

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ÍNDICES DE QUALIDADE DE ATERROS (IQA) DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) APLICADO AOS LIXÕES NO ESTADO DA BAHIA: ANÁLISE ESTATÍSTICA

Mateus Almeida Cunha¹, Viviana Maria Zanta², Luciano Matos Queiroz³, Bianca Menezes Cunha Couto⁴

Abstract: The article presents a statistical analysis of the Índices de Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos (IQA) applied to 366 open dumps in the state of Bahia, Brazil. The study aims to evaluate the applicability of the IQA to open dumps, statistically analyzing the data made available for the state of Bahia, and further discussing the suitability of the IQA for classifying open dumps. The methodology involved the use of secondary data, obtained through the IQA from the Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia (PERS/BA). An exploratory analysis was conducted, calculating mean, median, mode, standard deviation, quartiles, kurtosis, and asymmetry coefficients. The spatialization used for systematization and analysis of the results was based on the Microrregiões de Saneamento Básico (MSB).

The results revealed an overall average IQA (for the entire state of Bahia) of 2.23 and a median of 2.29. These values classify the Final Disposal Areas (ADF) as being in inadequate conditions (IQA < 8.00), as proposed by Faria (2002). The low standard deviation (0.57) combined with the negative asymmetry of the distribution (A1, A2, and As) indicate homogeneous precarious operating conditions, with 75% of the open dumps showing an IQA below 2.71. The research concludes that, although PERS/BA utilized the IQA, it did not prove to be an adequate methodology for open dumps, being more appropriate for sanitary landfills. Nevertheless, the application of the index can guide public policies and urgent investments for the most critical ADFs and regions.

Resumo: O artigo apresenta uma análise estatística dos Índices de Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos (IQA) aplicado a 366 lixões do estado da Bahia. O objetivo do trabalho é avaliar a aplicação do IQA a lixões, analisando estatisticamente os dados disponibilizados para o estado da Bahia, aprofundando também a discussão sobre adequação do IQA para classificar lixões.

A metodologia consistiu em utilização de dados secundários, por meio dos IQA obtidos do Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia (PERS/BA), utilizando uma análise exploratória com cálculo de média, mediana, moda, desvio-padrão, quartis, curtose e coeficientes de assimetria. A espacialização utilizada para sistematização e análise dos resultados foi a das Microrregiões de Saneamento Básico (MSB).

Os resultados revelaram uma média geral de IQA (para todo o estado da Bahia) de 2,23 e mediana de 2,29, de forma que tais valores classificam as ADF como em condições inadequadas (IQA < 8,00), conforme proposto por Faria (2002). O baixo valor do desvio-padrão obtido (0,57) em conjunto com

¹ Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia (UFBA). Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (MAASA). Doutorando. mateuscunha@hotmail.com.br.

² Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia (UFBA). Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (MAASA). Professora. zanta@ufba.br.

³ Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia (UFBA). Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (MAASA). Professor. lmqueiroz@ufba.br.

⁴ Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (SEDUR). Coordenadora II. biancamenezesc@hotmail.com.

a assimetria negativa da distribuição (A_1 , A_2 e A_s) indicam que as condições precárias de operação são homogêneas, com 75% dos lixões apresentando IQA inferior a 2,71. A pesquisa conclui que, apesar de o PERS/BA ter utilizado o IQA, ele não se mostrou uma metodologia adequada para lixões, sendo mais apropriado para aterros sanitários. Contudo, a aplicação do índice pode direcionar políticas públicas e investimentos urgentes para as ADF e regiões mais críticas.

Palavras-Chave Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Índice de Qualidade de Aterros (IQA), Vazadouros a céu aberto (“lixões”).

INTRODUÇÃO

Estima-se que cerca de 40% dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados no Brasil possuem destinação inadequada. No ano de 2024 existiam, no país, 1.572 vazadouros a céu aberto (lixões) e 598 aterros controlados, ambos responsáveis por impactos ambientais adversos devido à degradação das áreas (BNDES, 2024).

Em 2024 existiam, no Brasil 1.572 vazadouros a céu aberto (lixões) e 598 aterros controlados, ambos responsáveis por impactos ambientais adversos devido à degradação das áreas. Estima-se que cerca de 40,0% dos RSU gerados no país possuem destinação inadequada (BNDES, 2024).

O estado da Bahia possui 417 municípios, sendo que 281 (67,4%) destinam RSU a lixões, 50 (12,0%) possuem Aterros Sanitários (AS), dois (0,5%) possuem Aterros Controlados (AC) ou Aterros Sanitários Simplificados (ASS) e não há informações sobre 84 (20,1%) municípios, conforme dados do Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia (PERS/BA), publicado em outubro de 2024. Ressalta-se que uma unidade de disposição final pode atender a mais de um município (compartilhada) (BAHIA, 2024a).

