

**Frequência de coliformes termotolerantes em praias do litoral potiguar
(Rio Grande do Norte, Brasil)****Coliforms thermotolerant' frequency in Rio Grande do Norte state
(Brazil)**

DOI:10.34117/bjdv6n11-320

Recebimento dos originais: 16/10/2020

Aceitação para publicação: 16/11/2020

Amanda Carla Batista Querino da Rocha

Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental. Cx. Postal 1524, Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal – RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte
amandacbqr@gmail.com

André Luis Calado Araújo

Doutor em Engenharia Civil. Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol. Natal – RN, CEP: 59015-000. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
andre.calado@ifrn.edu.br

Ronaldo Angelini

Doutor em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais Cx. Postal 1524 , Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal – RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte
ronangelini@gmail.com

RESUMO

O desenvolvimento do turismo no Brasil está relacionado com os seus recursos naturais, incluindo as praias do litoral nordestino, onde há uma preocupação crescente com a sua balneabilidade, ou seja, com a qualidade das águas das praias para recreação. Os impactos mais comuns nos ambientes costeiros são causados por deficiências em saneamento básico e pelo uso e ocupação desordenados do solo, que acarretam o lançamento de contaminantes no mar, afetando a saúde pública. Considerando que os coliformes termotolerantes (antes conhecidos como fecais) são os indicadores básicos para a classificação das praias quanto à balneabilidade, este trabalho tentou entender a dinâmica de concentrações de coliformes termotolerantes nas praias do Rio Grande do Norte entre 2010 e 2016, propondo um Índice de Balneabilidade (BALI) que resume, baseado em aspectos físicos e visuais, as condições sanitárias e ambientais das praias. Os resultados mostram que: i) 7% das amostras apresentam concentrações de microorganismos acima do limite tolerado (1000 NMP/100ml); ii) não há nenhum padrão na dinâmica temporal de coliformes; iii) todos os pontos apresentaram alta variação em relação à média; iv) praias próximas a desembocaduras de rios têm maior frequência de concentrações elevadas de coliformes, especialmente no rio Potengi, com 25% das amostras acima de 1000 NMP/100ml; v) as relações entre precipitação pluviométrica e concentração de coliformes termotolerantes não são fortes ($r < 0,369$), mas são significativas, sendo que as chuvas acumuladas entre um e três dias apresentam maiores valores do que entre cinco e sete dias; vi) o índice proposto (BALI) teve baixos valores apenas para a cidade do Natal e em geral também mostrou baixa correlação com as concentrações das bactérias analisadas. Nossa principal conclusão é que praias próximas a rios têm de ser evitadas pelos banhistas, além disso, há baixa frequência de contaminação das praias analisadas (<5% dos dias do ano). Mesmo assim, há

deficiência em saneamento, e necessidade de adequação de resíduos sólidos, nas praias de Ponta Negra, Praia dos Artistas e Redinha (todas localizadas em Natal), o que garantiria maior segurança à saúde dos banhistas.

Palavras-chave: Balneabilidade. Qualidade da água. Índice. Turismo. Impacto Ambiental.

ABSTRACT

Development of tourism in Brazil is related to natural resources and landscapes, including the Brazilian Northeast littoral beaches, where there is a huge concern about water quality for recreation (balneability). In Brazil, impacts on the coastal environments are caused by lack of basic sanitation and disordered land use, dispersing pollutants on the sea, affecting public health especially because thermotolerant coliforms spreading, the main indicators of balneability to beaches. In this work, we analyzed the dynamics of on the 48 beach spots of Rio Grande do Norte State (Brazil) between 2010 and 2016, proposing also a Balneability Index (BALI) that summarizes, based on visual and physical aspects, the beaches sanitary and environmental conditions. Results appointed that: i) 7% of the samplings has thermotolerant coliforms above to the maximum accepted limit (1000 NMP/100ml); ii) there is none pattern in coliforms temporal dynamic; iii) all the points have high variation in relation to mean values; iv) beaches close rivers' mouth have greater frequency of coliforms, especially in Potengi River which have, 25% of the samplings above accepted limit; v) correlations between precipitation and coliforms concentration are not high ($r < 0,369$), nonetheless are significant; vi) the proposed index (BALI) had low values only for the Natal city and in general also it shows low correlation to coliforms concentrations. Our main conclusion is that beaches close rivers should be avoided. Moreover, it is necessary more investments on sanitation, inclusive waste care, especially in Ponta Negra, Praia dos Artistas e Redinha beaches (all in Natal City).

Keywords: Balneability, Water Quality, Index, Tourism. Environmental impact.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas seis décadas, o turismo experimentou expansão e diversificação contínuas para se tornar um dos maiores setores econômicos, com alto crescimento no mundo (UNWTO, 2017). Esta atividade é, atualmente, uma das principais impulsionadoras do desenvolvimento socioeconômico, com criação de empregos e empresas, receitas de exportação e desenvolvimento de infraestrutura (Organização Mundial do Turismo, 2016).

No Brasil, as praias da região Nordeste tem sido o roteiro preferido de turistas brasileiros e internacionais, pois o lazer responde pela maior parte das visitas (57%), e o chamado turismo de “Sol e Praia” (69%) predomina como principal motivação de viagem para quem visita o Brasil (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 2016).

De modo geral, essas atividades turísticas desenvolvem-se em áreas de preservação e ecologicamente frágeis, que ao sofrerem impactos em razão do uso e ocupação desordenados do solo e de deficiências existentes no sistema de saneamento básico, têm a qualidade de suas águas afetada, podendo causar danos à saúde dos banhistas.

Assim, por exemplo, o rápido e descontrolado desenvolvimento das áreas costeiras do Mediterrâneo, para acomodar o turismo em massa, resultou na deterioração da qualidade da água dos corpos d'água adjacentes, gerando níveis de poluição que vão de moderado a severo (Kamizoulis e Saliba, 2003). Também, na Praia da Curva da Jurema, em Vitória/ES (Brasil), detectou-se que as concentrações de coliformes termotolerantes apresentam valores maiores nos meses em que há um maior afluxo de turistas na região (Dalfior e Sant'Anna, 2004).

