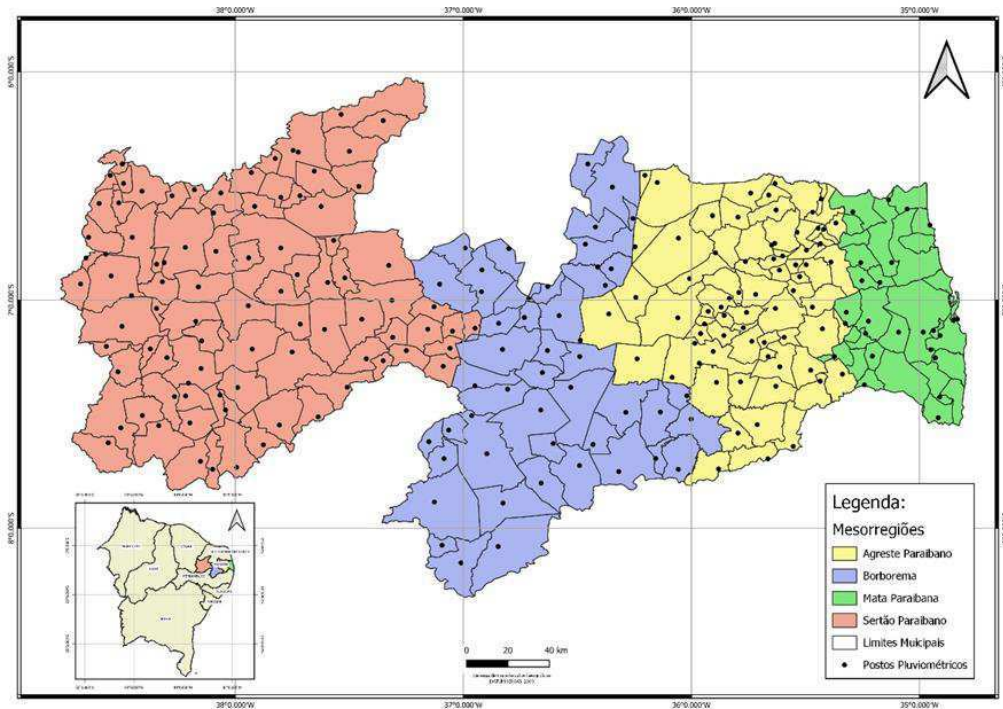
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A Paraíba é um estado situado na região semiárida do Brasil, possui uma extensão territorial de 56.585 km<sup>2</sup>, sendo constituída por mesorregiões climáticas como o Agreste Paraibano, Borborema, Mata Paraibana e Sertão Paraibano. Neste estudo, optou-se por analisar três mesorregiões: Agreste Paraibano, Mata Paraibana e Borborema. Em relação aos índices pluviométricos, os maiores valores estão concentrados no período de abril a agosto, variando de 1.802,8 mm junto ao litoral, 1.237,9 mm em sua porção intermediária (Agreste Paraibano) e 598 mm na Borborema (AESAs, 2021).

Foram identificados mais de 180 postos pluviométricos com registros históricos em períodos diversos, todos monitorados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2021). Para o estudo foram considerados os postos com séries pluviométricas mais longas (2010 a 2020), sendo descartados aqueles com séries inferiores a 10 anos e presentes na mesorregião do Sertão Paraibano, em função da alta variabilidade e por apresentar problemas nos seus registros. Os postos que apresentaram poucas falhas em suas séries tiveram os seus dados preenchidos pelo método determinístico IDW.

Na Figura 1 pode-se observar as mesorregiões do Estado da Paraíba e a localização dos postos pluviométricos.



**Figura 1.-** Localização dos postos pluviométricos e divisão das mesorregiões – Borborema (azul), Agreste Paraibano (amarelo), Mata Paraibana (verde) e Sertão Paraibano (vermelho) no estado da Paraíba.

Fonte: Autores (2021). (Software Q-Gis versão 3.26.1©).

## Modelo Regional Pluviométrico

A ferramenta estatística de Regressão Linear Múltipla foi utilizada na predição de valores para os diferentes tipos de situações que possam envolver duas ou mais variáveis  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ . Para isso, considerou-se a correlação entre uma ou mais variáveis de resposta, conhecidas como variáveis dependentes e as variáveis explicativas chamadas de variáveis independentes (Naghetini e Pinto, 2007; CRUZ et al., 2013).

A partir de um modelo de regressão linear simples  $Y = \alpha + \beta_1 X_1$ , a Regressão Linear Múltipla compreende duas ou mais variáveis explicativas. Dada  $m$  variáveis independentes, o modelo de regressão linear múltipla pode ser representado por:

$$Y = \alpha + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + \dots + \beta_m.X_m \quad [1]$$

onde:

$Y$  é a variável dependente;

$X_1, X_2, \dots, X_m$  são as variáveis independentes ou explicativas; e

$\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$  são os coeficientes de regressão.

Usando o método dos mínimos quadrados foi possível ajustar os coeficientes de regressão para maximizar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), conforme a equação a seguir:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \check{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \check{y})^2} \quad [2]$$

onde:

$R^2$  é coeficiente de determinação ( $0 \leq R^2 \leq 1$ );

$n$  é o número total de amostras;

$\hat{y}$  é o valor estimado da variável dependente na amostra  $i$ ,

$y_i$  é o valor observado da variável dependente na amostra  $i$ ; e

$\bar{Y}$  é a média da variável dependente.

Para este estudo, as precipitações médias dos totais anuais dos postos pluviométricos (dados temporais de 2010 a 2020) foram assumidas como variáveis dependentes, com os dados geoespaciais (latitude, longitude e altitude) tomados como variáveis independentes. Desta forma, a equação para a estimativa da precipitação anual média das mesorregiões do Agreste Paraibano, Borborema e Mata Paraibana do estado da Paraíba teve o seguinte formato:

$$\bar{P}_{\text{anual}} = a_1 \cdot \text{latitude} + a_2 \cdot \text{longitude} + a_3 \cdot \text{altitude} + K \quad [3]$$

onde:

$\bar{P}_{\text{anual}}$  é a precipitação média anual nos postos de registro;

*latitude* é a latitude do ponto em decimais;

*longitude* é a longitude do ponto em graus decimais;

*altitude* é a cota altimétrica do ponto em metros; e

$a_1$ ;  $a_2$ ;  $a_3$  e  $K$  são os parâmetros de ajuste.

Na Tabela 1 pode-se observar o banco de dados usado para a regressão linear múltipla. Constam as informações dos 145 postos pluviométricos referentes às mesorregiões do Agreste Paraibano, Borborema e Mata Paraibana, médias dos totais anuais da precipitação (2010 a 2020) e os dados geoespaciais (*latitude*, *longitude* e *altitude*).

**Tabela 1.-** Informações dos postos pluviométricos que correspondem as mesorregiões estudadas do estado da Paraíba.

POSTOS	Média dos totais Anuais	MESO	LAT	LONG	ALT	POSTOS	Média dos totais Anuais	MESO	LAT	LONG	ALT
Alagoa Grande	800, 87	Agreste Paraibano	-7, 037	-35, 631	130	Baraúna	389, 43	Borborema	-6, 643	-36, 256	615
Alagoa Nova	847, 21	Agreste Paraibano	-7, 054	-35, 758	508	B. de Santana	375, 39	Borborema	-7, 522	-36, 001	334
Alagoinha	981, 88	Agreste Paraibano	-6, 959	-35, 553	167	B. de S. Miguel	301	Borborema	-7, 752	-36, 318	490
Algodão de Jandaíra	289, 2	Agreste Paraibano	-6, 906	-36, 008	454	Boqueirão	376, 18	Borborema	-7, 491	-36, 136	356
Araçagi	925, 66	Agreste Paraibano	-6, 833	-35, 388	105	Cabaceiras	320, 64	Borborema	-7, 492	-36, 287	401
Arara	574, 43	Agreste Paraibano	-6, 831	-35, 763	487	Camalaú	373, 92	Borborema	-7, 890	-36, 826	518
Araruna	747, 4	Agreste Paraibano	-6, 531	-35, 740	575	Caraúbas	281, 3	Borborema	-7, 725	-36, 490	443
Areia	1237, 87	Agreste Paraibano	-6, 976	-35, 718	571	Caturité	398, 71	Borborema	-7, 419	-36, 020	413
Areial	544, 09	Agreste Paraibano	-7, 049	-35, 926	692	Congo	341, 2	Borborema	-7, 802	-36, 659	494
Aroeiras	501, 82	Agreste Paraibano	-7, 546	-35, 711	351	Coxixola	417, 93	Borborema	-7, 629	-36, 606	469
Bananeiras	1162, 87	Agreste Paraibano	-6, 751	-35, 634	543	Cubati	345, 43	Borborema	-6, 863	-36, 351	553
B. de Sta. Rosa	302, 15	Agreste Paraibano	-6, 729	-36, 056	469	Frei Martinho	361, 08	Borborema	-6, 404	-36, 454	377
Belém	844, 43	Agreste Paraibano	-6, 703	-35, 536	164	Gurjão	392, 18	Borborema	-7, 248	-36, 489	491

**Tabela 1.-** Informações dos postos pluviométricos que correspondem as mesorregiões estudadas do estado da Paraíba. (Continuação)

POSTOS	Média dos totais Anuais	MESO	LAT	LONG	ALT	POSTOS	Média dos totais Anuais	MESO	LAT	LONG	ALT
Boa Vista	312, 37	Agreste Paraíba	-7, 258	-36, 238	486	Juazeirinho	393, 1	Borborema	-7, 068	-36, 580	554
Borborema	1121, 2	Agreste Paraíba	-6, 807	-35, 600	351	Junco do Seridó	453, 53	Borborema	-6, 995	-36, 713	590
Cacimba de Dentro	661, 05	Agreste Paraíba	-6, 637	-35, 795	546	Livramento	441, 57	Borborema	-7, 376	-36, 949	586
Caicara	731, 7	Agreste Paraíba	-6, 615	-35, 468	129	Monteiro	565, 83	Borborema	-7, 885	-37, 127	605
Caldas Brandão	897, 7	Agreste Paraíba	-7, 103	-35, 324	68	Nova Palmeira	366, 74	Borborema	-6, 680	-36, 421	569
Campina Grande	729, 91	Agreste Paraíba	-7, 226	-35, 904	543	Ouro Velho	522, 23	Borborema	-7, 621	-37, 151	596
Campina Grande	477, 72	Agreste Paraíba	-7, 277	-35, 965	483	Parari	390, 53	Borborema	-7, 318	-36, 653	474
Campina Grand	584, 11	Agreste Paraíba	-7, 190	-35, 984	680	Pedra Lavrada	355, 8	Borborema	-6, 755	-36, 464	521
Campina Grand	385, 9	Agreste Paraíba	-7, 339	-36, 084	439	Picuí	301, 98	Borborema	-6, 505	-36, 347	427
Campo de Santana	642, 15	Agreste Paraíba	-6, 489	-35, 633	166	Prata	554, 63	Borborema	-7, 695	-37, 084	584
Casserengue	342, 07	Agreste Paraíba	-6, 793	-35, 894	398	R. de Sto. Antônio	283, 55	Borborema	-7, 694	-36, 156	447
Cuité	576, 06	Agreste Paraíba	-6, 485	-36, 149	670	Salgadinho	423, 71	Borborema	-7, 102	-36, 845	430
Cuitegi	944, 5	Agreste Paraíba	-6, 898	-35, 525	93	Santa Luzia	457, 75	Borborema	-6, 868	-36, 918	311
Damião	493, 59	Agreste Paraíba	-6, 630	-35, 907	588	Santa Luzia	441, 91	Borborema	-6, 964	-36, 920	353
Dona Inês	792, 58	Agreste Paraíba	-6, 606	-35, 628	418	Santo André	381, 52	Borborema	-7, 221	-36, 631	496
Duas Estradas	848, 59	Agreste Paraíba	-6, 690	-35, 420	158	São D. do C.	355, 3	Borborema	-7, 633	-36, 431	415
Esperança	646, 09	Agreste Paraíba	-7, 031	-35, 869	638	São J. do C.	436, 19	Borborema	-7, 383	-36, 529	467
Esperança	681, 96	Agreste Paraíba	-6, 994	-35, 833	601	São João do Tigre	319, 45	Borborema	-8, 080	-36, 847	569
Fagundes	785, 7	Agreste Paraíba	-7, 359	-35, 784	504	São José do Sabugi	499, 18	Borborema	-6, 774	-36, 800	336
Gado Bravo	441, 16	Agreste Paraíba	-7, 583	-35, 795	368	São José dos Cordeiros	557, 05	Borborema	-7, 391	-36, 806	528
Guarabira	957, 66	Agreste Paraíba	-6, 845	-35, 496	123	São Mamede	598, 94	Borborema	-6, 931	-37, 104	272
Gurinhém	817, 91	Agreste Paraíba	-7, 126	-35, 425	98	São S. do Umb.	434, 82	Borborema	-8, 152	-37, 010	597
Ingá	635, 31	Agreste Paraíba	-7, 293	-35, 612	155	São V. do S.	355, 98	Borborema	-6, 936	-36, 377	623
Itabaiana	754, 68	Agreste Paraíba	-7, 325	-35, 338	52	São V. do S	289, 18	Borborema	-6, 855	-36, 411	513
Juarez Távora	705, 28	Agreste Paraíba	-7, 163	-35, 593	155	Serra Branca	379, 38	Borborema	-7, 482	-36, 660	485
Lagoa de Dentro	825, 15	Agreste Paraíba	-6, 663	-35, 366	130	Sumé	426, 35	Borborema	-7, 674	-36, 896	518
Lagoa Seca	1012, 93	Agreste Paraíba	-7, 156	-35, 857	635	Sumé	495, 95	Borborema	-7, 507	-36, 963	664
Logradouro	778, 71	Agreste Paraíba	-6, 558	-35, 430	102	Taperoá	627, 49	Borborema	-7, 216	-36, 828	547
Massaranduba	889, 18	Agreste Paraíba	-7, 181	-35, 734	533	Tenório	411, 11	Borborema	-6, 941	-36, 629	604
Matinhas	837, 3	Agreste Paraíba	-7, 121	-35, 772	487	Várzea	491, 08	Borborema	-6, 772	-36, 993	269
Mogero	691, 96	Agreste Paraíba	-7, 308	-35, 476	108	Zabelê	398, 95	Borborema	-8, 075	-37, 093	652
Montadas	513, 57	Agreste Paraíba	-7, 105	-35, 942	704	Alhandra	1870,3	Mata Paraíba	-7, 426	-34, 911	58
Mulungu	825, 43	Agreste Paraíba	-7, 031	-35, 469	105	Baía da Traição	1683, 05	Mata Paraíba	-6, 671	-34, 954	17