Quanto à tipologia e às quantidades de unidades de disposição final de RSU, no estado da Bahia, sabe-se que existiam mapeadas de acordo com o PERS/BA, pelo menos, 446 unidades identificadas como (BAHIA, 2024a; 2024b):

- i. Aterros Sanitários de Pequeno Porte (ASPP): duas unidades.
- ii. Aterros Sanitários de Pequeno Porte (ASPP) descaracterizados: 32 unidades.
- iii. Aterros Sanitários (AS): 21 unidades.
- iv. Aterros Sanitários (AS) descaracterizados: seis unidades.
- v. Aterro Sanitário, Aterro Industrial e de Resíduos da Construção Civil (RCC) / Aterro Sanitário e Industrial: duas unidades.
- vi. Aterro Sanitário Simplificado (ASS): uma unidade.
- vii. Aterro Sanitário Simplificado (ASS) descaracterizado: duas unidades.
- viii. Lixões: 375 unidades.
- ix. Lixões de podas / volumosos: duas unidades.
- x. Unidades de Tratamento de Resíduos: três unidades.

Um índice corresponde a um valor numérico que representa a interpretação da realidade de um sistema simples ou complexo, utilizando em seu cálculo bases científicas e métodos adequados, que serve para avaliar, calcular ou classificar determinado sistema ou evento. A utilização de índices de

qualidades pode levar os tomadores de decisão (governo, técnicos, operadores) à adequação das ADF quanto à segurança ambiental e à legislação, entre outros (Melo, 2017).

Diversos índices de avaliação de aterros foram (e vem sendo) utilizados no Brasil e no mundo, tais como: (i) *Landfill Water Pollution Index* (LWPI); (ii) *Environmental Landfill Impact Index* (ELI); (iii) *Environmental Risk Index* (ERI); (iv) *Environmental Value* (EV); (v) *Probability of Contamination* (PBC); (vi) Sistema de avaliação para classificação de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos; (vii) Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (IQR); (viii) Índice de Qualidade de Aterros de RSU (IQA); (ix) Índice de Impacto dos Resíduos Sólidos Urbanos sobre a Saúde Pública (IIRSP); (x) Índice de Qualidade no Sistema da Gestão Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (IQS); (xi) Índice de Qualidade de Aterros Industriais (IQRI); (xii) Índice de Qualidade no Sistema da Gestão Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos Industriais (IQSI); (xiii) Nova Proposta do Índice de Qualidade de Aterros de RSU do estado de São Paulo (IQR-Nova Proposta); (xiv) Matriz de Indicadores de Sustentabilidade para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos; (xv) Índice de Qualidade de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos do Estado do Rio de Janeiro (IQDR); (xvi) Índice de Qualidade de Aterro Sanitário de Resíduos em Valas (IQR-Valas); e (xvii) Índice de Qualidade de Aterro Sanitário de Resíduos em Valas na Nova Proposta (IQR-Valas-Nova Proposta) (Melo, 2020).

O Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) foi desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), aplicado (*checklist*) desde 1997, e indica as condições das instalações de destinação de resíduos sólidos domiciliares utilizados pelos municípios. Esse índice compõe o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que apresenta a avaliação dos locais de tratamento e disposição dos RSU nos municípios do estado de São Paulo. O IQR é obtido a partir da aplicação de um questionário padronizado, constituído de dados e informações relacionadas às características locacionais, estruturais e operacionais, cuja pontuação é variável de 0 a 10. De acordo com o índice obtido em campo (inspeção das instalações) os aterros podem ser classificados como operando em condições inadequadas (I) ($IQR \leq 7,0$) ou em condições adequadas (A) ($7,0 < IQR \leq 10,0$). (CETESB, 2022; CEMPRE; IPT, 2018).