A qualidade dessas águas, destinadas à recreação de contato direto e prolongado (natação, mergulho, esqui-aquático, etc), é denominada balneabilidade (CETESB, 2017). Com a finalidade de verificá-la, a Resolução nº 274/2000, art. 2º, do CONAMA, orienta a realização de monitoramento quantitativo de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli spp.* ou enterococos encontrados por 100ml de água. Essa concentração de coliformes é o parâmetro indicador básico para a classificação das praias quanto a sua balneabilidade, em termos sanitários (CETESB, 2017), pois reflete o grau de mistura com águas residuais não tratadas (Lopez-Pila, 1998). Ambientes aquáticos com concentrações de coliformes termotolerantes acima de 1000 NMP/100ml já podem ser considerados perigosos a saúde humana.

Outra importante fonte reconhecida de contaminação microbiana para as águas superficiais é o escoamento das águas pluviais, que representa uma parcela importante da poluição nas águas costeiras. Normalmente, o início das chuvas é responsável pelo carreamento de contaminações difusas às praias (Arnold e Gibbons, 1996).

No entanto, em períodos mais extensos de chuvas, ao lavar as áreas impermeáveis da zona urbana, há uma queda na contaminação carregada, pois os contaminantes são “diluídos” antes de sua possível chegada aos corpos receptores de esgotos e de estações de tratamento de esgotos (Barros, 2015).

O regime de maré alta também atua aumentando as chances de poluição da zona costeira por coliformes termotolerantes (Vieira *et al.*, 2009). Já as correntes marítimas auxiliam na dispersão desses poluentes (Silva *et al.*, 2009), bem como os ventos, que ao formarem ondas, influenciam os processos de transporte e disseminação das bactérias no corpo hídrico (Kinzelman *et al.*, 2004).

Dada a complexidade dos fatores que definem o nível de poluição e a balneabilidade de uma praia, o uso de índices que resumem um maior conjunto de possíveis determinantes é algo útil, que pode auxiliar na definição de estratégias e políticas públicas a fim de solucionar essa problemática.

Nesse contexto, o objetivo desta dissertação foi entender a dinâmica de concentrações de coliformes termotolerantes nas praias do Rio Grande do Norte, no período de 2010 a 2016, e

verificar a importância da influência das precipitações pluviométricas sobre esta dinâmica. Ainda, baseado em aspectos físicos visuais, foi proposto um índice (BALI) para quantificar as condições ambientais e sanitárias das praias aqui avaliadas.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Rio Grande do Norte possui mais de 400 km de faixa litorânea e cerca de 60 praias, que estão sob o clima subúmido, com precipitações anuais variando de 800 a 1.600 mm e com seu período chuvoso principal concentrado entre os meses de abril e julho (Pfaltzgraff e Torres, 2010).

2.2 CONJUNTO DE DADOS

Neste trabalho, foram analisados dados de concentração de coliformes termotolerantes de 14 municípios da costa potiguar (48 pontos de monitoramento), compreendendo o período entre 2010 e 2016 (Anexo), cedidos pelo projeto “Estudo de Balneabilidade das praias do RN”, inserido no programa estadual Água Azul, executado conjuntamente pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA) e pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN). Os dados diários de precipitação pluviométrica entre 2010 e 2016 foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária – EMPARN, para apenas três municípios: Natal, Parnamirim e Extremoz.

2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise da frequência de valores de coliformes termotolerantes superiores ou iguais a 1000 NMP/100ml (valor considerado crítico pelo CONAMA), foi realizada com tabelas de contingência (Vieira, 2003). A estas tabelas, foi aplicado o teste de χ^2 , que compara as frequências observadas com as frequências esperadas (estimadas), sob a hipótese de independência.

Baseado neste χ^2 , calculou-se o coeficiente ϕ (ϕ), que tem a vantagem de não ser influenciado pelo tamanho da amostra.

$$\phi = \sqrt{\frac{\chi^2}{n}}$$

Sabendo que $0 \leq \phi \leq 1$, um valor pequeno de ϕ indica pouca associação entre as variáveis em questão e um valor alto, grande associação (valores de ϕ menores que 0,35 podem ser tomados como indicadores de pequena associação; Vieira, 2003).

O grau de associação espacial existente entre os pontos de coleta mais próximos entre si, ou de uma mesma praia, foi calculado utilizando-se do coeficiente de correlação não paramétrico de Spearman, pois o conjunto de dados tem enorme variação, inclusive com outliers, e não se ajusta a uma distribuição normal.

2.4 PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Para averiguar se a precipitação pluviométrica exerce influência sobre a dinâmica de coliformes termotolerantes, foram utilizadas regressões lineares e calculados os coeficientes de correlação de Pearson, apenas para os pontos de amostragem localizados na mesma sub-bacia do posto pluviométrico, nos municípios de Natal, Parnamirim e Extremoz. Os coeficientes de correlação foram estimados para precipitações acumuladas em um, dois, três, cinco e sete dias anteriores ao dia da coleta da concentração de coliformes termotolerantes. Para essas análises, foi utilizado o programa R Studio.

2.5 ÍNDICE DE BALNEABILIDADE

O Índice de Balneabilidade (doravante chamado BALI) visa resumir as condições ambientais e sanitárias das praias e foi criado com base em características que, possivelmente, interferem na qualidade de suas águas. Foram consideradas as seguintes características físicas: presença de barracas, lixo, bares e restaurantes, hotéis, tubulações de esgoto/água, banheiros públicos e a proximidade com rios; e para cada característica foi atribuída uma pontuação (Tab. 1), sendo o valor de BALI maior para praias com melhor condição ambiental e sanitária.

Tabela 1. Pontuação atribuída às características ambientais/sanitárias para formação do Índice de Balneabilidade (BALI).