**Tabela 1.-** Informações dos postos pluviométricos que correspondem as mesorregiões estudadas do estado da Paraíba. (Continuação)

POSTOS	Média dos totais Anuais	MESO	LAT	LONG	ALT	POSTOS	Média dos totais Anuais	MESO	LAT	LONG	ALT
Natuba	1079, 9	Agreste Paraibano	-7, 641	-35, 553	338	Bayeux	1623, 44	Mata Paraibana	-7, 134	-34, 938	56
Nova Floresta	626, 31	Agreste Paraibano	-6, 453	-36, 204	669	Caaporã	1789, 74	Mata Paraibana	-7, 516	-34, 917	64
Olivedos	311, 66	Agreste Paraibano	-6, 989	-36, 244	557	Cabedel	1719, 68	Mata Paraibana	-7, 088	-34, 850	11
Pilões	1146, 34	Agreste Paraibano	-6, 869	-35, 614	328	Capim	1120, 79	Mata Paraibana	-6, 923	-35, 173	114
Pilõezinhos	1186, 74	Agreste Paraibano	-6, 846	-35, 542	151	Conde	1590, 17	Mata Paraibana	-7, 253	-34, 930	83
Pirpirituba	988, 96	Agreste Paraibano	-6, 781	-35, 495	93	Cruz do E.S.	1245, 4	Mata Paraibana	-7, 141	-35, 091	18
Pocinhos	360, 06	Agreste Paraibano	-7, 078	-36, 059	653	Cuité de M.	1018, 41	Mata Paraibana	-6, 915	-35, 252	72
Puxinanã	610, 14	Agreste Paraibano	-7, 147	-35, 959	651	Itapororoca	918, 15	Mata Paraibana	-6, 836	-35, 257	73
Queimadas	401, 27	Agreste Paraibano	-7, 361	-35, 890	457	Jacaraú	1112, 3	Mata Paraibana	-6, 614	-35, 292	181
Remígio	837, 74	Agreste Paraibano	-6, 967	-35, 791	599	João Pessoa	1697, 42	Mata Paraibana	-7, 217	-34, 950	69
Riachão	511, 73	Agreste Paraibano	-6, 540	-35, 660	178	João Pessoa	1866, 17	Mata Paraibana	-7, 083	-34, 833	9
Riachão do Bacamarte	646, 6	Agreste Paraibano	-7, 247	-35, 663	161	João Pessoa	1665, 08	Mata Paraibana	-7, 156	-34, 909	35
Salgado de São Félix	709, 26	Agreste Paraibano	-7, 356	-35, 434	53	Juripiranga	853, 75	Mata Paraibana	-7, 372	-35, 241	117
Santa Cecília	362, 4	Agreste Paraibano	-7, 740	-35, 881	518	Mamanguape	1173, 22	Mata Paraibana	-6, 836	-35, 121	15
São S. de L. de Roça	746, 45	Agreste Paraibano	-7, 068	-35, 856	645	Mamanguape	1484, 04	Mata Paraibana	-6, 561	-35, 135	136
Serra da Raiz	1062, 73	Agreste Paraibano	-6, 685	-35, 444	322	Mari	980, 85	Mata Paraibana	-7, 054	-35, 320	151
Serra Redonda	799, 23	Agreste Paraibano	-7, 186	-35, 680	375	Mataraca	1549, 08	Mata Paraibana	-6, 601	-35, 054	30
Serraria	1237, 97	Agreste Paraibano	-6, 819	-35, 639	514	Pedras de Fogo	1372, 58	Mata Paraibana	-7, 400	-35, 118	176
Sertãozinho	971, 81	Agreste Paraibano	-6, 753	-35, 433	130	Pilar	862, 71	Mata Paraibana	-7, 270	-35, 261	38
Solânea	1023, 52	Agreste Paraibano	-6, 759	-35, 648	625	Pitimbu	1802, 75	Mata Paraibana	-7, 450	-35, 837	43
Soledade	325, 67	Agreste Paraibano	-7, 061	-36, 362	520	Rio Tinto	1384, 89	Mata Paraibana	-6, 810	-35, 075	9
Soledade	365, 18	Agreste Paraibano	-7, 177	-36, 486	508	Santa Rita	1391, 5	Mata Paraibana	-7, 141	-34, 983	70
Sossêgo	353, 88	Agreste Paraibano	-6, 766	-36, 247	586	São J. Ramos	738, 47	Mata Paraibana	-7, 248	-35, 373	86
Umbuzeiro	843, 05	Agreste Paraibano	-7, 696	-35, 664	530	São M. Taipu	891, 18	Mata Paraibana	-7, 246	-35, 206	34
Alcantil	351, 08	Borborema	-7, 742	-36, 057	507	Sapé	1195, 53	Mata Paraibana	-7, 093	-35, 223	118
Amparo	531, 21	Borborema	-7, 570	-37, 064	619	Sobrado	968, 72	Mata Paraibana	-7, 146	-35, 236	52
Assunção	378, 56	Borborema	-7, 076	-36, 732	569						

Legenda: LAT-Latitude, LONG-Longitude e ALT- Altitude.

Fonte: AESA (2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisadas as séries pluviométricas de 145 postos localizados em três mesorregiões do estado da Paraíba no período compreendido entre os anos de 2010 a 2020. Não foram considerados para o estudo os dados referentes a mesorregião do Sertão Paraibano por apresentarem séries curtas ou com problemas em seus registros. As variáveis independentes foram as médias dos totais anuais

das precipitações dos principais postos localizados nos municípios que estão compreendidos nas mesorregiões estudadas, em destaque na Tabela 2. O número de postos pluviométricos encontrados na mesorregião do Agreste Paraibano, na Borborema e na Mata Paraibana foram 70, 47 e 28, respectivamente.

Utilizando as medidas de posição que têm como função avaliar o grau de dispersão dos dados em relação aos valores médios dos totais anuais, foram obtidos os seguintes resultados: a precipitação média dos totais anuais para as três mesorregiões do estado foi de 735,46 mm, com desvio padrão de 399,54 mm. A precipitação média dos totais anuais na mesorregião Agreste Paraibano foi 721,26 mm, com desvio padrão de 253,07 mm e C.V de 35,08% (acima de 30%, alta dispersão). Na Mata Paraibana, a precipitação média dos totais anuais foi igual a 1.370,24 mm, com desvio padrão de 380,18 mm e C.V de 27,74% (entre 15 e 30%, média dispersão). Os menores valores de precipitação média (411,61 mm), desvio padrão (84,35 mm) e dispersão (CV = 20,49%, dispersão média) foram observados na mesorregião da Borborema. Um resumo da estatística descritiva dos dados pode ser observado por meio da Tabela 2.

**Tabela 2.-** Estatística descritiva das precipitações referente às médias dos totais anuais (2010-2020) por mesorregião do estado da Paraíba

Dados e Medidas de Dispersão	Precipitações Médias Anuais			
	Agreste Paraibano	Mata Paraibana	Borborema	Total
Número de Postos	70	28	47	145
Média	721,26	1370,24	411,61	735,46
Desvio Padrão	253,07	380,18	84,35	399,54
Coefficiente de Variação	35,08%	27,74%	20,49%	54,33%

Fonte: Autores (2021).

Após a análise descritiva, foi possível relacionar as médias dos totais anuais da precipitação (2010 a 2020) com as variáveis independentes (*altitude, latitude e longitude*). Para isso, utilizou-se a Regressão Linear Múltipla como forma de estimar um modelo que melhor ajustasse a realidade das precipitações médias anuais para as três regiões analisadas no estado da Paraíba.

A ferramenta usada foi a Análise de Dados – Regressão (*Microsoft Excel*®). O R<sup>2</sup>, estatística escolhida para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, foi igual a 0,62, sendo considerada uma correlação do tipo moderada.

Na Tabela 3 pode-se observar o resultado detalhado da estatística de regressão e os parâmetros de ajuste.

**Tabela 3.-** Estatística de Regressão Múltipla dos dados originais

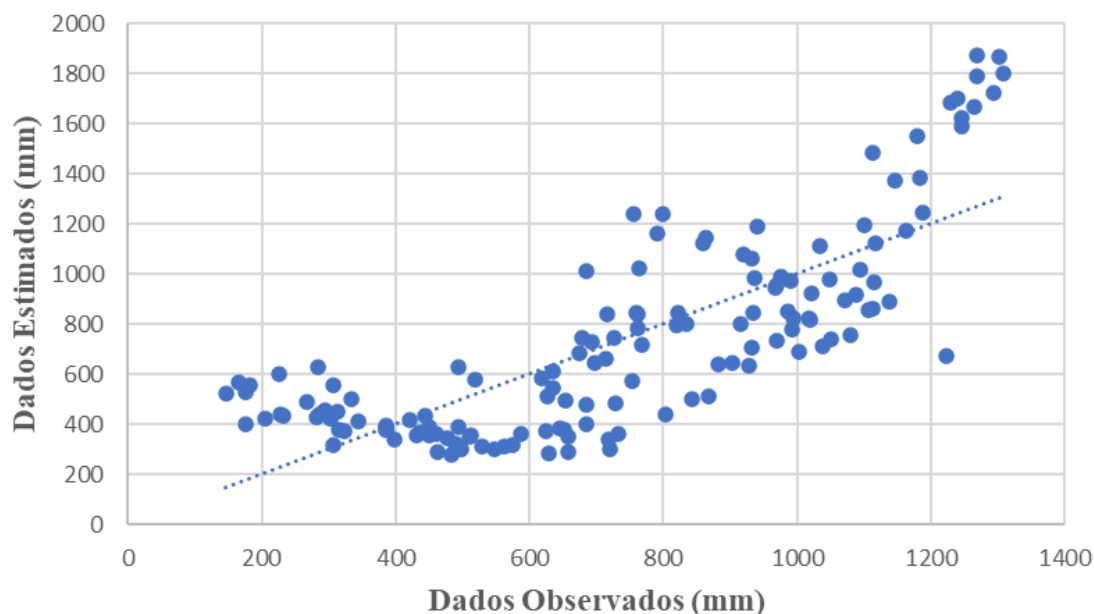
<b>Estatística da Regressão</b>	
Correlação de Pearson	0,79
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,62</b>
R <sup>2</sup> ajustado	0,61
Erro padrão	247,17 mm
Observações	145
<b>Parâmetros de Ajuste</b>	
K	16.336,45
a <sub>1</sub>	-43,26
a <sub>2</sub>	440,33
a <sub>3</sub>	-0,26

Fonte: Autores (2021). (Microsoft Excel®).

A partir dos resultados da Regressão Múltipla foram adquiridos os coeficientes para a obtenção da equação:

$$\bar{P}_{\text{anual}} = -43,26 \cdot \text{latitude} + 440,33 \cdot \text{longitude} - 0,26 \cdot \text{altitude} + 16.336,45 \quad [4]$$

Na Figura 2 pode-se observar a dispersão dos dados observados *versus* dados estimados de precipitações anuais médias. Foi possível verificar que os valores observados e estimados, em sua maioria, estão concentrados próximos à linha reta do gráfico, o que confirma o grau de correlação moderado, mesmo com alguns dados dispersos ( $\leq 300\text{mm}$  e  $\geq 1.100\text{mm}$ ) nas extremidades.



**Figura 2.-** Equação de correlação dos dados observados *versus* estimados (gráfico tipo Microsoft Excel©)  
Fonte: Autores (2021).

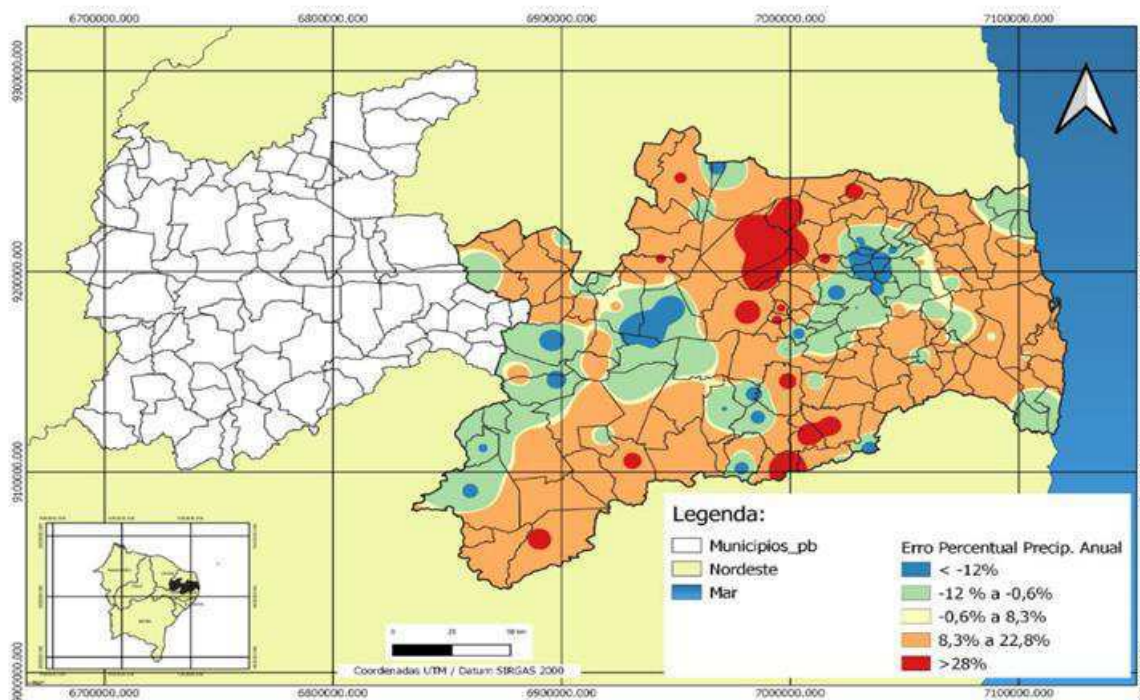
Através da relação da variável dependente com as variáveis espaciais independentes foi possível obter uma correlação do tipo moderada com um coeficiente de determinação de 0,62. Isto significa que 62% da variação dos dados pode ser explicada pelas variáveis preditoras. Quanto ao  $R^2$  ajustado, que considera o número de preditores do modelo, foi igual a 0,61, sendo ligeiramente inferior ao  $R^2$ . O mapa de erros médios percentuais das estimativas apontou que a maior parte da superfície do estado está classificada com erros entre 8,3% e 22,8%.