O último Inventário de RSU da CETESB, publicado no ano de 2023, divulgou o *checklist* do IQR, cuja classificação é de grande importância, pois criou uma padronização nas avaliações das condições ambientais das instalações, diminuindo o nível de subjetividade e possibilitando o estabelecimento de comparações entre os aterros. O IQR é exemplificativo e aceita alterações. Faria (2002) propôs alterações no IQR original acrescentando alguns itens não contemplados, suprimindo outros e reorganizando-os (Vilhena, 2018), denominando-o de Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos (IQA), em substituição ao IQR. As principais características do IQR (CETESB, 2023) e do IQA (Faria, 2002) são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Quadro-síntese comparativo entre as principais características do IQR e do IQA

	IQA (Faria, 2002)	IQR (CETESB, 2023)
Grupos	(i) características do local (dez variáveis); (ii) infraestrutura implantada (16 variáveis); e (iii) condições operacionais (22 variáveis)	(i) estrutura de apoio (4 variáveis); (ii) frente de trabalho (3 variáveis); (iii) taludes e bermas (4 variáveis); (iv) superfície superior (4 variáveis); (v) estrutura de proteção ambiental (9 variáveis); (vi) outras informações (7 variáveis); e (vii) características da área (4 variáveis)
Quantidade de itens	3	7
Quantidade de variáveis	48	33

Pontuação	Condições Inadequadas: $IQA \leq 6,0$ Condições Controladas: $6,01 < IQA \leq 8,0$ Condições Adequadas: $8,01 < IQA \leq 10,0$	Condições Inadequadas (I): $IQR \leq 7,0$ Condições Adequadas (A): $7,0 < IQR \leq 10,0$
------------------	--	---

Fonte: Própria, a partir de dados de CETESB (2023) e Faria (2002).

Para o cálculo do IQA (Fórmula 1) cada subitem possui um peso para cada tipo de resposta, no qual cada resposta mais apropriada para cada um deles indica uma determinada nota daquele item específico. Após a obtenção da resposta a cada subitem somam-se os pontos de todos os grupos, dividindo o total pelo somatório dos pesos máximos (Melo, 2017).

$$IQA = \frac{[(S1+S2+S3) \times 10]}{\sum P_{máx} i} \quad (1)$$

Em que:

S1: somatório das notas dos critérios referentes ao subtotal das características daquele local.

S2: somatório das notas dos critérios referentes ao subtotal da infraestrutura daquele local.

S3: somatório das notas dos critérios referentes ao subtotal das condições operacionais da área.

$P_{máx}$: somatório dos pesos máximos de todos os critérios correspondente a 140 pontos.

Conforme explicitado por Faria (2002), para a pontuação do IQA, quando é desnecessária a resposta de um determinado subitem, atribui-se o valor máximo. Para itens sem precisão quanto da realização da coleta dos dados (na visita técnica ou inspeção documental da área), se sugere a adoção de uma avaliação mais conservadora, na qual se recomenda o preenchimento do IQA com pontuação zero.

O IQA proposto por Faria (2002) corresponde a um aprimoramento do IQR, no qual a diferença no processo de elaboração do IQR (CETESB, 1998) e do IQA (Faria, 2002) foi a comprovação científica da validade do Índice. Enquanto o IQR buscava valorar cada critério por meio da experiência dos gestores, fiscais e técnicos da CETESB ao longo do tempo, o IQA foi além: aproveitou essas experiências e utilizou o método científico para comprovar a aplicação. Para isso, a metodologia proposta por Faria (2002) para dar peso a cada critério acrescentado e mantido, após a inserção desses novos foi a utilização de ferramentas de análise multicriterial, tais como a Teoria de Análise Valor e a Matriz de Avaliação Funcional. A avaliação da qualidade das ADF por meio da aplicação do IQA avalia o atendimento das áreas quanto aos aspectos legais e normativos (Melo, 2017).

O IQA permite diagnosticar a situação da Área de Disposição Final (ADF) dos resíduos sólidos urbanos nos municípios, de forma a auxiliar no tratamento da área após a classificação. Além disso, ele afastou parcialmente o empirismo da avaliação de aterros sanitários ao classificar as áreas de destinação final dos resíduos sólidos como: inadequadas ou adequadas, confirme pontuação variável no intervalo entre 0 e 10 pontos (Faria, 2002).

Melo (2017) adaptou e aplicou o IQA para classificar aterros e lixões existentes no estado de Goiás, sob três condições possíveis: (i) aqueles notadamente considerados como lixão a céu aberto; (ii) aqueles que já possuíram processos de licenciamento aprovados como aterros sanitários ou controlados, mas que perderam a condição adequada ou controlada e (iii) aquelas ADF em condição inadequada, porém com melhores infraestruturas físicas e melhor estado de conservação.