Características	Pontuação		
	Nenhum	Pouco	Muito
-			
Presença de barracas	3	1	0
Presença de lixo	3	1	0
Presença de bares/restaurantes	3	1	0
Presença de hotéis	3	1	0
-	Não existe	Existe	
Tubulações de água/esgoto próximas	3	0	
Banheiros Públicos	3	0	
-	Não	Sim	
Proximidade a rios	3	1	

Para transformar o somatório em um índice, variando de 0 a 1, foram realizados os seguintes cálculos:

$$p = \frac{\text{valor observado}}{\text{valor esperado}}, \text{ onde valor esperado} = 3 \cdot 8 = 24$$

$$BALI = \frac{p}{n}, \text{ onde } n = n^{\circ} \text{ de características}$$

Também foram calculados coeficientes de correlação de Spearman entre BALI e algumas medidas de concentrações de coliformes por ponto amostral: média, mediana, desvio padrão e frequência de concentração de coliformes superiores a 1000 NMP/100ml.

3 RESULTADOS

Em geral, a frequência de amostras com valores superiores a 1000 NMP/100ml de água varia bastante, com um máximo de 16,85% no município de Parnamirim (Fig.1a). Na capital Natal, o ponto de maior frequência é na Foz do Rio Potengi (Fig.1b), com o valor mais alto encontrado no trabalho, 25%. É importante destacar que os valores de desvio padrão são bem maiores que suas respectivas médias (Tab.2), além do fato de que o número total de observações varia bastante entre pontos de coleta (Tab.2). Diferente desses municípios, aqueles localizados no litoral norte do Estado não apresentaram níveis de coliformes superiores ao limite considerado e por isso não foram destacados.

Figura 1. Pontos de amostragem de coliformes termotolerantes e suas respectivas frequências relativas (%) de valores superiores a 1000 NMP/100ml de água, durante o período entre 2010 e 2016, para: a) os diferentes municípios da costa potiguar e b) os pontos de monitoramento na cidade de Natal.

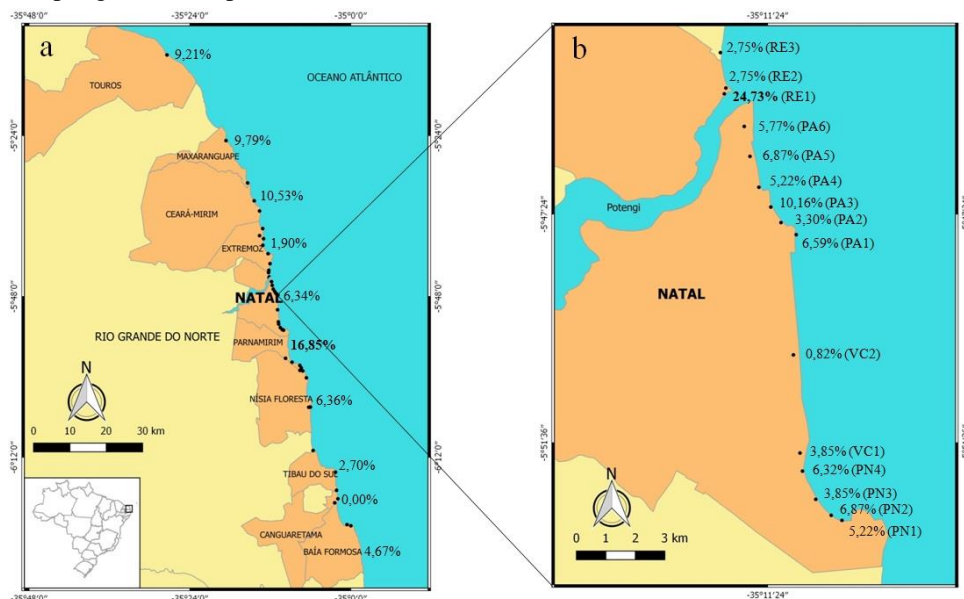


Tabela 2. Coliformes termotolerantes (NMP/100ml) nos 10 municípios do Rio Grande do Norte que apresentaram microorganismos em valores superiores ao limite. Natal (capital) foi dividida em praias: Ponta Negra (PN), Via Costeira (VC), Praia dos Artistas (PA) e Redinha (RE).

Município	Ponto de Coleta	Nº de Observações	Média	Desv.Pad.	Média Geométrica	Mín.	Máx.	
Natal	PN1	364	280,15	1113,91	43,41	2	16000	
	PN2	364	312,98	1071,28	54,16	2	16000	
	PN3	364	181,16	485,05	41,51	2	3500	
	PN4	364	210,25	622,72	27,05	2	5400	
	VC1	364	151,87	456,20	22,89	2	3500	
	VC2	364	54,68	260,24	8,22	2	3500	
	PA1	364	269,77	1106,64	13,26	2	16000	
	PA2	364	127,46	486,04	11,41	2	3500	
	PA3	364	429,72	1332,70	34,06	2	16000	
	PA4	364	235,74	849,66	27,71	2	9200	
	PA5	364	741,76	5460,95	27,20	2	92000	
	PA6	364	197,33	584,93	22,52	2	5400	
	RE1	364	912,53	1547,05	301,83	2	16000	
	RE2	364	167,26	457,65	35,17	2	3500	
	RE3	364	144,89	445,49	22,30	2	3500	
	Baía Formosa		150	171,74	578,82	17,12	2	5400
	Canguaretama		150	57,22	138,79	13,61	1	920
	Ceará-Mirim		152	720,51	3045,16	46,02	2	2400
Extremoz		2312	119,62	362,07	16,73	2	9200	
Maxaranguape		151	438,17	1192,35	70,24	2	9200	
Nísia Floresta		1762	391,21	1995,67	18,71	2	54000	
Parnamirim		1786	633,90	1573,73	128,92	2	35000	
Tibau do Sul		222	152,27	334,07	30,28	2	2400	
Touros		76	404,21	1081,42	35,52	2	5400	

A relação espacial entre os pontos de coleta e o seu grau de associação com as concentrações de coliformes termotolerantes foram significativas para quase todos os municípios, com exceção de Baía Formosa, Ceará-Mirim e Maxaranguape (Tab. 3). No que diz respeito ao município de Natal (RN), esta associação foi forte, especialmente, para a praia da Redinha (Tab. 4).