Na Figura 3 foi gerado um mapa para a análise espacial de distribuição dos valores dos erros percentuais. Por meio do mapa é possível verificar a abrangência percentual da subestimativa ou superestimativa decorrente da equação obtida para as mesorregiões estudadas no estado da Paraíba. Foi realizada uma estimativa a partir dos valores do erro percentual para cada posto utilizando a técnica determinística do IDW.

As regiões do Agreste Paraibano e Borborema apontaram resultados que superestimaram os valores de precipitações. Por outro lado, na região da Mata Paraibana foi constatada algumas áreas em que há subestimativa da precipitação.

O mapa de erros médios percentuais da estimativa mostra que a maior parte da superfície do estado está classificada com erros entre 8,3% e 22,8%.





**Figura 3.-** Análise espacial dos erros médios percentuais da estimativa (*Software QGis versão 3.26.1*)  
Fonte: Autores (2021).

## CONCLUSÕES

Com o uso da ferramenta estatística de regressão múltipla foi possível obter uma equação linear para estimar a média da precipitação anual em três mesorregiões do Estado da Paraíba, mesmo observando que o banco de dados analisado possuía alta variabilidade.

Para as mesorregiões do Agreste Paraibano e da Borborema, o modelo superestimou os registros históricos, mas para a região da Mata Paraibana, que tem as maiores alturas pluviométricas, o modelo subestimou os registros históricos.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES). Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs), pelo apoio técnico e científico.

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

## REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas** (2021). Disponível em: [www.aesa.pb.gov.br](http://www.aesa.pb.gov.br) acesso: 20 de agosto de 2021.
- Bailey, T., Gatrell, T.** (1996). *Interactive Spatial Data Analysis*. Prentice Hall, England.
- Bertoni, J.C., Tucci, C.E.M.** (2007). Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: UFRGS-RS.
- Boni, G., Parodi, A., Siccardi, F.** (2008). A New Parsimonious Methodology of Mapping the Spatial Variability of Annual Maximum Rainfall in Mountainous Environments. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 9, pp. 492-506.
- Cruz, M.A.S, Souza, L. A. de., Aragão, R. de., Silva, R. R. S. de., Mota, P. V. M. da.** (2013). Aplicação de Regressão Linear Múltipla para estimativa da precipitação média anual considerando a variabilidade espacial no estado de Sergipe. In: *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves – RS, novembro 2013, CD-ROM.
- Fontes, A.S.; Cidreira, M.A.S.; Almeida, R. B.; Miranda, J.G.V.; Silva, E.D.; Santana, C.N.; Gonzáles, A.; Medeiros, Y.D.P.** (2007). Estudo da dependência espacial da precipitação no SemiÁrido baiano – Bacia do Rio Jacuípe. In: *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo – SP, novembro 2007, CD-ROM.
- Mine, M.R.M.** (2006). Aplicação da geoestatística no estudo da variabilidade da precipitação. In: *Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Gravatá – PE, novembro 2006, CD-ROM.
- Naghetini, M., Andrade Pinto, E.J.** (2007). *Hidrologia estatística*. Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, 552p.
- Oliveira, L.F.C., Fioreze, A.P., Medeiros, A.M.M., Silva, M.A.** (2010). Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 14, No. 11, pp. 1186-1192.
- Philips, D., Dolph, J., Marks, D.** (1992). A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 58, pp.119-141.
- Queiroga, Y.G.A.; Assunção, R.; Silva, F.E.O.** (2007). Análise das previsões de precipitação do modelo ETA realizadas durante a operação do sistema de alerta da bacia do rio Doce – o uso da krigagem na interpolação espacial. In: *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo – SP, novembro 2007, CD-ROM.

## **ANÁLISE DE CONTRIBUIÇÕES A PROPOSTA DE NOVAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO DO TOCANTINS**

André Antônio Horta de Paula

Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG, Brasil  
andrehortap@gmail.com

### **RESUMO:**

Desde 2013, os valores de precipitação mensal acumulada da bacia hidrográfica do Rio Tocantins, no Brasil, têm ficado frequentemente abaixo da média histórica. Isto, aliado às próprias necessidades do sistema elétrico no período, acabou resultando em queda dos níveis de armazenamento dos reservatórios que compõem o Sistema Hídrico do Tocantins. Em 2020, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) elaborou minuta de uma resolução para normatizar as condições de operação desses reservatórios. Esta pesquisa teve como objetivo analisar as alterações sofridas pelo texto da resolução após sua submissão a consulta pública, a fim de averiguar o quanto e como o texto foi modificado em decorrência da participação popular. A análise demonstrou que a consulta pública acabou tendo impacto relevante sobre o texto da resolução, visto que 32 das 55 contribuições encaminhadas (ou 58%) foram aproveitadas parcial ou totalmente. Dentre os efeitos das alterações, o mais visível foi a flexibilização das condições de operação dos reservatórios em relação àquelas que estavam previstas originalmente. No entanto, apenas uma contribuição não foi encaminhada por membro de instituição associada ao setor elétrico, ainda que exista toda uma diversidade de usuários e potenciais interessados nos recursos hídricos da bacia do Rio Tocantins. Isto parece favorecer a hipótese de que a utilização do mecanismo de consulta pública alimenta conhecidos fatores limitantes da participação popular no Brasil, como o baixo interesse da população e sua falta de conhecimento e capacitação para fazer contribuições.

### **ABSTRACT:**

Since 2013, accumulated monthly precipitation in the Tocantins River basin of Brazil has been frequently below the historical average. This, combined with the needs of the electrical system, has resulted in falling water storage levels in the reservoirs that comprise the Tocantins River Water System. In 2020, the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) prepared a draft resolution to regulate the operating conditions of said reservoirs. The objective of this research was to analyze the changes in that draft resolution after it was submitted to public consultation and to ascertain in what ways, and to what extent, the text was modified due to popular participation. The analysis revealed that the public consultation had a significant impact on the draft resolution, since 32 out of 55 contributions (58%) were partially or fully accepted. The most apparent outcome of the alterations was that operating conditions of the reservoirs were made more flexible than the ones originally established. However, only a single contribution was made by someone other than an agent of the electricity sector, notwithstanding the diversity of Tocantins River basin water resources users and potentially interested parties. This seems to favor the hypothesis that the adoption of public consultation fuels known limiting factors of popular participation in Brazil, such as low levels of public interest and people's lack of knowledge and capacity to make contributions.

**PALAVRAS-CHAVE:** recursos hídricos; democracia participativa; consulta pública.

## INTRODUÇÃO

Em 1997, promulgou-se a Lei nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O inciso VI do Art. 1º dessa lei criou abertura para a participação popular na gestão dos recursos hídricos ao estabelecer que esta “deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades” (Brasil, 1997).

Em 2019, por sua vez, a Lei nº 13.848 – que dispõe sobre a gestão, a organização, o processo decisório e o controle social das agências reguladoras, incluindo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ou ANA – estabeleceu a consulta pública como uma das ferramentas de viabilização da participação popular:

*Art. 9º Serão objeto de consulta pública, previamente à tomada de decisão pelo conselho diretor ou pela diretoria colegiada, as minutas e as propostas de alteração de atos normativos de interesse geral dos agentes econômicos, consumidores ou usuários dos serviços prestados.*

*§ 1º A consulta pública é o instrumento de apoio à tomada de decisão por meio do qual a sociedade é consultada previamente, por meio do envio de críticas, sugestões e contribuições por quaisquer interessados, sobre proposta de norma regulatória aplicável ao setor de atuação da agência reguladora. (Brasil, 2019)*

O objetivo dessa pesquisa é analisar as alterações sofridas por texto de resolução elaborada pela ANA após sua submissão a consulta pública. A minuta da resolução em questão – cujo intuito era estabelecer novas condições de operação para os reservatórios do Sistema Hídrico do Rio Tocantins – foi disponibilizada na página do Sistema de Participação Social da ANA e submetida a consulta pública das 8h do dia 14 de dezembro de 2020 até as 18h do dia 27 de janeiro de 2021 (ANA, 2020b), conforme a orientação do parágrafo 3º do Art. 9º da Lei nº 13.848:

*§ 3º A agência reguladora deverá disponibilizar, na sede e no respectivo sítio na internet, quando do início da consulta pública, o relatório de AIR, os estudos, os dados e o material técnico usados como fundamento para as propostas submetidas a consulta pública, ressalvados aqueles de caráter sigiloso. (Brasil, 2019)*

Após o encerramento do período de consulta pública, a ANA disponibilizou, no mesmo sistema, relatório contendo o resultado da avaliação das contribuições recebidas (ANA, 2021a), que, mais tarde, daria origem à Resolução nº70/ANA, promulgada em 19 de abril de 2021 (ANA, 2021b). Com base nesse relatório, será feito um levantamento de quais agentes encaminharam contribuições, quais artigos da minuta de resolução foram temas dessas contribuições e quais delas foram acatadas pela ANA, a fim de averiguar o quanto e como o texto foi modificado em decorrência da participação popular permitida pela consulta pública.

No item 2 a seguir, são abordados conceitos e discussões envolvendo a democracia participativa no Brasil, enquanto o item 3 trata um pouco da consulta como instrumento de participação popular. O caso do Sistema Hídrico do Rio Tocantins começa a ser abordado no item 4, que faz uma breve caracterização da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. O item 5 trata da crise hídrica que aflige a bacia do Rio Tocantins, além de resumir as propostas presentes na minuta da resolução elaborada com o objetivo de amenizar a referida crise. O item 6 analisa as alterações feitas na resolução em razão das contribuições recebidas após sua submissão a consulta pública. Finalmente, o item 7 traz as considerações finais.

## 2. DEMOCRACIA E PARTICIPAÇÃO POPULAR NO BRASIL

Norberto Bobbio (1997, p. 12 apud Pereira; Vieira; 2020, p. 179) conceitua a democracia como “um conjunto de regras de procedimento para a formação de decisões coletivas, em que está prevista e facilitada a participação mais ampla possível dos interessados”. Segundo Ugarte (2004, p. 95 apud Gomes; Ceolin; 2019, p. 68) a democracia “não só é a forma de governo em que o poder político provém da base como também é o regime no qual este poder encontra-se amplamente distribuído entre os membros da comunidade”, de modo que democracia e participação são conceitos

entrelaçados. Analogamente, Gohn (2014, p. 24 apud Gomes; Ceolin; 2019 p. 74) afirma que uma sociedade democrática só é possível com a participação dos indivíduos e grupos sociais organizados.

Para Pereira e Vieira (2020), a democracia participativa, diferentemente de rivalizar com a democracia representativa ou substituí-la, a complementa, influenciando a gestão das políticas públicas por meio da fiscalização dos atos da administração. Ao se referir à participação cidadã ou social, Teixeira (2002 apud Oliveira, 2019) diz que ela deve exigir a responsabilização política e jurídica dos mandatários, o controle social e a transparência das decisões.

A partir da década de 80, com a redemocratização e promulgação da Constituição de 1988, houve uma expansão da democracia participativa no Brasil. Nas palavras de Montambeault (2018, p. 262):

*A Constituição permitiu a construção de uma arquitetura participativa única no Brasil democrático, a qual ainda é citada como uma das amplas no mundo. Esta arquitetura, desenvolvida em todos os níveis de governo, compreende instituições que permitem de diferentes modos a participação direta ou indireta (via representantes da sociedade civil, por exemplo) dos cidadãos comuns nos processos de tomada de decisões em diversos setores de políticas públicas.*

Nesse sentido, a autora ainda destaca:

*Após 30 anos de vigência da Constituição, a maioria dos setores de política pública (educação, saúde, criança e adolescente, assistência social, meio ambiente, trabalho etc.) agora tem mecanismos formais pela participação da sociedade civil, os conselhos gestores, e as conferências participativas organizadas a nível municipal, estadual e federal. Estes mecanismos não estavam inscritos no texto de 1988, mas foram regulados por lei ou decretos do Poder Executivo ao longo dos anos, institucionalizando o princípio participativo nas práticas democráticas do Brasil contemporâneo (Montambeault, 2018, p. 264)*

Entretanto, vários autores apontam que a eficácia dos mecanismos de participação ainda é limitada no Brasil. Estudos efetuados por Romão, Lavalle e Zaremborg (2017 apud Montambeault, 2018) e por Romão (2015b apud Montambeault, 2018) concluem que a falta de reformas burocráticas que acompanhassem a implementação de mecanismos de participação cidadã fez com o que o Estado não necessariamente tivesse a capacidade institucional e burocrática de integrar o produto da participação institucional nas decisões. Segundo Montambeault (2018, p. 269), são possíveis consequências disso a “(...) representatividade social fraca e, eventualmente, uma desmobilização dos atores sociais devido à percebida ineficiência dos mecanismos participativos”

Bronzatto et al (2018, p. 124) também citam alguns problemas que afligem a participação cidadã no Brasil, como

*(...) a fragilidade (de qualificação e de infraestrutura) da participação da sociedade civil, a baixa representação e representatividade de determinados setores menos organizados, a reprodução de estruturas de poder locais/setoriais e a pouca efetividade de mecanismos para combater esses desvios da participação da gestão participativa.*

Pinheiro Filho (2005 apud Carvalho; Moreira; 2017, p. 104), referindo-se especificamente à gestão de recursos hídricos, coloca como entraves à sua democratização a fragilidade das organizações coletivas das comunidades e dos grupos da sociedade civil, bem como a resistência de certos segmentos e setores de usuários tradicionalmente privilegiados. Para Jacob e Barbi (2007 apud Carvalho; Moreira; 2017, p. 106), apesar da participação ativa de representantes de organizações não governamentais e movimentos sociais em conselhos deliberativos e consultivos nos níveis federal, estadual e municipal, é comum que a influência desses representantes no processo decisório seja pequena e que o próprio caráter da representação seja contraditório.

Ao debater razões para esses gargalos, Carvalho e Moreira (2017, p. 106) ressaltam que a história do Brasil mostra “uma experiência sempre interrompida de democracia e participação popular”, e especulam que “Talvez por essa razão tenhamos dificuldade de compreender que uma porta se abriu e que precisamos atravessá-la para conseguir nossa autodeterminação enquanto povos, populações e comunidades diversas” (Carvalho; Moreira; 2017, p. 107). Assim sendo, entende-se que

a consolidação dos processos participativos, no Brasil, passa por um amadurecimento institucional condicionado a uma experiência democrática duradoura e ininterrupta.