A adaptação proposta por Melo (2017) considerou duas tabelas para aplicação do IQA, tendo em vista a Resolução SEMAm nº 5/2014, que flexibiliza procedimentos de licenciamento ambiental para municípios com população inferior a 100 mil habitantes. Sendo assim, uma tabela de IQA foi adaptada de Faria (2002) – população inferior a 100 mil habitantes - e outra – população acima de

100 mil habitantes – não sofreu alteração. Os parâmetros adaptados por Melo (2017) foram os de proximidade de corpos d’água (longe > 300m) e profundidade do lençol freático ($\geq 5,0\text{m}$; $1,5 \leq \Delta \leq 5,0$; e $< 1,5\text{m}$) para municípios com população inferior a 100 mil habitantes. O Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia (PERS/BA) utilizou a mesma adaptação proposta por Melo (2017).

Destaque-se, entretanto, que o $6,01 < \text{IQA} \leq 8,0$ apresenta o enquadramento das instalações em condições controladas, o que não é mais aceito no Brasil, desde a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei Federal nº 12.305/2010 e do cancelamento da ABNT NBR 8.849:1985 em 15/06/2015. Com isso, para Melo (2017) essa inconsistência no IQA foi sanada com a consideração dessa faixa de valor ($6,01 < \text{IQA} \leq 8,0$) da condição “controlada” como condição ambientalmente inadequada de disposição final de RSU. Isso também foi aplicado ao PERS/BA.

Este artigo possui como objetivo avaliar a aplicação do IQA a lixões, analisando estatisticamente os dados disponibilizados para o estado da Bahia, por meio do aprofundamento da discussão sobre adequação do IQA para classificar lixões.

MATERIAL E MÉTODOS

Os Índices de Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos (IQA) utilizados neste trabalho foram de dados secundários, obtidos do Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia (PERS/BA) (Bahia, 2024b), publicado em outubro de 2024 pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (SEDUR). O PERS/BA contém dados das unidades de disposição final de RSU, identificadas, classificadas e mapeadas, degradadas ou em estado de degradação, pela deposição de RSU, no estado da Bahia em 2024.

A Bahia possuía, em 2024, pelo menos, 417 (quatrocentas e dezessete) áreas degradadas pela deposição de RSU. Para efeitos deste trabalho foram selecionados os vazadouros a céu aberto (“lixões”) em operação e desativados, tendo em vista o maior potencial de degradação ambiental. Sendo assim, a quantidade de lixões foi de 375 (trezentas e setenta e cinco unidades). Entretanto, o PERS/BA não apresentou o IQA para todas elas, mas para 366 (97,6%) lixões, que foi a quantidade utilizada neste trabalho para fins de análise estatística.

Os lixões (em operação e desativados) estão distribuídos por todo o território do estado, na qual a espacialização utilizada (regionalização) neste trabalho foi a das Microrregiões de Saneamento Básico (MSB), criadas pela Lei Complementar (Bahia) nº 48/2019, alterada pela Lei Complementar nº 51/2022 em atendimento à Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445/2007). No total, existem 19 (dezenove) MSB acrescidas da Região Metropolitana de Salvador (RMS).

As análises dos dados foram realizadas por meio do programa (*software*) Excel da Microsoft Office 365, no qual foram calculadas as estatísticas básicas para a análise exploratória, tais como média, desvio padrão, momentos centrais de terceira e quarta ordens (coeficientes de assimetria e curtose), amplitude e coeficientes de correlação. Também se construíram gráficos, *boxplots* e histograma para auxiliar na análise.

Na análise dos dados optou-se pela não exclusão dos *outliers*, considerando-se que todos os dados foram obtidos diretamente em campo e que a exclusão de qualquer/quaisquer dele(s) implicaria erro conceitual.

RESULTADOS

Por meio da análise dos IQA disponíveis dos 366 (trezentos e sessenta e seis) lixões distribuídos nas 19 MSB e na RMS pode-se chegar aos seguintes resultados (Tabela 1).

Tabela 1 - IQA nas MSB, RMS e Dados Estatísticos (Bahia)