Tabela 3. Frequência de valores maiores que 1000 NMP/100ml de água em relação ao número total amostrado para os municípios do RN, com os respectivos valores de χ^2 e ϕ (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$).

Município	Nº de pontos de coleta	$\frac{N^\circ \geq 1000}{Total}$	χ^2	ϕ
Natal	15	346/5460	266,19**	0,22
Baía Formosa	2	7/150	0,15	0,03
Canguaretama	2	0/150	-	-
Ceará-Mirim	2	16/152	13,69	0,30
Extremoz	7	44/2312	23,04**	0,10
Maxaranguape	2	14/151	1,32	0,09
Nísia Floresta	6	112/1762	383,99**	0,47
Parnamirim	5	301/1786	297,95**	0,41
Tibau do Sul	3	6/222	7,19*	0,18
Touros	1	7/76	-	-

Tabela 4. Frequência de valores maiores que 1000 NMP/100ml de água em relação ao número total amostrado para as principais praias de Natal (RN), com os respectivos valores de χ^2 e ϕ para as praias de Natal-RN (** $p < 0,01$).

Praia	Nº de pontos de coleta	$\frac{N^\circ \geq 1000}{Total}$	Ponto de Coleta	
			χ^2	ϕ
Ponta Negra	4	81/1456	3,7	0,05
Redinha	3	110/1092	129,40**	0,34
Praia dos Artistas	6	138/2184	15,87**	0,09
Via Costeira	2	17/728	7,29**	0,10

Ainda para a cidade de Natal (RN) correlação dos valores de coliformes termotolerantes, entre os pontos de coleta, é maior entre os pontos localizados em uma mesma praia e aqueles mais próximos espacialmente (Tab.5; veja pontos na Fig.1b).

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Spearman entre os pontos localizados na praia dos Artistas (Natal-RN, Fig.1b) para o período entre 2010 e 2016. Todos os valores são significativos ($p < 0,0001$).

Pontos de Coleta	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5
PA2	0,536				
PA3	0,434	0,502			
PA4	0,383	0,430	0,460		
PA5	0,337	0,381	0,416	0,437	
PA6	0,324	0,321	0,427	0,383	0,456

A correlação existente entre os dois pontos localizados na Via Costeira (VC1 e VC2) foi baixa ($r = 0,358$), mas significativa ($p < 0,0001$). Na praia da Redinha, também foram encontrados valores de correlação de Spearman significativos entre os pontos RE3 e RE2, $r_s = 0,558$, RE3 e RE1, $r_s = 0,374$ e RE2 e RE1, $r_s = 0,442$ (pontos em Fig. 1b).

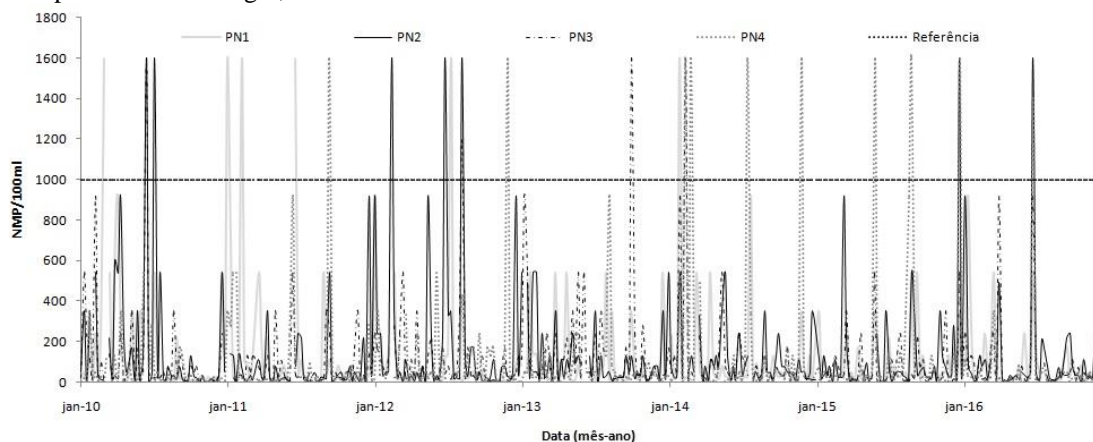
A praia de Ponta Negra (PN), cartão postal do Estado, apresenta correlação positiva e significativa entre os seus quatro pontos de monitoramento (Tab. 6).

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Spearman entre os pontos localizados na praia de Ponta Negra (Natal-RN) para o período entre 2010 e 2016. Todos os valores são significativos ($p < 0,0001$).

Pontos de Coleta	PN1	PN2	PN3
PN2	0,501		
PN3	0,353	0,540	
PN4	0,247	0,367	0,488

Parece não existir nenhuma tendência clara na variação temporal das concentrações de coliformes termotolerantes, mesmo quando são retirados os valores superiores a 2000 NMP/100ml (Fig. 2).

Figura 2. Série temporal de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) entre 2010 e 2016 em quatro pontos de coleta da praia de Ponta Negra, Natal/RN. Todos os valores acima de 2000 NMP/100ml foram retirados da série.



Ao verificar a correlação existente entre as concentrações de coliformes e as precipitações acumuladas, todos os valores obtidos foram baixos (Tabs. 7, 8 e 9).

Os coeficientes angulares das regressões lineares, apesar de significativos em sua maioria, são também baixos, e as regressões pouco explicam a dependência dos valores de coliformes em relação às precipitações. Apesar disto, é possível notar que a chuva acumulada

entre um e três dias deve ter maior influência sobre os valores de coliformes do que as de cinco ou sete dias (ver valores de “b”, nas Tabs. 7, 8 e 9).

