

---

**Estudo Dos Mecanismos De Retenção De Metais Pesados Em Sedimentos De Leitos De Rios E De Lagoas Em Aluviões De Bacias Sedimentares Areníticas**

**Cícera Josislane Crispim da Silva <sup>1</sup>, Anielle dos Santos Brito <sup>2</sup>, Maria Gorethe de Sousa Lima Brito <sup>3</sup>, Adriana Oliveira Araújo <sup>4</sup>, Luiz Alberto Ribeiro Mendonça, <sup>3</sup>Fernando José Araújo da Silva <sup>2</sup>, Higo Tavares Barbosa <sup>5</sup>**

1 Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), Itapipoca, Ceará, Brasil. E-mail: josislane.leite@cagece.com.br

2 Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil.

3 Centro de Ciência e Tecnologia do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri (UFCA), Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil.

4 Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Princesa Isabel, Paraíba, Brasil.

5 Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pernambuco, Brasil.

---

**Citation:** Cícera Josislane Crispim da Silva , Anielle dos Santos Brito , Maria Gorethe de Sousa Lima Brito , Adriana Oliveira Araújo , Luiz Alberto Ribeiro Mendonça, Fernando José Araújo da Silva , Higo Tavares Barbosa (2022) Estudo Dos Mecanismos De Retenção De Metais Pesados Em Sedimentos De Leitos De Rios E De Lagoas Em Aluviões De Bacias Sedimentares Areníticas, *International Journal of Environment and Pollution Research*, Vol.10, No.3 pp.39-55

---

**RESUMO:** *Na avaliação da poluição das águas, os sedimentos desempenham importante função pois eles podem ser utilizados para detectar a presença de poluentes e contaminantes que não permanecem solúveis após lançamento em águas superficiais. O presente estudo enseja identificar quais substratos geoquímicos são responsáveis pela retenção de metais pesados provenientes de efluentes industriais, em sedimentos de leitos de rios e de lagoa em aluviões de bacias sedimentares areníticas, na rede de drenagem natural da zona urbana do município de Juazeiro do Norte – CE. Foram selecionados onze pontos para coletas de amostras de sedimento para determinação dos parâmetros COT, Clábil, pH, granulometria e metais (Ag, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn, Zr). A partir dos resultados, verificou-se que a fração de carbono orgânico predominante em todas as amostras foi a não biodegradável, o que sugere concentrações expressivas de matéria orgânica recalcitrante. Constatou-se correlações significativas entre os metais estudados e os suportes geoquímicos ferro e alumínio, indicando que os óxidos e hidróxidos destes elementos são os principais retentores dos metais nas amostras de sedimento analisadas.*

**Palavras-chave:** Poluição das águas. Caracterização de sedimentos. Metais pesados. Sustentabilidade ambiental.

---

## INTRODUÇÃO

Sedimentos de corpos aquáticos têm recebido atenção crescente em razão da importância para a engenharia nos espectros de biogeoquímica, geomorfologia fluvial e na interação com oceanos (WALLING, 2005). Também, os sedimentos apresentam

destaque por reter ou liberar diferentes materiais para a colun. de água (AIGARS e CARMAN, 2001; SOUTHWELL et al, 2010, 2011) ,

Como fontes de contaminantes potenciais, os sedimentos podem exercer efeitos adversos na água através da liberação de poluentes, tais como nutrientes, metais pesados e micropoluentes orgânicos. Portanto, os sedimentos podem revelar a influência antrópica em sistemas aquáticos (ROGNERUD e FJELD, 2001). Isto é particularmente relevante no caso de metais pesados pelo potencial de acumulação e toxicidade. Estes poluentes não são biodegradáveis e a maioria pode ser tóxica para animais e seres humanos, caso suas concentrações sejam suficientemente elevadas. A toxicidade é função de vários fatores, que incluem o tipo de organismo, biodisponibilidade no ambiente e potencial de bioacumulação na cadeia trófica (WANG et al, 2014).

Nizoli & Luiz-Silva (2009) relatam que dentre os diferentes substratos geoquímicos que compõem os sedimentos, os mais importantes são aqueles que detêm a capacidade de reter e concentrar elementos traço. Em tal caso destacam-se os compostos argilominerais, os óxidos hidróxidos de ferro e manganês e as substâncias húmicas e colóides.

Em litologias sedimentares, por exemplo, podem existir variados tipos de substratos geoquímicos que conferem diferentes composições aos sedimentos de leitos de rios. Isto resulta em diferentes mecanismos de retenção de metais pesados. Associado a este fato, a composição desses sedimentos é reflexo, além de seus locais de origem, dos mecanismos de transporte e deposição e dos processos químicos ocorridos entre a origem e o ambiente aquático.