Índice de Qualidade de Aterros Sanitários (IQA) de Vazadouros a céu aberto ("lixões") de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da Bahia*														
n = 366														
Microrregião de Saneamento Básico (MSB)	Tamanho (n)	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Curtose	Coef. Var.	Variância	Coef. Assimetria (A1)	Coef. Assimetria (A2)	Coef. Quartílico de Assimetria (As)	Q1 (1º Quartil)	Q2 (2º Quartil)	Q3 (3º Quartil)
01 - Algodão	24	2,07	2,14	2,14	0,45	-0,22	0,22	0,21	-0,14	-0,43	-0,25	1,89	2,14	2,29
02 - Bacia do Paramirim	8	2,26	2,57	2,79	0,64	-2,03	0,28	0,41	-0,83	-1,45	-0,64	1,57	2,57	2,79
03 - Bacia do Rio Grande	15	2,75	2,93	2,57	0,47	1,61	0,17	0,22	0,39	-1,14	-0,67	2,57	2,93	3,00
04 - Bacia do Velho Chico	26	2,31	2,43	2,79	0,48	-0,55	0,21	0,23	-1,01	-0,78	-0,28	1,93	2,43	2,71
05 - Chapada Diamantina	27	2,34	2,50	2,50	0,50	-0,41	0,21	0,25	-0,31	-0,93	-0,37	2,04	2,50	2,72
06 - Extremo Sul	21	2,34	2,43	2,64	0,65	0,99	0,28	0,43	-0,46	-0,40	0,00	2,07	2,43	2,79
07 - Irecê	23	2,01	1,93	1,57	0,55	-1,06	0,27	0,30	0,79	0,42	0,21	1,57	1,93	2,48
08 - Litoral Norte e Agreste Baiano	16	2,48	2,61	2,86	0,49	0,52	0,20	0,24	-0,77	-0,75	-0,11	2,29	2,61	2,86
09 - Litoral Sul e Baixo Sul	39	2,00	2,07	1,71	0,72	-0,85	0,36	0,51	0,40	-0,30	-0,22	1,40	2,07	2,50
10 - Médio Sudoeste da Bahia	13	2,04	1,86	1,86	0,50	-0,72	0,25	0,25	0,37	1,10	0,80	1,79	1,86	2,50
11 - Piemonte do Paraguaçu	11	2,55	2,64	2,64	0,37	0,10	0,15	0,14	-0,25	-0,76	-0,58	2,36	2,64	2,72
12 - Piemonte-Diamantina	9	1,89	1,93	#N/D	0,64	-1,48	0,34	0,41	#N/D	-0,19	0,00	1,43	1,93	2,43
13 - Recôncavo	9	2,24	2,29	2,29	0,51	-1,07	0,23	0,26	-0,10	-0,30	-0,01	1,86	2,29	2,71
14 - São Francisco do Norte	19	2,44	2,71	1,93	0,61	-1,47	0,25	0,37	0,84	-1,32	-0,64	1,86	2,71	2,90
15 - Semiárido do Nordeste	23	1,98	1,93	2,36	0,43	-1,05	0,22	0,19	-0,88	0,34	0,19	1,64	1,93	2,36
16 - Sisal-Jacuípe	31	2,14	2,21	2,14	0,49	-0,48	0,23	0,24	-0,01	-0,45	-0,19	1,79	2,21	2,50
17 - Terra do Sol	20	2,35	2,43	2,71	0,48	-0,07	0,20	0,23	-0,75	-0,50	-0,02	2,14	2,43	2,71
18 - Vitória da Conquista	18	2,56	2,57	2,79	0,24	1,50	0,09	0,06	-0,99	-0,17	0,28	2,45	2,57	2,79
19 - Portal do Sertão	13	1,95	1,86	1,79	0,59	-0,71	0,31	0,35	0,26	0,43	0,39	1,64	1,86	2,36
Metropolitano de Salvador	1	3,29	3,29	#N/D	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D	#DIV/0!	#DIV/0!	3,29	3,29	3,29
Total	366	2,23	2,29	2,79	0,57	-0,52	0,25	0,32	-0,98	-0,30	-0,09	1,79	2,29	2,71