Tabela 7. Valores dos coeficientes de regressão linear (a e b), significância da regressão (p), coeficiente de determinação (R^2) e de correlação de Pearson (r) entre coliformes e precipitações acumuladas em 7, 5, 3, 2 e 1 dia antes da coleta de coliformes, em Natal/RN, entre 2010 e 2016 (N: total da amostra).

Ponto de Coleta	X	a	b	p	R^2	N	R
RE1	7 dias	635,20	9,47	0,0000	0,0741	358	0,272
	5 dias	651,30	12,32	0,0000	0,0895	358	0,299
	3 dias	717,45	15,35	0,0000	0,0594	358	0,244
	2 dias	750,79	18,89	0,0000	0,0569	357	0,238
	1 dia	789,96	31,55	0,0000	0,0573	357	0,239
RE2	7 dias	115,88	1,55	0,0031	0,0243	358	0,156
	5 dias	125,30	1,71	0,0059	0,0211	358	0,145
	3 dias	123,09	2,99	0,0016	0,0275	358	0,166
RE2	2 dias	146,32	1,84	0,1255	0,0066	357	0,081
	1 dia	152,94	2,42	0,2274	0,0041	357	0,064
RE3	7 dias	76,08	2,32	0,0000	0,0534	358	0,231
	5 dias	84,69	2,80	0,0000	0,0558	358	0,236
	3 dias	98,48	3,58	0,0002	0,0390	358	0,198
	2 dias	122,94	2,58	0,0330	0,0127	357	0,113
	1 dia	134,62	2,81	0,1626	0,0055	357	0,074

Tabela 8. Valores dos coeficientes de regressão linear (a e b), significância da regressão (p), coeficiente de determinação (R^2) e de correlação de Pearson (r) entre coliformes e precipitações acumuladas em 7, 5, 3, 2 e 1 dia antes da coleta de coliformes, em Parnamirim/RN, entre 2010 e 2016 (N: total da amostra).

Ponto de Coleta	X	a	b	p	R^2	N	R
PAR1	7 dias	908,46	10,80	0,0013	0,0287	357	0,169
	5 dias	890,40	15,94	0,0000	0,0435	357	0,209
	3 dias	841,06	30,36	0,0000	0,0681	357	0,261
	2 dias	1153,11	4,39	0,6089	0,0008512	357	0,345
	1 dia	897,56	81,91	0,0000	0,1293	357	0,36
PAR2	7 dias	287,92	4,09	0,0000	0,0521	357	0,228
	5 dias	291,99	5,46	0,0000	0,0647	357	0,254
	3 dias	277,22	10,21	0,0000	0,0977	357	0,313
	2 dias	400,65	0,46	0,8489	0,0001	357	0,341
	1 dia	340,37	15,36	0,0000	0,0578	357	0,24
PAR3	7 dias	157,61	1,72	0,0010	0,0302	357	0,174
	5 dias	169,28	1,77	0,0047	0,0222	357	0,149
	3 dias	160,18	3,69	0,0001	0,0416	357	0,204
	2 dias	214,12	-1,45	0,2510	0,0043	357	0,273
	1 dia	175,15	7,74	0,0000	0,0479	357	0,219
PAR4	7 dias	76,74	0,16	0,7455	0,0003	357	0,017
	5 dias	72,39	0,45	0,4448	0,0016	357	0,041

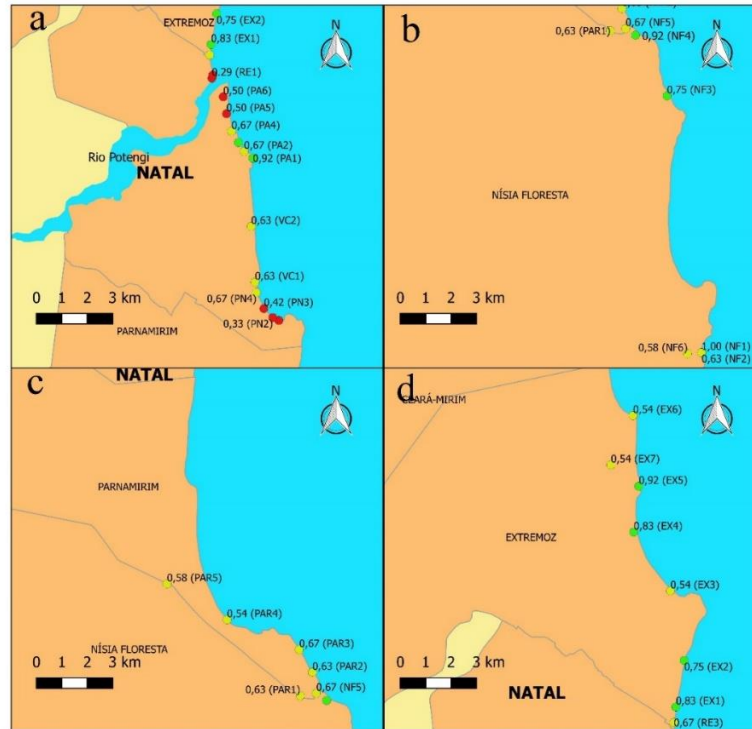
	3 dias	64,11	1,46	0,1057	0,0073	357	0,086
	2 dias	87,47	-1,29	0,2984	0,0035	357	0,144
	1 dia	69,23	3,28	0,0636	0,0097	357	0,098
	7 dias	1116,24	6,64	0,0087	0,0192	357	0,138
	5 dias	1110,31	9,54	0,0017	0,0275	357	0,166
PAR5	3 dias	1044,81	21,28	0,0000	0,0590	357	0,244
	2 dias	1282,06	0,63	0,9224	0,0000	357	0,369
	1 dia	1102,62	52,73	0,0000	0,0947	357	0,308

Tabela 9. Valores dos coeficientes de regressão linear (a e b), significância da regressão (p), coeficiente de determinação (R²) e de correlação de Pearson (r) entre coliformes e precipitações acumuladas em 7, 5, 3, 2 e 1 dia antes da coleta de coliformes, em Extremoz/RN, entre 2010 e 2016 (N: total da amostra).