### 3. OS MECANISMOS DE CONSULTA

Conforme dito por Gomes e Ceolin (2019, p. 70), “há diversas formas de os cidadãos participarem das políticas públicas, alguns com um nível mais ou menos intenso de participação, mas todas são formas de incluir e aproximar a sociedade civil no processo decisório”. No caso analisado por este estudo, o mecanismo de participação popular utilizado foi a consulta pública.

A consulta consiste no quarto dos oito degraus que formam a escala de participação elaborada por Sherry Arnstein (1969 apud Oliveira, 2019), pertencendo

*(...) a um nível de concessão limitada de poder que permite apenas o acesso a informações sobre direitos básicos, ainda numa concepção de cima para baixo e também permite que a sociedade organizada (associações, sindicatos, entre outros) seja ouvida. Mas nesse nível, os cidadãos, mesmo que organizados, não têm garantias que suas opiniões sejam capazes de influenciar as decisões políticas (Oliveira, 2019, p. 5)*

Na Escala de Participação Pública elaborada pela Associação Internacional para a Participação Pública (International Association for Public Participation – IAPP), o objetivo da consulta é obter retorno da população sobre alguma análise, alternativa e/ou decisão do órgão público, com a promessa de mantê-la informada, reconhecer suas preocupações e aspirações e, posteriormente, deixá-la a par de como suas contribuições influíram na decisão final (IAPP, 2014 apud Oliveira, 2019, p. 6 e 7).

A consulta também é um dos três níveis que compõem a escala de participação elaborada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), acima do nível da informação e abaixo do nível da participação ativa (OECD, 2001 apud Oliveira, 2019, p. 7). A definição de consulta utilizada por essa escala é similar à adotada pela escala de participação da IAPP, e partir dela se infere que a consulta cria “uma relação de mão dupla limitada entre o governo e os cidadãos” (Oliveira, p. 7).

Ou seja, embora a consulta pública ofereça uma oportunidade para a população de vocalizar suas opiniões e demandas quando colocada diante de medidas propostas pelo poder público, a decisão final continua sendo do Estado. Em tese, uma proposta submetida a consulta pública pode tanto permanecer inalterada quanto ser completamente descartada em decorrência das contribuições recebidas. A análise da influência de uma consulta pública sobre o desenho de uma proposta, naturalmente, só pode ocorrer a posteriori. Conforme já explicitado, esse é o tipo de análise que este estudo se propõe a fazer, com base na experiência do Sistema Hídrico do Rio Tocantins descrita a seguir.

### 4. A REGIÃO HIDROGRÁFICA TOCANTINS-ARAGUAIA

O Rio Tocantins é formado pela confluência dos rios Almas e Maranhão, no Planalto de Goiás, seguindo por uma extensão de 1960 km até sua foz, na Baía de Marajó. Seu principal tributário, com 2600 km de extensão, é o Rio Araguaia (ANA, 2015). As unidades hidrográficas do Tocantins e do Araguaia, juntas, formam a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA).

A área de drenagem da RHTA é de cerca de 920 mil km<sup>2</sup>, equivalente a 10,8% do território do Brasil (ANA, 2015), fazendo dela a maior dentre as regiões hidrográficas localizadas inteiramente em território nacional. Seu território abrange partes dos estados do Pará, Tocantins, Goiás, Mato Grosso e Maranhão, bem como do Distrito Federal. Ao todo, a RHTA abriga 409 municípios – 384 com sede na região hidrográfica – e uma população de aproximadamente 8,6 milhões de pessoas, com a maioria delas (76%) residindo em centros urbanos situados, principalmente, na bacia do Rio Tocantins (IBGE, 2010 apud ANA, 2015).

A precipitação média anual da RHTA gira em torno de 1774 mm, embora as chuvas se caracterizem por uma pronunciada sazonalidade, com um período chuvoso, entre outubro e abril, e outro seco, entre maio e setembro. O trimestre entre dezembro e fevereiro é usualmente mais chuvoso, enquanto o trimestre entre junho e agosto costuma ser marcado pela estiagem (ANA, 2020a).

A vazão média da região é de 13.779 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 7,7% da vazão média nacional. Embora a vazão específica da RHTA seja de 15,1 L/s/km<sup>2</sup>, menor que a média brasileira de 20,9 L/s/km<sup>2</sup>, o volume máximo de reservação per capita é de 13.508 m<sup>3</sup>/hab., superando muito a média brasileira de 3607 m<sup>3</sup>/hab. (ANA, 2015).

No cenário nacional, a região é conhecida por seu potencial hidrelétrico, chegando a responder por 15% da capacidade de hidreletricidade total instalada no país (ANEEL, 2013 apud ANA, 2015). No Rio Tocantins, em especial, estão instaladas sete usinas hidrelétricas: Tucuruí (inaugurada em 1984, no Tocantins), Serra da Mesa (1998, Goiás), Lajeado (2001, Tocantins), Cana Brava (2002, Goiás), Peixe Angical (2006, Tocantins), São Salvador (2009, Tocantins) e Estreito (2011, Tocantins e Maranhão). Destas, somente as UHEs Serra da Mesa, Peixe Angical e Tucuruí possuem reservatórios com capacidade de regularização de vazões, sendo o reservatório da UHE Serra da Mesa o maior do Brasil em termos de volume máximo operacional (54,4 bilhões de metros cúbicos de água) e o principal responsável pela regularização das vazões a jusante, contribuindo para a operação de todas as demais usinas hidrelétricas do Rio Tocantins. Por sua importância, a UHE Serra da Mesa foi a primeira usina do rio a receber outorga de direito de uso dos recursos hídricos, em outubro de 2020 (ANA, 2020a).

Alguns anos antes, o papel crítico da UHE Serra da Mesa já havia motivado a ANA a emitir duas resoluções que interferiam diretamente em sua operação. A Resolução nº 529, de 19 de outubro de 2004, estabeleceu uma vazão mínima de 300 m<sup>3</sup>/s a jusante de seu reservatório, com o objetivo de elevar o seu nível. Mais tarde, a Resolução nº 376, de 6 de junho de 2011, definiu que, respeitada a referida vazão mínima de 300 m<sup>3</sup>/s, a vazão defluente a jusante da UHE Serra da Mesa deveria ser mantida constante entre 10 de junho e 20 de agosto, de modo a criar condições para a Temporada de Praias do Rio Tocantins (ANA, 2020a).

## 5. A CRISE HÍDRICA DA BACIA DO RIO TOCANTINS

Desde 2013, os valores de precipitação mensal acumulada da bacia do Rio Tocantins têm ficado frequentemente abaixo da média histórica, o que, aliado às próprias necessidades do sistema elétrico no período, acabou resultando em queda dos níveis de armazenamento dos reservatórios do Rio Tocantins (ANA, 2020a).

Assim, ao longo dos últimos anos, a ANA precisou tomar novas medidas para compatibilizar as vazões de descarga dos reservatórios da bacia com a satisfação da demanda de água por parte dos diversos usuários, especialmente as captações para abastecimento humano. Com o intuito de promover a recuperação do volume útil armazenado pelo reservatório da UHE Serra da Mesa, por exemplo, foram emitidas diversas resoluções autorizando a realização de testes ou flexibilizações temporárias da vazão mínima de descarga de 300 m<sup>3</sup>/s definida pela Resolução nº 529 de 2004 (ANA, 2020a).

Embora as medidas tomadas pela ANA tenham cumprido com o objetivo principal de preservar o estoque de água no reservatório da UHE Serra da Mesa entre 2013 e 2020 (ANA, 2020a), é sabido que eventos críticos como secas e cheias tendem a se tornar mais frequentes e intensos em decorrência das mudanças climáticas, sendo provável o prolongamento do período de baixas precipitações. Assim, a ANA avaliou que as circunstâncias pediam uma alternativa capaz de conferir maior previsibilidade e estabilidade à regulação dos recursos hídricos na bacia, tornando-a robusta o suficiente para garantir a satisfação da demanda de água pelos usuários do Sistema Hídrico do Rio Tocantins, a segurança energética do país e a minimização da probabilidade de conflitos hídricos, especialmente entre os setores de energia e de turismo. Em outras palavras, deveriam ser estabelecidas

normas que garantissem segurança hídrica para o conjunto de reservatórios do Rio Tocantins sem que fossem necessárias “flexibilizações temporárias e extemporâneas” (ANA, 2020a, p. 35).

Em 2020, a ANA elaborou a minuta de uma resolução para normatizar as condições de operação dos reservatórios que compõem o Sistema Hídrico do Tocantins. A resolução, além de revogar automaticamente a Resolução nº 529 e a Resolução nº 376, propunha-se, dentre outras ações, a:

- Estabelecer os níveis de água máximos operacionais e os níveis de água mínimos normais de cada um dos reservatórios que compõem o sistema hídrico;
- Definir, para fins de operação do sistema hídrico, os meses que devem compor os chamados período úmido e período seco;
- Estabelecer os limites para as vazões mínimas diárias liberadas pelos reservatórios da UHE Serra da Mesa e da UHE Estreito;
- Estabelecer a Faixa de Operação Normal e a Faixa de Operação de Atenção para o reservatório da UHE Serra da Mesa no período úmido;
- Estabelecer a Faixa de Operação Normal, a Faixa de Operação de Atenção e Faixa de Operação de Alerta para o reservatório da UHE Serra da Mesa no período seco;
- Estabelecer o período de operação especial do reservatório da UHE Serra da Mesa durante a Temporada de Praias no rio Tocantins no Estado do Tocantins; e
- Estabelecer o período de operação especial do reservatório da UHE Estreito durante a Temporada de Praias no rio Tocantins no Estado do Maranhão.

## 6. ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES À MINUTA DE RESOLUÇÃO

A Tabela 1 abaixo mostra que membros de 12 instituições deram suas contribuições à minuta de resolução da ANA, sendo a Defesa Civil do município de Imperatriz a única instituição não diretamente relacionada ao setor elétrico. Embora a ANA (2021a) liste 61 contribuições, quatro correspondem a duplicatas e duas correspondem a documentos com compilações das contribuições de duas instituições. Assumindo-se que tais contribuições correspondem às mesmas encaminhadas separadamente por esses interessados, contabilizam-se 55 contribuições ao todo, das quais 23 (ou 42% do total) foram rejeitadas, 20 (36%) foram parcialmente aproveitadas e 12 (22%) foram totalmente aproveitadas.

**Tabela 1.-** Instituições que deram contribuições à minuta de resolução (com base em ANA, 2021a)

Instituição	Aproveitamento			Total
	Não	Parcial	Sim	
Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica - ABRAGE	6	5	6	17
Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS	2	6	3	11
Furnas Centrais Elétricas S/A	6	2	3	11
Eletrobras	4	3	0	7
EDP Energias do Brasil	2	0	0	2
Defesa Civil de Imperatriz - MA	1	0	0	1
Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica - APINE	0	1	0	1
ENGIE Brasil Energia	0	1	0	1
Ministério de Minas e Energia	1	0	0	1
Fórum do Meio Ambiente e Sustentabilidade do Setor Elétrico - FMASE	0	1	0	1
Empresa de Pesquisa Energética - EPE	0	1	0	1
Associação Brasileira dos Investidores em Autoprodução em Energia - ABIAPE	1	0	0	1
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>55</b>

A instituição que mais encaminhou contribuições à minuta foi a ABRAGE, com 17 contribuições. Destaca-se também o ONS e Furnas, que encaminharam 11 contribuições cada uma, e a Eletrobras, que encaminhou sete contribuições.

Na Tabela 2, por sua vez, vê-se que, ao todo, 10 artigos (ou 62,5% dos artigos da minuta) foram temas de contribuições. Seis contribuições, porém, não puderam ser associadas a nenhum



artigo específico, visto que consistem em arquivos encaminhados para a ANA cujo conteúdo não foi disponibilizado na página do Sistema de Participação Social da ANA.

As contribuições parcial ou totalmente aproveitadas causaram alterações em sete dos 16 artigos da minuta (44% do número total de artigos ou 70% do número de artigos que foram temas de contribuições). Essas alterações incidiram sobre os artigos 1º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º e 11º.

**Tabela 2.-** Artigos da minuta de resolução que foram temas de contribuições (com base em ANA, 2021a)

Artigos	Caput/Parágrafo	Aproveitamento			Total - Caput/Parágrafo	Total - Artigo
		Não	Parcial	Sim		
Art. 1º	Art. 1º caput	2	0	1	3	3
Art. 3º	Art. 3º caput	2	1	1	4	11
	Art. 3º § 1º	0	1	2	3	
	Art. 3º § 3º	0	0	2	2	
	Art. 3º § 4º	0	2	0	2	
Art. 4º	Art. 4º caput	0	0	2	2	3
	Art. 4º § 2º	0	1	0	1	
Art. 5º	Art. 5º caput, § 2º e § 3º	0	1	0	1	13
	Art. 5º caput	0	4	1	5	
	Art. 5º § 2º	0	3	0	3	
	Art. 5º § 3º	2	2	0	4	
Art. 6º	Art. 6º § 2º	3	0	0	3	6
	Art. 6º § 3º	0	1	2	3	
Art. 7º	Art. 7º caput	0	0	1	1	1
Art. 10º	Art. 10º caput	4	0	0	4	4
Art. 11º	Art. 11º caput	1	1	0	2	3
	Art. 11º § 1º	0	1	0	1	
Art. 12º	Art. 12º caput	3	0	0	3	3
Art. 16º	Art. 16º caput	2	0	0	2	2
Outras contribuições		4	2	0	6	6
Total		23	20	12	55	55

### 6.1. ALTERAÇÕES SOFRIDAS PELO ART. 1º

O Art. 1º define os níveis de água máximos operacionais e os níveis de água mínimos normais para cada um dos sete reservatórios que compõem o Sistema Hídrico do Rio Tocantins. O caput desse artigo recebeu três contribuições de ABRAGE, Furnas e ONS, sendo que apenas a do ONS foi aproveitada.

No caso, a contribuição acolhida fez somente com que o nível de água mínimo normal definido para o reservatório da UHE Cana Brava passasse de 332,5 m para 330m. A alteração ocorreu após a indicação de que 330 m era o nível d'água mínimo constante no projeto da usina e depois de a própria ANA ter constatado que o reservatório vinha operando sistematicamente abaixo de 332,5 m.