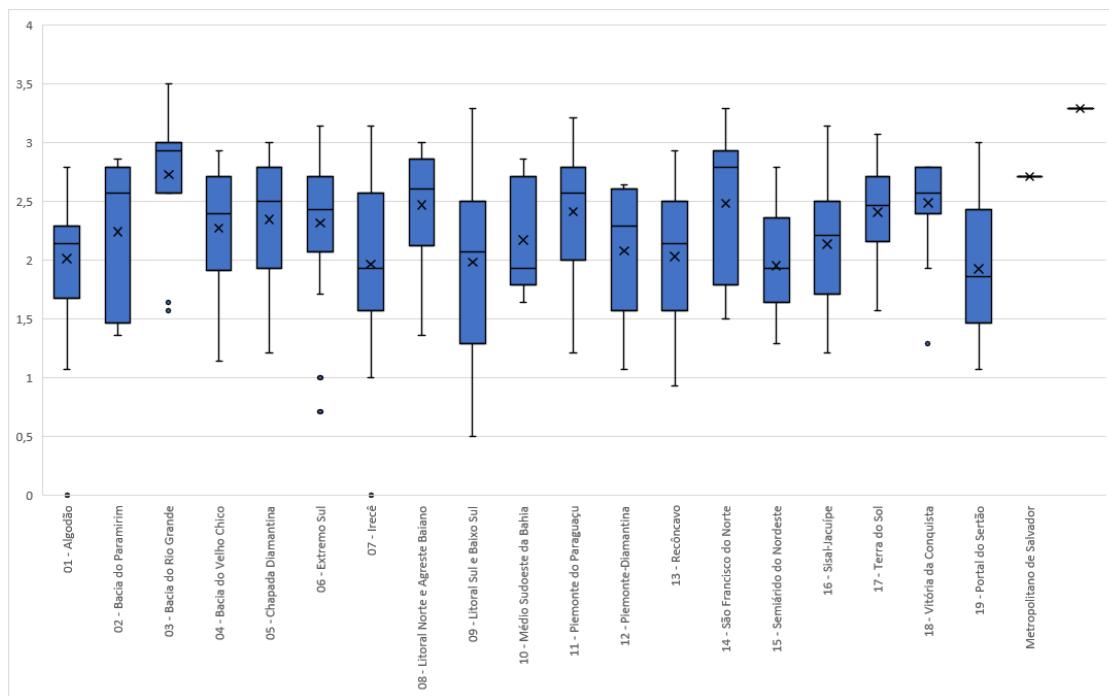
Fonte: Própria, a partir de dados de Bahia (2024b).

A análise geral dos dados da Tabela 1 revela que, para os 366 lixões para os quais há informações de Índice de Qualidade de Aterros no estado da Bahia, o valor da média do IQA foi igual a 2,23; a mediana 2,29 e a moda foi 2,79, representando o valor mais frequente de IQA entre os lixões. O desvio padrão foi de 0,57, indicando uma reduzida dispersão dos valores de IQA em torno da média geral, demonstrando a pouca variabilidade na qualidade dos lixões.

Considerando os dados do 3º quartil (Tabela 1) identifica-se que 75% dos lixões apresentam valores de IQA abaixo de 2,71. A variância, que corresponde a uma medida de dispersão que quantifica a distância média entre cada valor em um conjunto de dados e a média desse conjunto, para os dados gerais (todo o estado) é de 0,32, um valor relativamente baixo, o que significa que os dados estão mais próximos da média. A curtose geral é de -0,52, o que indica uma distribuição com caudas mais leves que uma distribuição normal.

O Primeiro Coeficiente de Assimetria de Pearson (A₁), o Segundo Coeficiente de Assimetria de Pearson (A₂) e o Coeficiente Quartílico de Assimetria (A_s) negativos (-0,98; -0,30 e -0,09) apresentados na Tabela 1 indicam que a assimetria na curva de distribuição normal é à esquerda.

Figura 1 – Boxplot: Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos (IQA) de Lixões no Estado da Bahia



Fonte: Própria, a partir de dados de Bahia (2024b).

A análise do *boxplot* (Figura 1) demonstra a distribuição do IQA individualmente nas 19 MSB e na RMS, identificando todas as regiões do estado da Bahia. Registre-se o fato de que a Região Metropolitana de Salvador, por possuir apenas um dado de IQA (um lixão identificado) apresenta um comportamento distinto das demais regiões do estado.

A RMS se diferencia do restante do estado da Bahia principalmente devido à alta concentração populacional, intensa atividade econômica e infraestrutura mais desenvolvida. Ela é composta por Salvador, a capital do Estado, e mais 12 (doze) municípios e concentra a maior parte da indústria do estado, em especial no setor petroquímico e automotivo, além de um setor de serviços mais diversificado e consolidado (IPEA, 2016).

Todas as MSB e a RMS, por meio dos IQA analisados (Figura 1), demonstram que os lixões possuem valores concentrados abaixo de 8,0 ($IQA < 8,0$), o que significa que estão em condições inadequadas, o que era esperado, de acordo com o conceito de vazadouros a céu aberto. Pode-se perceber a variação da mediana e da amplitude interquartílica (intervalo entre o primeiro e o terceiro quartil) entre as diferentes MSB, demonstrando, em geral, pequena heterogeneidade da qualidade da deposição final de RSU no estado, tendo em vista que todo o estudo se concentrou em lixões.