Ponto de Coleta	X	a	b	p	R ²	N	r
EX1	7 dias	136,04	1,85	0,0604	0,0099	334	0,306
	5 dias	142,63	1,88	0,0936	0,0079	334	0,276
	3 dias	162,70	1,48	0,3350	0,0026	334	0,188
	2 dias	90,58	3,57	0,0009	0,0355	310	0,188
	1 dia	103,81	3,35	0,0555	0,0116	318	0,108
EX2	7 dias	44,39	0,83	0,0423	0,0124	334	0,111
	5 dias	51,65	0,63	0,1736	0,0056	334	0,075
	3 dias	60,00	0,38	0,5500	0,0011	334	0,033
	2 dias	65,52	0,40	0,6432	0,0007	310	0,026
	1 dia	68,25	-0,28	0,8408	0,0404	318	-0,011
EX3	7 dias	41,58	0,62	0,1431	0,0064	334	0,08
	5 dias	43,01	0,67	0,1613	0,0059	334	0,077
	3 dias	51,18	0,46	0,4784	0,0015	334	0,039
	2 dias	53,00	0,79	0,3742	0,7921	310	0,051
	1 dia	52,65	1,57	0,2763	0,0038	318	0,061

Em Natal, os índices de balneabilidade (BALI) variaram de 0,29 a 0,92 (Fig. 3a). Já nos municípios de Nísia Floresta (Fig. 3b), Parnamirim (Fig. 3c) e Extremoz (Fig. 3d), os índices foram relativamente bons, todos superiores a 0,50.

Figura 3. Índices de Balneabilidade (BALI) dos pontos de monitoramento para: a) a capital Natal, b) Nísia Floresta, c) Parnamirim e d) Extremoz. Em vermelho, os pontos com piores condições ambientais e sanitárias (valor $\leq 0,50$); em amarelo, os que merecem atenção ($0,50 < \text{valor} \leq 0,70$) e, em verde, os pontos com melhor situação para atividades de recreação (valor $> 0,70$).



Considerando que o BALI mede, de forma quantitativa, a qualidade da água, e que quanto maior o índice, melhor a qualidade da água, verificou-se a existência de correlações negativas entre esse índice e algumas variáveis ligadas à concentração de coliformes termotolerantes (Tab. 11), porém os valores são baixos, especialmente, quando os pontos estão próximos a rios.

Tabela 10: Coeficientes de correlação de Spearman entre o índice BALI (veja texto) e a média aritmética de coliformes, a mediana, o desvio padrão e a frequência de ocorrências de concentrações de coliformes superiores a 1000 NMP/100ml. A correlação foi feita considerando ou não os pontos próximos aos rios.

-		MÉDIA DE COLIF.	MEDIANA	DESV. PAD.	FREQ>1000
Com Rios	BALI	-0,196	-0,150	-0,181	-0,190
Sem Rios	BALI	-0,212	-0,227	-0,213	-0,098

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostram uma alta variação nos valores de concentrações de coliformes termotolerantes, para todos os pontos de coleta, entre o período de 2010 e 2016. No total, cerca de 7% das amostragens apresentam concentrações acima do valor máximo tolerado (1000 NMP/100ml), e as praias próximas a rios, conforme esperávamos, sugerem a ocorrência de lançamento de esgoto em seu curso, pela alta frequência de valores de coliformes acima do

limite. Praias próximas a rios também apresentaram maiores concentrações de indicadores de bactéria de origem fecal do que as praias distantes de rios, na Flórida, EUA (Donahue et al., 2017).

Apesar de existir, entre os pontos mais próximos, especialmente para a praia de Ponta Negra (cartão postal da capital), similaridade no comportamento das concentrações de coliformes, não foi possível identificar um padrão claro que explique a dinâmica temporal de coliformes termotolerantes durante o período avaliado; e, quando analisados ponto a ponto, também não são encontradas tendências sazonais, ou ainda valores maiores em meses ou períodos específicos (como os meses de férias, em que se espera maior número de banhistas e, por isto, maiores níveis de poluição). Resultados similares ocorrem na Índia (rio Yamuna), onde as concentrações de poluentes nos meses de verão não divergem muito dos meses de inverno (Mandal et al., 2009).

No caso da relação com as precipitações pluviométricas acumuladas, percebe-se que há maior influência do total precipitado durante os três dias anteriores à coleta de água, mas essa correlação ainda é pequena. Em Taiwan (praia de Chi-Ting), a precipitação parece afetar a qualidade das águas das praias rapidamente, com efeito persistindo por um a três dias, em decorrência do escoamento de resíduos domésticos, rejeitos de animais e de pastagens agrícolas (Hsu e Huang, 2008) com relações mais fortes que nosso trabalho.

Níveis de coliformes termotolerantes estão também positivamente associados com a precipitação, em praias norte-americanas, mas as concentrações elevadas de coliformes termotolerantes na ausência de chuvas, também indicam outros modos de contaminação, como a existência de falhas no sistema de esgotamento sanitário (Cahoon et al, 2016).

A implantação de um sistema de esgotamento sanitário também reduziu os níveis de coliformes termotolerantes no Mar Egeu Oriental (Kacar e Gungor, 2009). A cidade do Natal (RN) é considerada a primeira “100% saneada” do Brasil (CAERN, 2018), título que não condiz com a realidade prática, mas, de qualquer forma, a baixa frequência de valores termotolerantes nas praias não nos parece alta (em torno de 5% dos dias). No entanto, pontos próximos a rios continuam sendo classificados como impróprios para banhistas (IDEMA, 2018), o que também foi constatado aqui.