### 6.2. ALTERAÇÕES SOFRIDAS PELO ART. 3º

O Art. 3º estabelece os limites para as vazões mínimas diárias a serem liberadas pelos reservatórios da UHE Serra da Mesa e UHE Estreito. Esse artigo foi tema de 11 contribuições de cinco interessados (ABRAGE, Defesa Civil de Imperatriz, Eletrobras, Furnas e ONS), estando concentradas no caput (quatro contribuições) e nos parágrafos 1º (três contribuições), 3º (duas contribuições), e 4º (duas contribuições). Dessas contribuições, nove (ou 82% do total, feitas por ABRAGE, Eletrobras, Furnas e ONS) foram parcialmente ou totalmente aproveitadas, resultando em alterações nos parágrafos 1º e 3º, bem como na criação de um novo artigo. As contribuições não aproveitadas diziam respeito ao caput e haviam sido feitas por Furnas e pela Defesa Civil de Imperatriz.

Com as contribuições ao caput feitas por ABRAGE e ONS, ficou definida uma vazão mínima diária de 100 m³/s para o reservatório da UHE Serra da Mesa no período úmido – uma simplificação em relação ao texto original, que estabelecia vazões mínimas diárias de 100 m³/s entre janeiro e abril e de 200 m³/s entre dezembro e maio (ANA, 2021a).

Com as alterações no parágrafo 1º do Art. 3º, os dados das estações fluviométricas integrantes da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 3 de 2010 deixam de ser os principais subsídios utilizados para controlar as defluências dos reservatórios do Sistema Hídrico do Rio Tocantins, passando a ser utilizados apenas complementarmente aos dados fornecidos pelo ONS, os quais já são reportados à ANA.

O parágrafo 3º do Art. 3º define que, quando o reservatório da UHE Serra da Mesa estiver operando com defluências inferiores a 300 m<sup>3</sup>/s no período úmido, o reservatório da UHE Cana Brava deve operar a níveis que atendam as condicionantes estabelecidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – no trecho entre essa usina e a de Serra da Mesa. Enquanto a redação original não especificava quais seriam esses níveis, o texto final estabelece que deve ser considerado o mínimo operativo de 332,5 m para o reservatório da UHE Cana Brava.

A contribuição da Eletrobras ao parágrafo 4º do Art. 3º, embora não tenha causado alteração do seu texto, acabou ocasionando a inserção de um novo artigo na resolução. O referido parágrafo estabelece o seguinte:

*§ 4º O reservatório da UHE Serra da Mesa deverá, sempre que necessário, suprir as vazões defluentes para garantir o atendimento das restrições de vazões defluentes mínimas das UHEs Cana Brava, Peixe Angical, Lajeado e Estreito.*

A contribuição a esse parágrafo defendeu que nenhum valor de referência para vazões deveria ser alterado sem que o impacto da alteração sobre o Sistema Interligado Nacional – SIN – pudesse ser devidamente analisado, sob coordenação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – e do ONS. Em resposta, a ANA, no Art. 13º da versão final da resolução, passou a reconhecer que “O ONS deverá operar o Sistema Hídrico do Rio Tocantins observando o atendimento das restrições operativas existentes” (ANA, 2021b, p. 4).

### **6.3. ALTERAÇÕES SOFRIDAS PELO ART. 4º**

O Art. 4º estabelece as faixas de operação do reservatório da UHE Serra da Mesa no período úmido. Na consulta pública, o caput recebeu duas contribuições (feitas por ABRAGE e Furnas), enquanto foi feita uma única contribuição para o parágrafo 2º do artigo (feita pelo ONS). As contribuições ao caput foram completamente aproveitadas, enquanto a contribuição ao parágrafo foi apenas parcialmente acolhida.

As contribuições ao caput do Art. 4º resultaram na redução do volume de água acima do qual se considera que o reservatório está operando na Faixa de Operação Normal, com o nível d’água passando de 442,95 m (nível em que está armazenado o equivalente a 44,25% do volume útil do reservatório) para 431,67 m (20% do volume útil). Com essa alteração, o limite superior da Faixa de Operação de Atenção também diminuiu, de 442,95 m para 431,67 m, com o limite inferior sendo mantido em 417,30 m (0% do volume útil). Essas alterações resultaram do entendimento de que os níveis em que ocorreriam as mudanças de faixas eram maiores do que o necessário considerando a atual demanda de recursos hídricos para usos múltiplos no início da estação seca na bacia do Rio Tocantins.

Em relação ao parágrafo 2º do Art. 4º, a contribuição resultou na alteração da máxima vazão defluente média mensal definida para reservatório da UHE Serra da Mesa quando ele estiver operando na Faixa de Operação de Atenção, que passou de 397 m<sup>3</sup>/s para 300 m<sup>3</sup>/s.

### **6.4. ALTERAÇÕES SOFRIDAS PELO ART. 5º**

O artigo da minuta que mais recebeu contribuições foi o Art. 5º, que define as faixas de operação para o reservatório da UHE Serra da Mesa no período seco. Foram 13 contribuições, concentradas no caput (cinco contribuições), nos parágrafos 2º (três contribuições) e 3º (quatro contribuições), e no caput e nos parágrafos 2º e 3º ao mesmo tempo (uma contribuição). Dessas

contribuições, 11 (ou 85% do total, feitas por ABRAGE, APINE, FMASE, Furnas e ONS) foram parcialmente ou totalmente aproveitadas. As contribuições não aproveitadas diziam respeito ao parágrafo 3º e haviam sido feitas por ABRAGE e Furnas.

As contribuições ao caput do Art. 5º resultaram na redução do volume de água acima do qual se considera que o reservatório está operando na Faixa de Operação Normal, com o nível d'água passando de 442,05 m (nível em que está armazenado o equivalente a 42% do volume útil do reservatório) para 431,67 m (20% do volume útil). Com essa alteração, o limite superior da Faixa de Operação de Atenção também caiu de 442,05 m para 431,66 m, enquanto o limite inferior passou de 431,66 m para 425,41 m (10% do volume útil). Já o limite superior da Faixa de Operação de Alerta passou de 431,66 m para 425,41 m, com o limite inferior sendo mantido em 417,30 m (0% do volume útil). Essas alterações resultaram do entendimento de que os níveis em que ocorreriam as mudanças de faixas estavam altos considerando a atual demanda de recursos hídricos para usos múltiplos na bacia do Rio Tocantins, onde ainda não ocorrem conflitos.

As contribuições ao parágrafo 2º do Art. 5º, por sua vez, resultaram na alteração da vazão média mensal defluente com que o reservatório da UHE Serra da Mesa deve operar na Faixa de Operação de Atenção, que passou de 600 m³/s para 794 m³/s. A mudança ocorreu após a ANA acolher parcialmente o argumento de que uma vazão de 600 m³/s poderia restringir a operação das usinas a jusante e a geração de energia justamente nos meses em que a UHE Serra da Mesa é mais demandada pelo SIN.

Já o parágrafo 3º do Art. 5º sofreu alterações mais profundas. Originalmente, esse parágrafo estabelecia o seguinte:

*§ 3º Quando o reservatório de Serra da Mesa estiver operando na Faixa de Operação de Alerta, a vazão defluente máxima média diária deverá ser estabelecida pelo ONS, a partir de recomendação da ANA, de modo a preservar seu volume útil, liberando, preferencialmente, a vazão defluente mínima média diária autorizada para o período. Para fixação da vazão defluente deverão ser consideradas as seguintes diretrizes:*

*I - atendimento aos usos múltiplos no trecho entre o reservatório de Serra da Mesa e o reservatório de Estreito; e*

*II - recuperação do armazenamento do reservatório de Serra da Mesa para níveis d'água superiores a 431,66 m (20% VU).*

Após as contribuições, os incisos foram suprimidos, e o parágrafo passou a estabelecer somente que a vazão média mensal defluente do reservatório da UHE Serra da Mesa deve ser de 397 m³/s quando ele estiver operando na Faixa de Operação de Alerta. Os motivos para a supressão, porém, não estão suficientemente claros, com a ANA informando apenas que ela serve a uma compatibilização de texto (ANA, 2021a). Ressalta-se ainda que as contribuições sugeriam somente a redução da vazão definida no inciso II de 431,66 m³/s para 424,17 m³/s.

## **6.5. ALTERAÇÕES SOFRIDAS PELO ART. 6º**

O Art. 6º estabelece o período de operação especial do reservatório da UHE Serra da Mesa durante a Temporada de Praias do rio Tocantins no Estado de mesmo nome, que deve ocorrer entre 10 de junho e 20 de agosto. Foram encaminhadas contribuições relativas tanto ao parágrafo 2º (três contribuições, feitas por ABRAGE, Furnas e Eletrobras) quanto ao parágrafo 3º (três contribuições, feitas pelos mesmos interessados). Entretanto, somente as contribuições relativas ao parágrafo 3º resultaram em alterações no texto.

Originalmente, o parágrafo 3º estabelecia que, até o dia 10 de maio de cada ano, o ONS deveria informar ao órgão estadual de Tocantins responsável pelo setor de turismo a vazão a ser praticada pelo reservatório durante o período de operação especial. Depois das contribuições, porém, ficou estabelecido que essa informação também deveria ser repassada à ANA e aos agentes de geração responsáveis pela operação dos reservatórios do Sistema Hídrico do Rio Tocantins. Afinal, enquanto cabe à primeira estabelecer as condições de operação em articulação com o ONS, os segundos têm

responsabilidades civis objetivas sobre suas operações, que são em grande parte afetadas pela UHE Serra da Mesa.

## 6.6. ALTERAÇÕES SOFRIDAS PELO ART. 7º

O Art. 7º estabelece que o período de operação especial do reservatório da UHE Estreito, durante a Temporada de Praias do rio Tocantins no Estado do Maranhão, ocorrerá anualmente entre 1º de julho e a data do segundo domingo de setembro. Esse artigo foi tema de uma única contribuição, feita pela ABRAGE, a qual foi totalmente aproveitada. Essa contribuição apontava que, a jusante da UHE Estreito, tem-se o Estado do Maranhão em uma margem e o Estado do Tocantins em outra, sendo que ambos possuem temporadas de praias. Desse modo, o período de operação especial do reservatório da usina em questão, de acordo com o novo texto, passa a valer também para a Temporada de Praias no Estado do Tocantins.

## 6.7. ALTERAÇÕES SOFRIDAS PELO ART. 11º

Segundo o Art. 11º da minuta de resolução, o ONS, a fim de atender questões elétricas, poderá operar os reservatórios do Sistema Hídrico do Rio Tocantins em ocasiões excepcionais, devendo apenas apresentar, em até sete dias, as devidas justificativas à ANA. Esse artigo foi tema de três contribuições, sendo duas referentes ao caput (feitas por ONS e Eletrobras) e uma referente ao parágrafo 1º do artigo (feita pelo ONS).

As contribuições ao caput e ao parágrafo 1º feitas pelo ONS foram parcialmente aproveitadas, resultando no aumento do prazo de apresentação das justificativas à ANA, que passa a ser de 10 dias no texto final. Adicionalmente, o parágrafo 1º não apenas se tornou um parágrafo único, como foi alterado de modo a estabelecer que o ONS deve solicitar autorização especial à ANA caso seja necessário manter a operação excepcional por 10 dias consecutivos ou mais, em vez dos sete dias consecutivos constantes no texto original. As alterações no caput e no parágrafo 1º derivaram do apontamento, por parte do ONS, de que sete dias não era um prazo longo suficiente para a apresentação da justificativa e/ou solicitação e emissão de autorização especial.

Já o parágrafo 2º, no texto original, estabelecia o seguinte:

*§ 2º Em situação de escassez hídrica ou risco que venha a comprometer a geração de energia elétrica para atendimento ao SIN, conforme reconhecido pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE, os limites de defluências do reservatório de Serra da Mesa poderão ser revistos pela ANA, em articulação com o ONS, por meio de ato específico.*

Entretanto, adotou-se o entendimento de que a revisão dos limites de defluências do reservatório não demanda envolvimento do CMSE, podendo ser articulada por outros meios, já disponíveis. Assim sendo, optou-se pela supressão do parágrafo.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise demonstra que a consulta pública acabou tendo impacto relevante sobre o texto da resolução, visto que 32 das 55 contribuições encaminhadas (ou 58%) foram aproveitadas parcial ou totalmente. Ainda assim, o número de alterações feitas no texto foi menor que o número de contribuições aproveitadas, dada a similaridade de sugestões encaminhadas por diferentes interessados. Como já dito, além de sete dos 16 artigos terem sido alterados, as contribuições à minuta resultaram no acréscimo de um artigo ao texto final.

Dentre os efeitos das alterações, o mais visível foi a flexibilização das condições de operação dos reservatórios em relação àquelas que estavam previstas originalmente. Mudanças nos artigos 1º e 3º resultaram em reduções de vazões mínimas permitidas, enquanto as alterações nos artigos 4º e

5º proporcionaram expansão de faixas de operação normais nos reservatórios, compressão e deslocamento de faixas de operação de atenção para níveis d'água mais baixos e compressão de faixas de operação de alerta. Isso pode ser interpretado como o resultado da conciliação do interesse da resolução de evitar uma intensificação da crise hídrica com o interesse dos usuários de manter a água disponível para os usos correntes na bacia do rio Tocantins.

Há de se chamar atenção, porém, para o que diz o relatório de análise de impacto regulatório que precedeu a redação da minuta, e que foi disponibilizado juntamente com esta na página do Sistema de Participação Social da ANA. De acordo com ele, os problemas regulatórios tratados teriam potencial para afetar ou atrair o interesse dos mais variados agentes, usuários ou não, como aqueles associados ao setor elétrico, turismo, abastecimento humano, irrigação, meio ambiente, gestão de recursos hídricos, gestão de riscos de eventos críticos, transporte aquaviário, climatologia, pesca e aquicultura, indústrias e Ministérios Públicos Estaduais (ANA, 2020a). No entanto, dentre as contribuições para a minuta da resolução da ANA, a qual visava justamente evitar os referidos problemas, apenas uma delas não foi encaminhada por membro de instituição associada ao setor elétrico. Considerando a importância do sistema hídrico para o SIN, o interesse desse setor na consulta pública é esperado, mas não explica a falta de contribuições feitas por outros atores.

Sabendo-se que a ANA instituiu, ainda em 2017, uma Sala de Crise para debater os problemas hídricos relativos à bacia do rio Tocantins, aumenta a probabilidade de que a minuta de resolução já tenha incluído as considerações de ao menos alguns dos setores ausentes da consulta pública aberta para debatê-la. Afinal, os participantes da Sala de Crise incluem “órgãos gestores de recursos hídricos dos estados da bacia, representantes do setor elétrico, do setor de turismo, de defesas civis, companhias de abastecimento de água e representantes de usuários da água na bacia” (ANA, 2020a, p. 12).