As Microrregiões de Saneamento Básico com menores valores médios de IQA, como a MSB 09 – Litoral Sul e Baixo Sul ($IQA_{médio} = 2,00$), a MSB 07 – Irecê ($IQA_{médio} = 2,01$) e a MSB 10 – Médio Sudoeste da Bahia ($IQA_{médio} = 2,04$), indicam que essas regiões estão mais fragilizadas na implementação da PNRS no que tange à disposição final dos resíduos sólidos, nas quais a maioria das unidades apresentam baixos índices de qualidade. A presença de *outliers* (correspondente aos pontos fora dos limites dos bigodes do *boxplot*) em algumas MSB, tais como a MSB 03 – Bacia do Rio Grande, na MSB 06 – Extremo Sul e na MSB 18 – Vitória da Conquista sugerem a existência de casos isolados de IQA ainda mais críticos, conforme pode ser observado na Figura 1.

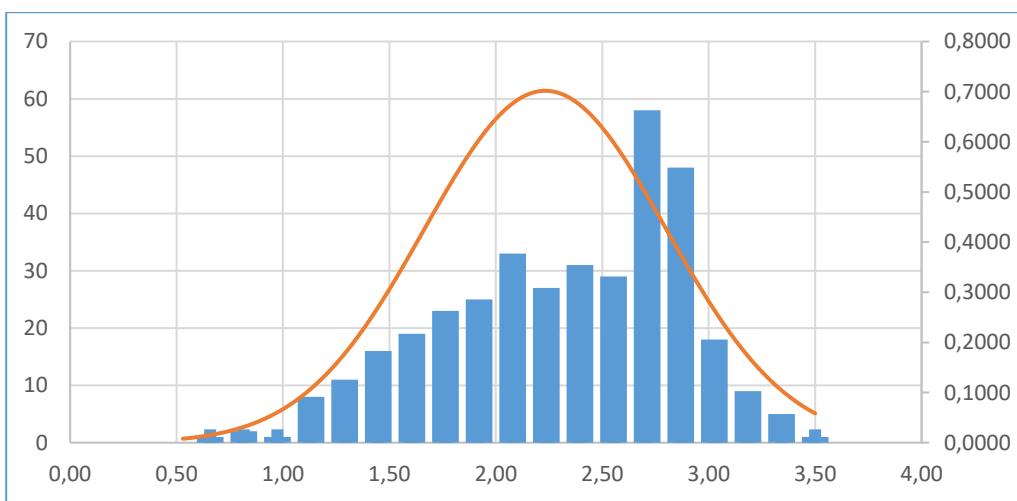
Por outro lado, a MSB 03 – Bacia do Rio Grande e a MSB 18 – Vitória da Conquista apresentam IQA_{médio} de 2,75 e 2,56, respectivamente, levemente mais elevados que nas demais MSB, apesar de ainda estarem na faixa de inadequação (IQA<8,00), indicando a existência de lixões com condições operacionais ou estruturais ligeiramente menos precárias – nem por isso superiores – em comparação às demais regiões. Ressalte-se, entretanto, que essas regiões também necessitam de intervenções urgentes para a recuperação ambiental das áreas degradadas e adequação à legislação vigente (Tabela 1).

A MSB 09 – Litoral Sul e Baixo Sul (composta por 41 municípios) foi a que mais apresentou lixões (possui 39 lixões, o que representa 10,7% do universo), seguida da MSB 16 – Sisal-Jacuípe (composta por 33 municípios, com 31 lixões, 8,5%), da MSB 05 – Chapada Diamantina (composta por 24 municípios, com 27 lixões, 7,4%) e MSB 04 – Bacia do Velho Chico (composta por 25 municípios, com 26 lixões, 7,1%). Juntas, essas quatro MSB possuem 123 municípios (29,5% do total dos municípios do estado) e 123 lixões (33,6% do universo) (Tabela 1).

A Região Metropolitana de Salvador, por possuir apenas um registro de IQA (3,29), destaca-se das demais e impede a realização de uma análise estatística de medidas de dispersão e assimetria para a região, embora o índice ainda seja classificado como inadequado (IQA<8,00) (Tabela 1).

Por meio da análise da curva de distribuição normal e histograma dos IQA dos lixões na Bahia (Figura 2) pode-se inferir que a maior concentração dos IQA está localizada entre 2,00 e 3,00, com picos perceptíveis nas proximidades de 2,25 e entre 2,75 e 3,00. A curva de distribuição normal, representada pela linha contínua (laranja), indica que a distribuição dos IQA dos lixões tende a ser aproximadamente normal, com uma leve assimetria à esquerda prevista, conforme valores negativos do coeficiente de assimetria apresentados na Tabela 1: $A_1 = -0,98$; $A_2 = -0,30$ e $A_s = -0,09$. Ou seja, a maior parte dos dados está concentrada em valores mais altos dentro da faixa observada, apesar da pontuação do IQA ainda ser muito baixa (bem inferior a 8,00).