O aumento da população humana residente na zona costeira, da densidade populacional e da porcentagem de área urbanizada causam um aumento nas cargas de coliformes termotolerantes (Garbossa et al., 2017), mas a série temporal usada neste trabalho, não nos permite afirmar isto.

A geomorfologia do litoral influencia, em alguns casos, a concentração de bactérias indicadoras fecais, pois praias mais fechadas, próximas a mangues ou dentro de baías, apresentam maiores concentrações do que aquelas localizadas em costa aberta (Donahue et al., 2017). No entanto, as praias aqui analisadas, do Estado do RN (Fig. 1), apresentam geomorfologia similares e são dispostas de maneira bastante linear em relação ao mar, contribuindo para que a dinâmica de coliformes não possa ser explicada por esse atributo físico.

Estudos realizados em Istambul mostram que o lançamento de descargas no fundo do mar, associado a ação de correntes marítimas, contribuem para a diluição das concentrações de coliformes de forma positiva, proporcionando aos locais costeiros a redução dos níveis microbiológicos (Aydinol et al., 2012).

Um índice é um valor que tenta resumir várias informações, bastante utilizado em problemas de causas múltiplas e talvez aditivas. Nosso índice BALI foi inferior a 0,7 em mais de 70% dos pontos analisados, mas foi especialmente baixo ($< 0,5$) em Natal (condição que merece atenção). Isso ocorreu principalmente devido a presença de lixo, barracas, vazamentos e ligações clandestinas em tubulações de esgoto e/ou águas pluviais, restaurantes e bares na beira-mar. Ainda assim, BALI não se correlacionou com os valores de coliformes como era esperado. Neste sentido, Cahoon et al (2016) é categórico ao dizer que a qualidade das águas costeiras é resultado de um grande número de fatores, o que dificulta a compreensão da dinâmica dos coliformes com outras variáveis possivelmente associadas.

5 CONCLUSÃO

Nossos resultados mostraram que não há nenhum padrão detectável na dinâmica de coliformes termotolerantes nas praias do RN. Sabemos que as praias próximas a rios têm valores de concentração de coliformes acima do normal com maior frequência, e isso se deve ao fato dos rios direcionarem às praias o esgoto coletado, resíduos sólidos e águas pluviais de toda a bacia hidrográfica. Apesar disso, não é possível afirmar que estes valores indicativos de contaminação da água aumentam por causa da chuva. O interessante deste resultado é notar que as praias do RN, com exceção daquelas próximas a desembocaduras de rios, são seguras para o turismo que desfruta da balneabilidade, ao menos em relação à sua principal variável, os coliformes termotolerantes. De qualquer forma, a presença de resíduos e de tubulações de águas pluviais ou residuais nas praias foi notada especialmente nas praias de Natal (RN) e isso pode ser um problema para a crescente indústria do turismo.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, C.L; GIBBONS, C.J. (1996). “Cobertura de superfície impermeável: o surgimento de um indicador ambiental chave”. Amer. Planejamento. Assn. J., 62: 243-258.
- AYDINOL, F. I. T.; KANAT, G.; BAYHAN H. (2012). Sea water quality assessment of Prince Islands’ Beaches in Istanbul. Environ Monit Assess (2012) 184:149–160.
- Balneabilidade. Praias 2017. Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/praias/balneabilidade/>>. Acesso em: 21/10/2017.
- BARROS, D. J.; MARQUES, A. K.; MORAIS, P. B. (2015). “Avaliação ambiental com base em indicador microbiológico de balneabilidade no município de Palmas-TO”. J. Bioen. FoodSci., v. 2, n.4: p.172-177.
- BRASIL, EMBRATUR; FIPE. Estudo da Demanda Turística Internacional 2016. Brasil, Julho/2017. Disponível em <<http://www.dadosefatos.turismo.gov.br/>>. Acesso em: 21/10/2017.
- CAHOON, L. B.; HALES, J. C. (2016). Multiple modes of water quality impairment by fecal contamination in a rapidly developing coastal area: southwest Brunswick County, North Carolina. Environ Monit Assess (2016) 188: 89.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Diário Oficial da União, 25 jan. 2001. Seção 1, p. 70-71.
- COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RN - CAERN. (2018). Diretor da Caern: “Natal é a primeira cidade 100% saneada do país”. Disponível em: <http://www.potiguarnoticias.com.br/>. Acesso em: 04/03/2019.
- DALFIOR, J. S; SANT’ ANNA, R. O. (2004). “Variabilidade da Concentração de Coliformes Fecais na Praia da Curva da Jurema”. Monografia (Graduação em Tecnologia em Saneamento Ambiental) Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (CEFETES), Vitória.
- DONAHUE, A.; FENG, ZHIXUAN; KELLY, E.; RENIERS, A.; SOLO-GABRIELE, H. M. (2017). Significance of beach geomorphology on fecal indicator bacteria levels. Marine Pollution Bulletin. 121 (2017) 160–167.
- GARBOSSA, L. H. P.; SOUZA, R.V.; CAMPOS, C. J. A.; VANZ A.; VIANNA L. F. N.; RUPP G. S. (2017). Thermotolerant coliform loadings to coastal areas of Santa Catarina (Brazil) evidence the effect of growing urbanisation and insufficient provision of sewerage infrastructure. Environ Monit Assess (2017) 189: 27.