Ainda assim – e embora não se possa descartar a possibilidade de que os agentes simplesmente tenham entendido que as normas antecipadas pela minuta não teriam impacto significativo sobre seus respectivos setores – chama a atenção o fato de não terem sido recebidas contribuições de toda uma diversidade de usuários e potenciais interessados nos recursos hídricos da bacia do Rio Tocantins.

É possível que a própria utilização do mecanismo da consulta pública esteja alimentando conhecidos fatores limitantes da participação popular, como o baixo interesse da população e sua falta de conhecimento e capacitação para fazer contribuições. Segundo Miguel (2017, p. 90), “A participação consultiva, em que as resoluções tomadas coletivamente são depois revisadas por um indivíduo ou por outro grupo (...) não fornece efetivo controle às pessoas comuns e representa estímulo muito menor à qualificação política”. Ressalta ainda que

*(...) o participacionismo não contesta o fato de que a maior parte das pessoas, na maior parte do tempo, é apática, desinformada e desinteressada (...) A apatia seria efeito apenas de ausência de oportunidades e do desestímulo estrutural, isto é, do fato de que o sistema político ensina às pessoas que, em geral, suas tentativas de influenciá-lo são infrutíferas, fazendo com que elas parem de tentar (Miguel, 2017, p. 90)*

A superação desse cenário poderia partir das palavras de Santos e Avritzer (2009, p. 77 apud Gomes; Ceolin; 2019, p. 77), para quem “o primeiro elemento importante da democracia participativa seria o ‘aprofundamento dos casos nos quais o sistema político abre mão de prerrogativas de decisão em favor de instâncias participativas’”. Gohn (2014 apud Gomes; Ceolin; 2019) além de também defender que a participação popular efetiva passa pela concessão de poder decisório aos participantes, realça que os cidadãos devem ser tratados como sujeitos de experiências e vivências que podem ser úteis no processo de tomadas de decisão. Manzano (2008 apud Gomes; Ceolin; 2019), por sua vez, enfatiza que uma participação eficaz está condicionada à existência de um fluxo de informação capaz de garantir que os cidadãos se conscientizem a respeito de como uma decisão pode afetar seus interesses, com Gomes e Ceolin (2019, p. 73) acrescentando que não basta que as informações estejam disponíveis, elas devem estar “claras, suficientes e acessíveis ao entendimento de todos”.

A se considerar essas colocações, entende-se que, embora menos sujeita a custos de participação prejudiciais aos mais pobres, como os referentes a deslocamento e consumo de tempo (Miguel, 2017), a consulta pública continua sendo um mecanismo de participação pouco atraente.

Afinal, seu desenho permite que as contribuições recebidas não tenham qualquer reflexo sobre as políticas implementadas, uma perspectiva que, naturalmente, tende a desmobilizar a população. Desse modo, uma alternativa seria a substituição das consultas públicas pela utilização de conselhos ou assembleias em que o poder decisório esteja distribuído de modo equilibrado entre os representantes de setores da população, incentivando um número maior desses setores a saírem na defesa de seus interesses e a se qualificarem para a discussão política. Ao mesmo tempo, o Estado poderia acompanhar esse movimento por meio de campanhas de conscientização e disponibilização de programas de capacitação.

De qualquer modo, não obstante as limitações da consulta pública, é certo que, no caso estudado, as contribuições causaram certa inflexão no modo com que o órgão público gestor pretendia conduzir determinadas questões. No entanto, o perfil pouco diversificado dos contribuintes acabou fomentando uma dúvida: se a utilização de um mecanismo de participação sem as mesmas limitações da consulta pública poderia ter resultado em alterações distintas e/ou mais profundas, ou até mesmo mais condizentes com os desejos de uma parcela maior dos usuários. Independentemente das contribuições acatadas e do modo com que elas foram colhidas, porém, somente com a passagem do tempo será possível saber se as normas do texto final da resolução, considerando as contribuições recebidas, serão suficientes para conter a crise hídrica da bacia do rio Tocantins – cuja continuidade ou não, ressalta-se, também dependerá de fatores climáticos.

## 8. REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras*. Brasília: ANA, 2015. 163 p.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 1/2020/Corsh/Soe*. Brasília: ANA, 2020a. 39 p.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Sistema de Participação Social nas Decisões da ANA: Consulta Pública nº 008 / 2020*. 2020b. Disponível em: <https://participacao-social.ana.gov.br/Consulta/92>.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021a). *RAC – Relatório de Avaliação das Contribuições Recebidas da Consulta Pública nº 008/2020*. Brasília, Brasil.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Resolução nº 70/ANA, de 19 de abril de 2021*. Brasília: ANA, 2021b. 5 p.
- Brasil. *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Brasília, 1997.
- Brasil. *Lei nº 13.848, de 25 de junho de 2019*. Brasília, 2019.
- Bronzatto, L. A.; Soares, D. N.; Santos, G. R.; Kuwajima, J. I.; Cuccio, M. S. “O Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 6 - Água e Saneamento: desafios da gestão e a busca de convergências”. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, ed. 18, p. 119-128, 2018.
- Carvalho, M. E. S.; Moreira, O. B. “Reflexões sobre a participação social na gestão hídrica no Brasil”. *Geoambiente On-line*, ed. 28, 2017.
- Gomes, C. F.; Ceolin, L. P. S. “Participação Popular em Políticas Públicas Ambientais: O Desafio da Participação Efetiva”. *Revista FSA, Teresina*, v. 16, n. 4, ed. 4, p. 65-82, jul./ago. 2019.
- Miguel, L. F. “Resgatar a participação: democracia participativa e representação política no debate contemporâneo”. *Lua Nova*, São Paulo, ed. 100, p. 83-118, 2017.
- Montambeault, F. “Uma Constituição cidadã? Sucessos e limites da institucionalização de um sistema de participação cidadã no Brasil democrático”. *Estudos Ibero-Americanos*, Porto Alegre, v. 44, ed. 2, p. 261-272, maio/ago. 2018.
- Oliveira, D. J. S. “Governo Aberto: O Princípio da Participação”. In: *VIII Encontro de Administração Pública da Anpad - ENAPG*, 2019, Fortaleza.
- Pereira, J. S.; Vieira, R. S. “Democracia participativa: reflexões acerca do surgimento dos conselhos de participação popular no ordenamento jurídico brasileiro”. In: Wolkmer, A. C.; Vieira, R. S. *Direito humanos e Sociedade: Volume II*. Criciúma, SC: UNESC, 2020. p. 175-199.

## DEMANDAS REGIONAIS DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA ANÁLISE DIDÁTICA VIA 'SERIOUS GAMES'

José Gescilam Sousa Mota Uchôa<sup>1</sup>, Emanuel Júnior Silva Soares<sup>1</sup>, Ianca Peixoto Miranda<sup>1</sup>, Dimaghi Schwambach<sup>1</sup>, Edson Cezar Wendland<sup>1</sup>, Eduardo Mario Mendiando<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos (SP), Brasil gescilam@gmail.com; emanueljr@usp.br, iancapmiranda@usp.br, dimaghi@usp.br, ew@sc.usp.br, emm@sc.usp.br

### RESUMO:

O presente trabalho propôs um serious games através de um balanço hídrico simplificado como ferramenta de gestão dos recursos hídricos para auxiliar na tomada de decisão de problemas tais como os atuais fortes fluxos migratórios. Nessa proposta pedagógica cinco bacias hidrográficas brasileiras foram avaliadas considerando distintos cenários de demandas hídricas, capacidade de armazenamento do solo e de variações climáticas. O *serious games* foi aplicado em uma turma de engenheiros ambientais da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Os resultados indicaram que apesar das simplificações, o *serious games* proposto apresentou elementos suficientes para a tomada de decisão dos fluxos migratórios baseados no balanço hídrico. E o retorno dos alunos, através de um questionário aplicado, indica que apesar de o *serious games* ser uma ferramenta ainda em desenvolvimento, o mesmo foi capaz de auxiliar no aprendizado deles. Além disso, os resultados indicam a potencialidade dessa ferramenta como auxiliadora nas tomadas de decisões e na melhor comunicação com os tomadores de decisão.

### ABSTRACT:

The present work proposed serious games through a simplified water balance as a water resources management tool to assist in decision making on problems such as the current strong migratory flows. In this pedagogical proposal, five Brazilian hydrographic basins were evaluated considering different scenarios of water demands, soil storage capacity and climatic variations. The serious games was applied to a group of environmental engineers at the São Carlos School of Engineering at the University of São Paulo. The results indicated that despite the simplifications, the proposed serious games presented sufficient elements for decision-making on migratory flows based on the water balance. The students' feedback, through a questionnaire applied, indicates that despite serious games being a tool still under development, it was able to assist in their learning. In addition, the results indicate the potential of this tool as an aid in decision-making and better communication with decision makers.

**PALAVRAS CHAVES:** *Serius Games*; fluxo migratório; mudanças climáticas

## INTRODUÇÃO

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos do Brasil, estabelecida pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a água é um bem de domínio público, a ser considerada como um recurso limitado e com dotação econômica. Assim, o desenvolvimento de mecanismos que visem seus usos múltiplos, a longo prazo, de forma racional é de suma importância para garantir o desenvolvimento socioeconômico do país.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é um instrumento facilitador para assegurar a disponibilidade de água em vista às demandas e diversidades do país no tocante às variações climáticas, uso e ocupação do solo. De forma que, estudos com base no gerenciamento dos recursos hídricos de maneira sustentável devem ser planejados como forma de assegurar a qualidade de vida para gerações futuras (Souza et al., 2019).

As características de uso e ocupação do solo influenciam na resposta hidrológica da bacia, portanto, em cenários com degradação e impermeabilização das superfícies há impactos na capacidade de armazenamento do solo. Isso em conjunto com as mudanças climáticas e as diversas demandas causadas pela urbanização podem ocasionar a saturação das bacias, bem como interferências nos serviços ecossistêmicos (Rodrigues et al., 2021).

Em um contexto em que diferentes drivers (mudanças climáticas, guerras dentre outros) causam fluxos migratórios cada vez mais importante globalmente, o presente trabalho traz uma ferramenta já bem estabelecida na literatura como um dos possíveis métodos de análise para as políticas migratórias.

Porém, a complexidade no entendimento dos recursos hídricos bem como sua importância na formação técnica e social compreende uma barreira para o estabelecimento de políticas públicas que tratem da manutenção dos recursos hídricos. Em atenuação, a abordagem pedagógica facilitada por *serious games* promove o aprendizado no ensino interdisciplinar da engenharia de maneira contextualizada e facilitada (Medema et al., 2019).

A ideia de *serious games* foi introduzida por Abt (1970), e baseia-se em tecnologias didáticas que podem abordar conteúdos relevantes, de forma a contribuir para o processo de ensino-aprendizagem, aplicações para resolução de problemas em industriais e tomada de decisão por parte de gestores públicos.

Laamarti, Eid e Saddik (2014) realizaram um levantamento geral sobre os *serious games* e explicitaram que nas últimas décadas o desenvolvimento dos referidos jogos apresenta crescimento exponencial, ressaltaram que essas ferramentas se tornam bem-sucedidas por focarem no entendimento do usuário, estimulam a recordação do aprendizado, fornecem feedback e orientam o processo de aprendizagem.

Os *serious games* constituem jogos, aplicativos, planilhas interativas que não necessariamente apresentam teor exclusivo de entretenimento, porém, utiliza-se da premissa de promoção de diversão para introduzir conteúdos técnicos de relevância a exemplo do gerenciamento dos recursos hídricos.

Magnuszewski et al. (2018) analisaram práticas relacionais de governança da água com uma abordagem baseada em jogos de aprendizagem social e observaram que os conflitos de interesses entre os *stakeholders* estão relacionados com a diversidade do sistema, de forma que o equilíbrio entre o conflito de tarefas e o conflito relacional torna-se importante para a formulação de práticas e tomada de decisão.

A partir de simulações com jogos, Gomes et al. (2018) buscaram otimizar a capacitação de comunidades no tocante à gestão das águas e verificaram que os *serious games* permitem que a população note a partir de um meio prático, as problemáticas locais de forma que as interações entre os diversos atores permitem a comparação entre as diversas estratégias para resolução dos problemas relacionados à água e seus usos.

Pelo exposto, o trabalho buscou abordar através de uma explanação pedagógica a capacidade de cinco bacias hidrográficas brasileiras de se tornarem agropoles (ou seja, ter a capacidade de receber



um fluxo imigratório planejado e controlado) em 2050 considerando distintas demandas, capacidade de armazenamento do solo e cenários de variações climáticas.

## METODOLOGIA

O trabalho em questão trata-se de uma abordagem pedagógica aplicada na disciplina de Recursos Hídricos: Aspectos Quantitativos (Mendiondo, 2022), do programa de Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

O *Virtual Water Problem* (VWP) retratou uma narrativa de mudanças ocasionadas em bacias hidrográficas pela chegada de imigrantes ao longo de anos (2050), no qual o engenheiro ou tomador de decisão precisa decidir se a bacia hidrográfica é apta para se tornar um agropole em um contexto de mudanças climáticas e de forte crescimento das demandas por água.

Para isso, foram avaliadas o comportamento do balanço hídrico em distintas bacias hidrográficas brasileiras. Foram estudadas cinco unidades localizadas em diversos estados: Longá (PI), Igarapé Santa Rosa (AC), Pípiripau (DF), Guariroba (MS) e Cancã-Moinho (SP) de tal forma que o tomador de decisão tenha uma visão geral sobre a disponibilidade hídrica brasileira.

Para cada bacia determinou-se a capacidade máxima de armazenamento do solo ( $Smáx$ ) pela metodologia *Soil Conservation Service* (CN-SCS). O uso e ocupação do solo das bacias supracitadas foi extraído do trabalho de Pegada Hídrica das Bacias Hidrográficas (FBB-WWF, 2014). Para a estimativa do tipo do solo de acordo com o CN-SCS e para a determinação dos CNs (*Curve Number*) usou-se as tabelas disponibilizadas por Collischonn e Dornelles (2015).

Foram estabelecidos dois cenários nessa narrativa pedagógica, o primeiro criado para 2020 levou em consideração temperaturas médias reais dos últimos cinco anos (2015-2020), extraídas da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Já o segundo cenário, simulado para 2050, levou em conta o acréscimo de 1 e 2,5°C devido às projeções de mudanças climáticas.

A fim de avaliar a capacidade de cada bacia de se tornar um agropolo um sistema de penalidade foi aplicado (*water penalty pricing*) com base no *HydroSOS Program* que estimou compensações ambientais para um déficit anual de água de US\$ 106.900/mm, e para um excesso de US\$117.995/mm.