Figura 2 - Curva de distribuição normal e histograma - IQA de Lixões na Bahia



Fonte: Própria, a partir de dados de Bahia (2024b).

CONCLUSÕES

Apesar de esperado que o IQA apresentasse valores inferiores a 8,00, dada a inadequação das condições operacionais, ambientais e de infraestrutura dos lixões a utilização do índice pode favorecer o direcionamento de políticas públicas ou investimentos mais urgentes em determinadas ADF ou regiões.

Quando a Área de Disposição Final se enquadra (características físicas, ambientais e operacionais) como lixão percebeu-se que ela não atende a diversos requisitos para ser um aterro sanitário. Esperava-se que o valor do IQA médio ($IQA_{médio} = 2,23$) possuísse um desvio-padrão pequeno como, de fato, ocorreu ($s = 0,57$). Dessa forma, esperava-se que a média representasse muito bem a nota dos lixões. A uniformidade observada para os valores de IQA deve-se ao fato de que os critérios definidos, quando aplicados a áreas degradadas (como o caso dos lixões) resultam em pontuações uniformes.

Conclui-se que, embora o Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia (PERS/BA) tenha utilizado o IQA para tentar caracterizar 366 lixões do estado, por meio da análise estatística e conceitual, percebeu-se que não foi uma metodologia adequada, tendo em vista que o Índice foi uma ferramenta criada para ser aplicada em aterros sanitários e não em lixões. Por fim, espera-se que o estudo incentive a criação de um indicador específico para a classificação de lixões, distinto daquele utilizado para aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

BAHIA. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado da Bahia (PERS/BA) – Relatório 3.1: Diagnóstico da Gestão dos Resíduos Sólidos. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (SEDUR). 2024a. Disponível em: <<https://www.ba.gov.br/sedur/gestao-territorial/residuos-solidos>>. Acesso: 15 jun 2025.

BAHIA. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado da Bahia (PERS/BA) – Relatório 3.5: Áreas Degradadas, Áreas Órfãs e Áreas Potencialmente Adequadas para a Destinação de Resíduos Sólidos ou Rejeitos. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (SEDUR). 2024b. Disponível em: <<https://www.ba.gov.br/sedur/gestao-territorial/residuos-solidos>>. Acesso: 15 jun 2025.

BNDES. Resíduos sólidos urbanos: parte 1: diagnóstico do setor. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2024. 11 p. (Estudos especiais do BNDES; 30). 2024. Disponível em: <<http://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/handle/1408/25326>>. Acesso: 19 set 2024.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. 2007. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm>. Acesso: 18 jun 2025.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.

Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso: 18 jun 2025.

CEMPRE; IPT. Lixo Municipal - Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: CEMPRE; IPT, 2018. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 8 jun. 2025.

CETESB. Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2013 [recurso eletrônico] /. CETESB; coordenação Cristiano Kenji Iwai, Maria Heloisa P. L. Assumpção; redação Maria Heloisa P. L. Assumpção, Cristiano Kenji Iwai; equipe técnica Maria Heloisa P. L. Assumpção... [et al.]. São Paulo: CETESB, 2014. 1 arquivo de texto (118 p.): il. color., PDF. (Série Relatórios / Secretaria do Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/wp-content/uploads/sites/18/2014/12/residuosSolidos2013.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

CETESB. IQR - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos 2022. São Paulo, 2022.

Disponível em:

<https://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B669FA098-FA29-4B48-AB81-5708D3FED900%7D>. Acesso em: 7 jun. 2025.

CETESB. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo 2023. São Paulo: CETESB, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2024/05/Inventario-Estadual-de-Residuos-Solidos-Urbanos-no-Estado-de-Sao-Paulo-2023.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2025.

FARIA, Flávia dos Santos. Índice da qualidade de aterros de resíduos urbanos. 2002. 355 p. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<https://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/102-msc-pt-2002/1812-flavia-dos-santos-faria?tmpl=component&print=1>> Acesso: 18 jun 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Entidade Metropolitana da Região Metropolitana de Salvador. [2016]. Disponível em: www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/160406_entidade_metropolitana_da_regiao_metropolitana_de_salvador.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.

MELO, Diógenes Aires de. Proposta de processo decisório para reabilitação das áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana de Goiânia. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Goiânia. 2017.

MELO, Diógenes Aires de. Aterros de resíduos: o uso de ferramentas de avaliação como apoio decisório para a reabilitação ambiental: teoria e prática. 1 ed. Curitiba: Apris, 2020.

VILHENA, André. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 4^a ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 316 p. ISBN 978-85-87345-02-8. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.