- HSU, B.; HUANG, Y. (2008). Intensive water quality monitoring in a Taiwan bathing beach. *Environ Monit Assess* (2008) 144:463–468.
- IDEMA – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE. Boletins de Balneabilidade 2019. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br>. Acesso em: 04/03/2019.
- KACAR, A.; GUNGOR F. (2010). Comparison of fecal coliform bacteria before and after wastewater treatment plant in the Izmir Bay (Eastern Aegean Sea). *Environ Monit Assess* (2010) 162:355–363.
- KAMIZOULIS, GEORGE; SALIBA, LOUIS. (2003). “Development of coastal recreational water quality standards in the Mediterranean”. *Environmental international*. Greece, 30, 841-854.
- KINZELMAN, J.; MCLELLAN, S. L.; DANIELS, A. D.; CASHIN, S.; SINGH, A.; GRADUS, S.; BAGLEY, R. (2004). “Non-point source pollution: Determination os Escherichia coli in surface water and sediments with correlation of levels to readily measurable environmental parameters”. *Journal of Waterand Health*, v. 2, n. 2, p. 103-114.
- LOPEZ-PILA, J. M. (1998). “Some economic and political consequences of pathogens in land and coastal waters”. *Europ. Water Manage.* 1, 70–77.
- MANDAL, P.; UPADHYAY, R.; HASAN, A. (2010). Seasonal and spatial variation of Yamuna River water quality in Delhi, India. *Environ Monit Assess* (2010) 170:661–670.
- PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. (2010). GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE: LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE. Recife: CPRM, 2010. 97p. Disponível em www.cprm.gov.br. Acesso em 11/02/2019.
- SILVA, A.C; PINHEIRO, L. S.; MAIA, L. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. Estudo Hidrodinâmico, Climático e Bacteriológico Associado às Fontes Pontuais de Poluição ao Longo do Litoral de Fortaleza. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 14, n.2, Abr/Jun 2009, 83-90.
- VIEIRA, SONIA. (2003). *Bioestatística: tópicos avançados*. Rio de Janeiro: Campus.
- VIEIRA, R. H. S. F., CATTER, K. M., SAKER-SAMPAIO, S., RODRIGUES, D. P., THEOPHILO, G. N. D. & FONTELES-FILHO, A. A. (2009). “Specificity of a defined substrate method used to monitor balneability of tropical coastal Waters impacted by polluted stormwater”. *Journal of Water and Health*, 08.3, 543–549, Mar/ 2010.

- World Tourism Organization (UNWTO) (2017). Tourism Highlights – 2017 Edition. UNWTO, Madrid, Spain.
- World Tourism Organization (UNWTO). (2016). “Tourism Highlights – 2016 Edition”. UNWTO, Madrid, Spain.

Anexo 1. Localização dos pontos de coleta de água no RN com os respectivos períodos de monitoramento.

Município	Estações de Coleta	Praia/Local da Coleta	Coordenadas UTM		Amostras	Período
			Leste	Norte		
Baía Formosa	BF1	Bacopari	278798	9295440	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
	BF2	Porto	277745	9295764		
Canguaretama	CA1	Barra do Cunhaú (Rio)	274328	9301748	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
	CA2	PuntoMacimo	275202	9302856		
Tibau do Sul	TS1	Sibaúma	274818	9305194	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
	TS2	Pipa	274510	9310168		
	TS3	Barra de Guaraíras	268317	9316107		
Ceará-Mirim	CM1	Jacumã	253307	9381939	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
	CM2	Muriú	251840	9384741		
Maxaranguape	MX1	Barra de Maxaranguape	249994	9389656	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
	MX2	Maracajaú	243993	9401273		
Nísia Floresta	NF1	Tabatinga	267510	9328042	Semanal (Jan a Dez)	2010-2016
	NF2	Búzios (Rio Doce)	267511	9328038		
	NF3	Búzios (Barracas)	266395	9336092		
	NF4	Pirangi do Sul (Igreja)	265398	9337990		
	NF5	Foz do Rio Pirangi	265090	9338200		2013-2016
	NF6	Lagoa de Arituba	267070	9328000		2014-2016
Parnamirim	PAR1	Rio Pium (Ponte Nova)	264611	9338124	Semanal (Jan a Dez)	2010-2016
	PAR2	Pirangi do Norte (APURN)	264971	9338824		
	PAR3	Pirangi do Norte (Coqueiros)	264577	9339500	Semanal (Jan a Dez)	2010-2016
	PAR4	Cotovelo (Barramares)	262422	9340384		
	PAR5	Rio Pium (Balneário Pium)	260627	9341446		
Natal	PN1	Ponta Negra (Morro do Careca)	260046	9349179	Semanal (Jan a Dez)	2010-2016
	PN2	Ponta Negra (Descida principal)	259680	9349347		
	PN3	Ponta Negra (FreeWilly)	259152	9349887		

	PN4	Ponta Negra (Final do Calçadão)	258698	9350841		
	VC1	Via Costeira (Cacimba do Boi)	258612	9351454		
	VC2	Via Costeira (Barreira D'Água)	258376	9354778		
	PA1	Mãe Luíza	258458	9358850		
	PA2	Miami (Relógio Solar)	257937	9359259		
	PA3	Areia Preta (Praça da Jangada)	257590	9359784		
	PA4	Artistas	257182	9360452		
	PA5	Meio (Iemanjá)	256876	9361497		
	PA6	Forte	256678	9362510		
	RE1	Redinha (Rio Potengi)	255996	9363613		
	RE2	Redinha (Igreja)	256049	9363809		
	RE3	Redinha (Barracas)	255859	9365009		
Extremoz	EX1	Redinha Nova (Espigão)	255936	9365628		
	EX2	Redinha Nova (Tômbolo)	256257	9367460		
	EX3	Genipabu (Barracas)	255707	9370202	Semanal (Jan a Dez)	2010-2016
	EX4	Barra do Rio (Cata-vento)	254248	9372516		
	EX5	Graçandu (Barracas)	254441	9374320		
	EX6	Pitangui	254206	9377110		
	EX7	Lagoa de Pitangui	253340	9375160		2014-2016
Touros	TO1	Touros	227623	9424782	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
Macau	MA1	Camapum	95133	9436411	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
Areia Branca	AB1	Ponta do Mel	734632	9452798	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
	AB2	Upanema	708763	9455062		
Grossos	GR1	Pernambuquinho	703066	9454718	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
Tibau	TB1	Manoelas	695316	9463016	Semanal (Dez a Fev)	2010-2016
	TB2	Tibau	694105	9465138		