Para o estudo do cenário futuro e para fins de comparação entre as bacias, foi considerada o  $Smáx$  de 2050 como 80 e 120% do  $Smáx$  de 2020, ou seja, na hipótese de melhora do uso e ocupação do solo, e por consequência da melhora da capacidade de armazenamento de água, e na hipótese de piora da situação atual. Além disso, foi avaliada a capacidade da bacia de receber um fluxo imigratório no futuro, a partir da demanda média mensal de 0 a 300 mm.

Diante disso, procedeu-se os cálculos necessários para realização do balanço hídrico nos diversos cenários. Um resumo dos principais passos é explicitado na Tabela 1. Para mais informações consultar Mendiondo (2022).

Assim pode-se elaborar matrizes de contingência para as cinco bacias hidrográficas e cenários supracitados a partir da diferença entre as penalidades de 2020 e 2050, ou seja, um valor negativo representa que as penalidades de 2050 são menores do que as de 2020, isso indicaria que a entrada do fluxo migratório através da criação do agropole nesta bacia seria benéfica em termos de balanço hídrico.

**Tabela 1.** - Principais equações utilizadas para o balanço hídrico anual (Mendiondo, 2022)

Variável	Consideração	
Pressão de saturação do vapor d'água (eas, Pa)	$eas=611.e^{[(17,27 T)/(237,3+T)]}$	[1]
Umidade relativa (HR, %)	$HR = (ea /eas)$	[2]
Precipitação (P, mm)	Entre 0 % ≤ RH < 20 %: P = 0 Entre 20 % ≤ RH < 100 %: $P = 0,004.RH^3 - 0,4965.RH^2 + 21,398.RH - 249,41$	[3]

Legenda: T = temperatura; RH = umidade relativa. \*Para fins de cálculos, a pressão de vapor d'água (ea) foi considerada constante ao longo dos cenários, variando a pressão de vapor de saturação (eas).

A fim de avaliar o caráter pedagógico do *serious games* proposto, ele foi apresentado para a turma de Recursos Hídricos ministrado pelo Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo na turma de engenharia ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Em seguida, o seguinte questionário foi aplicado.

**Tabela 2.** – Questionário aplicado sobre a percepção do *serious games*

Questão	Alternativas	Categoria
1. Você tem conhecimento sobre a ideia de <i>serious games</i> ?	Sim, tenho familiaridade com o tema.	3
	Sim, mas nunca vi aplicações práticas.	2
	Não.	1
2. Diante dos <i>serious games</i> apresentado você acredita que houve facilitação do processo de ensino do assunto abordado?	Sim, a ferramenta contribuiu para a compreensão do conteúdo.	3
	Sim, mas acredito que não seria uma estratégia suficiente para facilitar o entendimento.	2
	Não.	1
3. Você considera que os <i>serious games</i> podem ser utilizados como ferramenta para resolução de problemas de engenharia?	Sim, os <i>serious games</i> podem fazer relações com situações reais.	3
	Sim, mas não seria uma forma segura de fazer inferências reais.	2
	Não.	1

4. Diante do potencial dos <i>serious games</i> de simular cenários, você acredita que essa ferramenta pode auxiliar gestores públicos na tomada de decisão?	Sim, os <i>serious games</i> podem auxiliar gestores na tomada de decisão.	3
	Sim, mas acredito que essas ferramentas não apresentam critérios técnicos suficientes para serem utilizadas em exclusivo.	2
	Não.	1

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Serious games* como ferramenta para auxiliar na tomada de decisão

As mudanças climáticas e o uso e ocupação do solo são importantes fatores ambientais que impactam as bacias hidrográficas (Wang et al, 2014), portanto, estudar como essas mudanças interferem na disponibilidade hídrica é fundamental para uma gestão de recursos hídricos mais consciente.

Integrando essa problemática ao balanço hídrico simplificado, foi possível observar que o padrão exposto na Tabela 3, a qual retrata a matriz de contingência para as cinco bacias estudadas, apresentou variações de comportamento de acordo com as regiões da qual estão localizadas.

A bacia hidrográfica do Longá por estar em uma região do semiárido nordestino, do qual tem predominância de eventos de escassez hídrica, secas meteorológicas prolongadas (Zanella, 2014) e altas temperaturas ao longo do ano inteiro (Marengo et al., 2018), com índice de aridez  $AI = P/PET = 0,56$  (onde P é a precipitação anual e PET é a evapotranspiração potencial anual) apresenta déficit hídrico em praticamente todos os cenários e mesmo com pouca demanda, dessa forma é suposto que essa região não suportaria fluxos de imigração futuros.

Em contraposição, às bacias de Pípiripau ( $AI = 2,5$ ) e Cancã-Moinho ( $AI = 2,85$ ) demonstraram capacidade de comportar maiores demandas com máximo em torno de 150 mm. A chegada de imigrantes nessas áreas resultaria em melhores condições hídricas para a bacia de acordo com o balanço hídrico simplificado calculado. Essa informação é extraída a partir dos valores negativos no topo da tabela, o que representa que o déficit no futuro é menor que o do passado.

Por outro lado, as bacias de Igarapé Santa Rosa ( $AI = 1,0$ ) e Guariroba ( $AI = 1,1$ ) apresentaram comportamento similares com deltas negativos de penalidade somente para demandas médias mensais menores que 15 mm.

Os resultados expostos demonstram o potencial da ferramenta *serious games* como forma de promover discussões complexas para diversos cenários. Tanto no que diz respeito à localização geográfica das bacias, com suas características climáticas e diferentes cobertura do solo.

Dessa forma é didaticamente possível embasar as simulações de diversos cenários com dados reais e apresentar os resultados e discussões aos tomadores de decisão de forma simplificada. Isso poderia auxiliar na resolução de problemas e na comunicação entre a equipe técnica e os gestores.

Promover discussões sobre adequação das demandas bem como a limitação da capacidade suporte das bacias hidrográficas podem contribuir para a gestão adequada dos recursos hídricos.

**Tabela 3.** - Matriz de contingência em milhões de dólares para as bacias hidrográficas avaliadas em função da demanda média mensal (mm) e da capacidade de armazenamento máximo de água  $Smáx$  (mm).

2050 + 1°C		Smáx														
		Igarapé Santa Rosa			Longá			Pipiripau			Guariroba			Cancã-Moinho		
Demanda média mensal (mm)	0	-5.3	-7.0	-8.7	49.6	47.6	45.7	-48.8	-51.6	-54.4	-11.4	-13.0	-14.6	-61.4	-61.7	-62.1
	15	5.4	4.1	3.1	70.8	68.9	66.9	-53.1	-55.9	-58.7	1.4	-0.3	-1.9	-68.9	-71.1	-73.3
	25	14.9	13.9	12.9	85.0	83.0	81.1	-52.4	-55.2	-58.0	11.4	9.8	8.2	-68.2	-70.4	-72.7
	50	42.5	41.5	40.5	120.4	118.4	116.5	-50.8	-53.6	-56.3	40.4	39.7	39.0	-66.6	-68.8	-71.0
	75	73.7	73.3	72.8	155.8	153.8	151.9	-42.5	-45.3	-48.1	75.8	75.1	74.4	-59.9	-62.1	-64.3
	100	109.1	108.7	108.2	191.2	189.2	187.3	-29.6	-32.4	-35.2	111.2	110.5	109.8	-52.6	-54.8	-57.0
	125	144.5	144.1	143.6	226.6	224.6	222.7	-16.7	-19.5	-22.3	146.6	145.9	145.2	-40.6	-42.8	-45.0
	150	179.9	179.5	179.0	262.0	260.0	258.1	-3.8	-6.6	-9.3	182.0	181.3	180.6	-26.3	-28.5	-30.8
	175	215.3	214.9	214.4	297.4	295.4	293.5	9.7	7.0	4.2	217.4	216.7	216.0	-2.2	-4.4	-6.6
	200	250.7	250.3	249.8	332.8	330.8	328.9	28.8	26.0	23.7	252.8	252.1	251.4	22.0	19.8	17.5
	225	286.1	285.7	285.2	368.2	366.2	364.3	53.9	52.2	50.6	288.2	287.5	286.8	46.1	43.9	41.7
	250	321.5	321.1	320.6	403.6	401.6	399.7	80.7	79.1	77.4	323.6	322.9	322.2	70.3	68.1	65.9
275	356.9	356.5	356.0	439.0	437.0	435.1	109.6	107.9	106.2	359.0	358.3	357.6	94.4	92.2	90.0	
300	392.3	391.9	391.4	474.3	472.4	470.5	139.3	137.7	136.0	394.4	393.7	393.0	118.6	116.4	114.2	

Nesse sentido, os gestores públicos e tomadores de decisão conseguem visualizar, de forma razoavelmente simples, quais seriam as vantagens de implementar políticas públicas que favoreçam um melhor uso do solo. Com medidas que podem variar desde IPTU hidrológico, como alternativa à crescente impermeabilização nas cidades, até políticas migratórias, para aproveitar as potencialidades produtivas da região.

Em relação ao cenário de 2.5°C de mudanças climáticas, as bacias apresentaram os mesmos comportamentos, entretanto o balanço hídrico foi comprometido, e por consequência, a capacidade da região de receber um fluxo migratório.

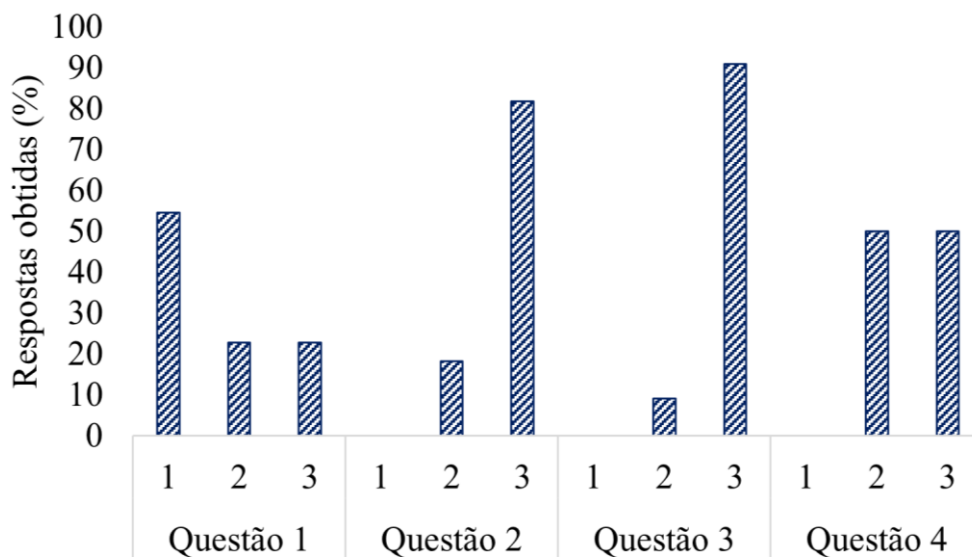
### Percepção dos discentes sobre *serious games*

A partir do questionário aplicado pode-se observar o entendimento dos alunos de engenharia sobre o *serious games*. Houve 22 participantes no total. Como exposto na metodologia as respostas foram convertidas em categorias, a Figura 1 apresenta o percentual de respostas obtidas para cada categoria.

Em relação a questão 1, nota-se que 54,5% dos entrevistados se enquadram na categoria 1, isso infere que a maior parte dos alunos não tinham conhecimentos prévios sobre os *serious games*, evidenciando que embora essas ferramentas estejam sendo desenvolvidas, a temática não está sendo repassada de forma efetiva para as salas de aulas.

Além disso, 22,7% dos entrevistados se enquadram nas categorias 2 e 3, indicando que conheciam o tema em questão, mas tinham pouca familiaridade ou nunca tinham visto aplicações práticas, respectivamente.

Como forma de validar se os *serious games* contribuem para a compreensão dos conteúdos de engenharia (questão 2), 81,8% dos alunos estiveram na categoria 3, esses informaram que a ferramenta é viável para facilitar o ensino de engenharia, e apenas 18,2% deles informaram que embora contribua, a ferramenta em questão não pode ser utilizada como forma exclusiva para compreensão do conteúdo.



**Figura 1.** - Avaliação da percepção de alunos de engenharia em relação aos *serious games*

A resolução de problemas de engenharia, por muitas vezes é uma atividade complexa de forma que o mercado é carente de ferramentas que otimizem as problemáticas. Nesse contexto, a questão 4 objetivou saber dos alunos se os *serious games* são potenciais ferramentas que contribuem para a resolução de problemas, 90,9% dos alunos concentraram as respostas na categoria 3, indicando que essas ferramentas podem fazer relações com situações reais, facilitando a resolução de problemas, e 9,1% responderam que que embora possam ser utilizados como agente facilitador não conferem segurança de aproximação a situações reais.

Por fim, a questão 5 buscou observar se os *serious games*, pelo potencial de simular cenários, servem como ferramenta para apoiar gestores públicos na tomada de decisão. Perante isso, observou-se que 50% dos entrevistados veem que essa afirmativa é válida (categoria 3), e os demais 50% acreditam que essas ferramentas em isolado não podem justificar a tomada de decisão (categoria 2).

De forma geral, a aplicação do questionário permitiu avaliar que embora os entrevistados tenham pouco conhecimento sobre os *serious games*, esses veem a proposta em questão como ferramenta para apoiar o ensino de engenharia, facilitar a atuação do engenheiro no mercado de trabalho e sustentar tomada de decisão por parte de gestores públicos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O VWP aplicado reforça a importância do balanço hídrico na formação técnica e social do engenheiro apresentando um *serious games* que permite aos futuros profissionais avaliar as diferenças regionais do Brasil, a influência do uso e ocupação do solo, da demanda hídrica e das mudanças climáticas no balanço hídrico.

Apesar das simplificações, o *serious games* proposto cumpriu com seus objetivos uma vez que as respostas dos questionários foram satisfatórias indicando que o mesmo contribuiu para o aprendizado dos alunos. Ademais, os resultados indicam a potencialidade dessa ferramenta pedagógica na tomada de decisão.

Além do mais, o presente estudo reforça a importância do balanço hídrico como instrumento de políticas públicas. Em um contexto atual de fortes fluxos migratórios, o modelo apresentado apesar das suas simplificações permite aos gestores avaliar a capacidade das bacias hidrográficas de receberem um fluxo migratório tomando como critério o balanço hídrico da região.

## TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro pretende-se expandir o trabalho para o conjunto de dados de bacias brasileiras *Catchments Attributes for Brazil* (CABra) que contém dados de 735 bacias ao longo de todo território nacional e uma série temporal de 30 anos (Almagro et al., 2021).

O uso do CABra permitiria também o estudo da precipitação e evapotranspiração através da sua série histórica (1980 - 2010). Como dados futuros, pretende-se usar diferentes cenários do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6) que é o conjunto de modelos globais utilizado nas análises de mudanças climáticas do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

Além disso, pretende-se adequar esse sistema de penalidade para o caso brasileiro de acordo com as regiões do país e características das bacias. Ademais, as projeções de uso e ocupação do solo para as bacias poderiam se basear no trabalho de Bezerra et al. (2021).

O produto final desejado, então, seria um algoritmo com interface simples onde o usuário pode mudar os parâmetros de entrada e simular (“jogar”) com cenários hipotéticos nas diversas bacias brasileiras.

Um estudo detalhado nas instituições de ensino e nos órgãos gestores dos recursos hídricos poderia ser realizado para confirmar a potencialidade da ferramenta do *serious games*.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## REFERENCIAS

- Abt, C. C. (1970). *Serious Games*. Califórnia: Viking compass book.
- Almagro, A., P. T. S. Oliveira, A. A. Meira Neto, T. Roy e P. Troch (2021) “CABra: a novel large-sample dataset for Brazilian catchments”. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 25, p. 3105–3135.
- Bezerra, F. G. S., Von Randow, C., Assis, T. O., Bezerra, K. R. A., Tejada, G., Castro, A. A., Gomes, D. M. P., Avancini, R., Aguiar, A. P.. (2021). “LuccME/INLAND land-use scenarios for Brazil 2050 (Version v1.0.0) [Data set]”. Zenodo.
- Brasil. (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*. Brasília – DF.
- Collischonn, W. e F. Dornelles (2015). *Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais*. Porto Alegre: ABRHidro.
- Fundação Banco do Brasil / World Wild Fund (FBB-WWF) (2014). *Pegada Hídrica de Bacias Hidrográficas*. Brasília-DF, 72p.
- Gomes, S. L., L. M. Hermans, K. F. Islam, S. N. Huda, Z. Hossain, Wil A. H. Thissen (2018). “Capacity Building for Water Management in Peri-Urban Communities, Bangladesh: A Simulation-Gaming Approach”. *Water*, v. 10, n. 1704, p. 1-20.
- Magnuszewski, P., K. Królikowska, A. Koch, M. Paj, C. Allen, V. Chraibi, A. Giri, D. Haak, N. Hart, M. Hellman, D. Pan, N. Rossman, J. Sendzimir, M. Sliwinski, J. Stefanska, T. Taillieu, D. M. Weide. I. Zlatař (2018). “Exploring the Role of Relational Practices in Water Governance Using a Game-Based Approach”. *Water*, v. 10, n. 348, p. 1-27.
- Marango, J. A.; Alves, L. M.; Alvala, R. C.S; Cunha, A. P.; Brito, S.; Moraes, O. L.L. (2018) “Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region”. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [S.L.], v. 90, n. 21, p. 1973-1985, ago.
- Medema, W., I. Mayer, J. Adamowski, A. E. J. Wals e C. Chew (2019). “The Potential of Serious Games to Solve Water Problems: editorial to the special issue on game-based approaches to sustainable water

governance”. *Water*, v. 11, n. 12, p. 2562.

**Mendiondo, E M** (2022). 1st Virtual Water Problem: 3rd Generation Water Balance, SHS5890 Recursos Hídricos: Aspectos Quantitativos, PPG EESC USP, Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1XEqkzXa3dlrijUeLtW97oihPurZ9rW1X/view?usp=sharing>

**Laamarti, F., M. Eid., A. E. Saddik** (2014). “An Overview of Serious Games”. *International Journal of Computer Games Technology*, v. 2014, p. 1-15.

**Rodrigues, A. F., A. E. Latawiec, B. J. Reid, A. Solórzano, A. E. Schuler, C. Lacerda, E. C. C. Fidalgo, F. R. Scarano, F. Tubenchlak, I. Pena, J. L. Vicente-Vicente, K. A. Korys, M. Cooper, N. F. Fernandes, R. B. Prado, V. Maioli, V. D. e G. Wenceslau** (2021). “Systematic review of soil ecosystem services in tropical regions”. *R. Soc.*, v. 8, n. 3.

**SCS.** (2014) *National engineering handbook*, Section 4: Hydrology, Soil Conservation Service. USDA, Washington, DC. 1956, 1964, 1971, 1985, 1993, 2004

**Souza, K. R., R. F. Ratke, G. S. Lisboa e K. K. S. Almeida** (2019). “Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí-Preto, Piauí”. *Nativa*, Sinop, v. 7, n. 5, p. 567-573.

**Wang, R.; Kalin, L.; Kuang, W.; Tian, H.** (2014). “Individual and combined effects of land use/cover and climate change on Wolf Bay watershed streamflow in southern Alabama”. *Hydrological Processes*, v. 28, p. 5530-5546.

**Zanella, M.E.** (2014) “Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino”. *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, n.36, pp.126-142.

# DETERMINAÇÃO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE PARA MICROBACIAS

Pauline Gottstein, Maristela Denise Moresmo Mezzomo e Eudes José Arantes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
paulinegottstein@gmail.com; maristelamezzomo@gmail.com; eudesarantes@gmail.com

## Introdução

A água com qualidade adequada e em quantidade suficiente é essencial à todos os aspectos da vida e da sustentabilidade. Os recursos hídricos estão incorporados em todas as formas de desenvolvimento (por exemplo, segurança alimentar, promoção da saúde e redução da pobreza), sustentando o crescimento econômico na agricultura, indústria, geração de energia e mantendo ecossistemas saudáveis (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018).

A relevância dos índices e indicadores para o processo de tomada de decisão é uma de suas características mais importantes em relação a outras formas de informação, já que eles podem ser ferramentas poderosas de decisão política. Para isso, devem condensar e decodificar dados relevantes, medindo, quantificando, qualificando e transmitindo informações de uma maneira fácil de entender (KURKA E BLACKWOOD, 2013; NICHOLSON et al., 2012).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo determinar um índice de sustentabilidade ambiental para microbacias, por meio de indicadores representativos das condições ambientais, sociais e econômicas, a fim de subsidiar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos e a adoção de políticas públicas.

## Materiais e Métodos

Para determinar um índice de sustentabilidade ambiental para microbacias foram analisados estudos anteriores sobre o tema, adaptando índices e indicadores já propostos; tomando como base as recomendações presentes na Agenda 21 das Nações Unidas e os princípios metodológicos propostos pelo modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR) da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

O índice de sustentabilidade determinado neste estudo, utilizou como premissa a proposta de Couto (2007), sendo constituído de três dimensões que caracterizam o uso e ocupação do solo (fator de uso do solo), a condição física da área (fator de fragilidade potencial) e a condição de desenvolvimento humano (fator de desenvolvimento humano).

Foram considerados critérios para definição dos indicadores: relevância – capacidade de traduzir o fenômeno; adesão a escala de aplicação – capacidade de capturar o fenômeno produzido ou que pode ser transformado para a escala de aplicação; disponibilidade – cobertura e pontualidade dos dados; e capacidade de permitir comparações no tempo – periodicidade de produção.

Após a definição dos indicadores que compõem as dimensões foram definidos os graus de importância e a atribuição de pesos para cada indicador, bem como, as escalas de classificação dos resultados de cada dimensão.

A essas três dimensões atribuiu-se pesos iguais para composição do índice e utilizou-se a bacia hidrográfica como unidade básica de análise, sendo o índice de sustentabilidade a média das três dimensões.

Assim, considera-se que através da aplicação da presente proposta metodológica é possível identificar os graus de sustentabilidade de bacias hidrográficas, de acordo com a dimensão de análise desejada.

## Resultados e Discussão

O índice de sustentabilidade proposto, se caracteriza como um índice sintético, composto por doze indicadores divididos em três fatores (Figura 1). Os indicadores foram transformados em índices e, então, agregados. Em seguida, os fatores foram associados por meio da aplicação de uma média aritmética, formando o índice sustentabilidade ambiental, expresso na forma de um número entre zero e um, onde quanto mais próximo da unidade melhor a condição de sustentabilidade da bacia (Equação 1).

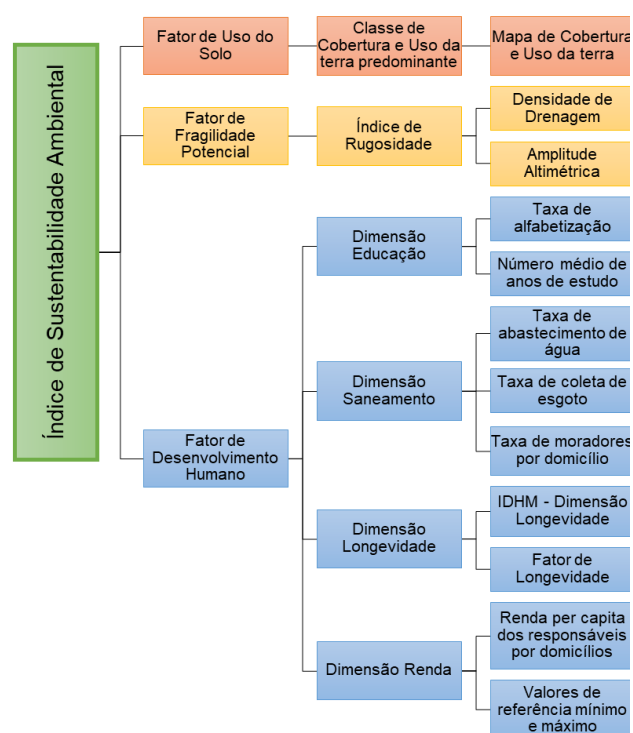


Figura 1.- Organograma do Índice de Sustentabilidade Ambiental

$$ISA = \frac{FUS+FFP+FDH}{3} \quad [1]$$

em que ISA é o índice de sustentabilidade ambiental, sendo  $0 \leq ISA \leq 1$ ; FUS é o fator de uso do solo; FFP é o fator de fragilidade potencial; FDH é o fator de desenvolvimento humano.

O fator de uso do solo corresponde às pressões exercidas pelo modelo de desenvolvimento, o fator de fragilidade potencial corresponde ao estado do meio ambiente, e o fator de desenvolvimento humano corresponde tanto ao impacto do modelo de desenvolvimento adotado sobre a sociedade, como ao efeito das ações desencadeadas.

O fator de uso do solo (FUS) foi determinado pelo peso atribuído a classe de cobertura e uso da terra predominante na microbacia (Equação 2).

$$FUS = S \quad [2]$$

em que S é o peso atribuído a classe de uso da terra predominante na microbacia, sendo  $0 \leq S \leq 1$ .



O mapeamento e classificação da cobertura e uso da terra fornecerá as informações necessárias à composição do FUS (Tabela 1).

**Tabela 1.-** Peso atribuído por Classe de Uso da Terra

Classes de Cobertura e Uso da terra	Peso
Floresta	1,00
Silvicultura e Cultura Permanente	0,775
Pastagem e Cultura Temporária	0,55
Área Descoberta	0,325
Área Urbana	0,10

A determinação do fator de fragilidade potencial (FFP) se deu em função do cálculo do índice de rugosidade (Equação 3, 4 e 5), ao qual atribuiu-se pesos (Tabela 2).

$$FFP = R \quad [3]$$

$$IR = H \times Dd \quad [4]$$

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad [5]$$

em que R é o peso atribuído ao índice de rugosidade da microbacia, sendo  $0 < R < 1$ ; IR é o índice de rugosidade da microbacia; H é a amplitude altimétrica da microbacia; Dd é a densidade de drenagem na microbacia; A é a área da microbacia; Lt é o comprimento total dos canais por microbacia.

**Tabela 2.-** Peso atribuído por Classe de Rugosidade

Classes de Rugosidade	Peso
Muito forte	0,20
Forte	0,40
Média	0,60
Fraca	0,80
Muito fraca	1,00

O fator de desenvolvimento humano (FDH) foi determinado por meio de uma adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e informações do Censo Demográfico do ano 2010 (Equação 6).

$$FDH = \frac{IDHE + IDHS + IDHL + IDHR}{4} \quad [6]$$

em que IDHE é a dimensão educação; IDHS é a dimensão saneamento; IDHL é a dimensão longevidade; IDHR é a dimensão renda.

As unidades analisadas foram classificadas de acordo com as cinco faixas de desenvolvimento humano municipal (Tabela 3).

**Tabela 3.-** Faixas atribuídas por Classe de Desenvolvimento Humano

Classes de Desenvolvimento Humano	Faixa
Muito alto	$\geq 0,800$
Alto	0,700 – 0,799
Médio	0,600 – 0,699
Baixo	0,500 – 0,599
Muito baixo	$\leq 0,499$

Após a obtenção dos valores referentes as três dimensões pode-se agregar os resultados, através da fórmula geral (Equação 1), visando a determinação do índice de sustentabilidade ambiental de uma microbacia.

À medida que se tem mais informações e controle sobre a situação dos recursos hídricos e microbacias, com base em resultados fornecidos por indicadores de sustentabilidade ambiental, a gestão pode ser aperfeiçoada em um processo de melhoria contínua, amparada em uma visão sistêmica, em bases consolidadas e confiáveis.

## Conclusão

O objetivo deste estudo foi alcançado, por meio da determinação de um índice de sustentabilidade ambiental para microbacia possibilitando a identificação dos níveis de sustentabilidade e áreas críticas com relação à sustentabilidade, dando suporte ao planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

Dessa forma, o emprego das dimensões e indicadores, tal como foi desenvolvido nesse trabalho, permite auxiliar na comunicação e na visualização de elementos importantes relativos à situação dos recursos hídricos no âmbito de microbacias.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015; e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR pelo apoio recebido.

## Referências

- Couto, O. F. V. (2007). "Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para Bacias Hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de geoprocessamento". *Dissertação (Mestrado em Geografia)* – UFRS. 172 p.
- World Economic Forum (2018). *The Global Risks Report 2018*. 13. ed. Geneva: WEF, 68 p.
- Kurka, T. and Blackwood, D. (2013). "Participatory selection of sustainability criteria and indicators for bioenergy developments". *Renew. Sust. Energ. Rev.*, v. 24, p. 92-102.
- Nicholson, E.; Collen, B., Barausse, A.; Blanchard, J. L.; Costelloe, B. T.; Sullivan, K. M. E.; Underwood, F. M.; Burn, R. W.; Fritz, S.; Jones, J. P. G.; Mcrae, L.; Possingham, H. P.; and Milner-Gulland, E. J. (2012). "Making robust policy decisions using global biodiversity indicators". *PLoS ONE*, v. 7, n. 7, 10 p.