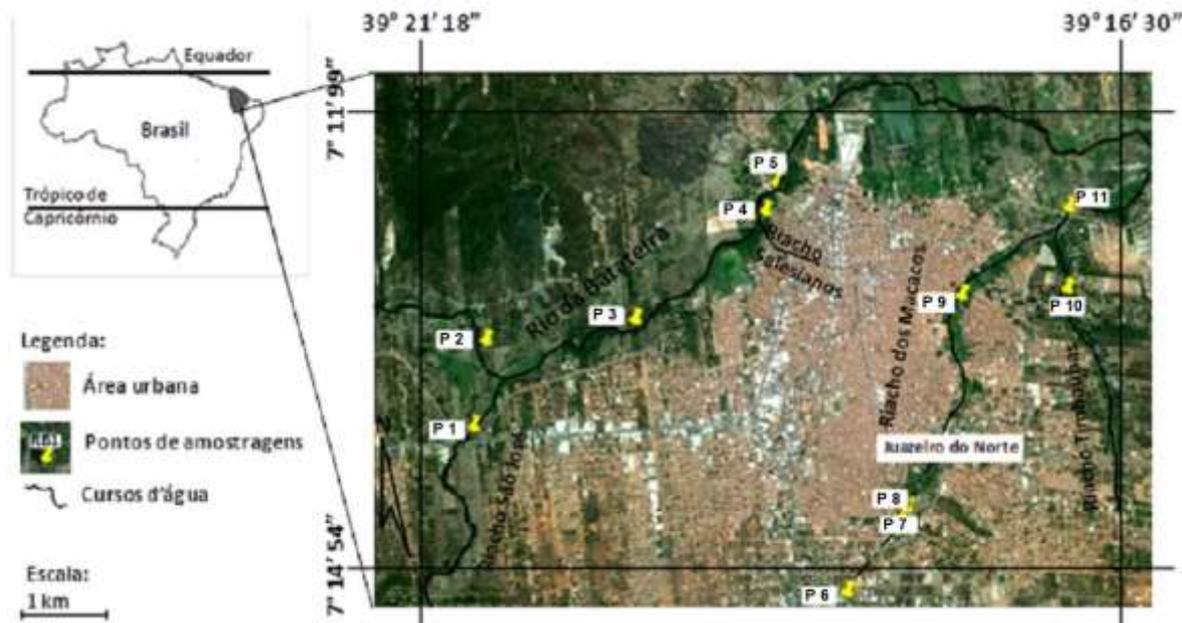
Quanto ao contexto acima referido é relevante empreender estudos que caracterizem os sedimentos como testemunho da antropização. Neste esteio, o presente estudo enseja identificar quais substratos geoquímicos são responsáveis pela retenção de metais pesados provenientes de efluentes industriais, em sedimentos de leitos de rios e de lagoa em aluviões de bacias sedimentares areníticas.

Nesta pesquisa foi utilizada, como área de estudo, os arenitos do Cariri cearense, pertencentes a Bacia Sedimentar do Araripe, mais precisamente na zona urbana do município de Juazeiro do Norte – CE.

## **MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

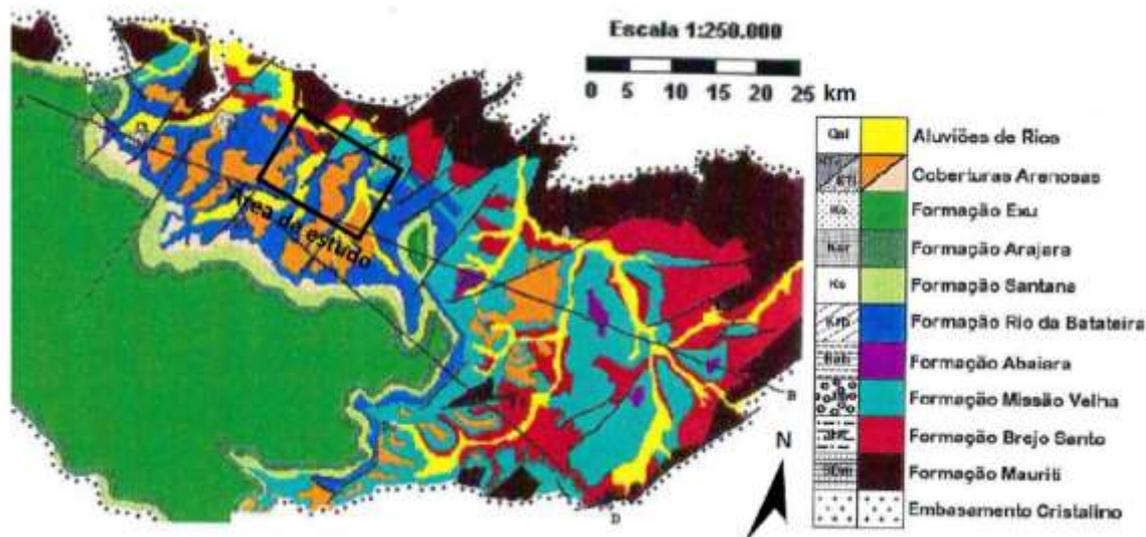
O estudo foi realizado na rede de drenagem natural da cidade de Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, Nordeste brasileiro (Figura 1). Ele está inserido na bacia hidrográfica do rio Salgado, tendo como principal sistema de drenagem o rio Batateira e seus afluentes: os riachos São José, Salesianos, Macacos e Timbaúbas.



**Figura 1 - Localização da área de estudo e dos pontos de amostragens de sedimentos.**  
**Fonte: Silva, 2013.**

Juazeiro do Norte tem população de cerca de 265.000 habitantes, com densidade demográfica de aproximadamente 1.005 habitantes/ km<sup>2</sup> (IBGE, 2015). A infraestrutura urbana de saneamento atende aproximadamente 98,7% da população com abastecimento de água e 36,1% com esgotamento sanitário (IPECE, 2013). Os recursos hídricos utilizados no abastecimento do município são provenientes do aquífero arenítico Rio da Batateira, cuja superexploração tem contribuído com a intermitência da rede de drenagem natural, antes perene e hoje perenizada por esgotos domésticos e industriais.

A Formação Rio da Batateira é constituída de arenitos argilosos e folhelhos betuminosos, fossilíferos, com espessura média de 200 m (ASSINE, 1992). Os arenitos do aquífero Rio da Batateira são caracterizados como de granulometria fina e grossa, avermelhados e pardacentos, com intercalações de lentes de argila e folhelho, limitados na base por níveis de folhelho negro e marrom, às vezes betuminosos (DNPM, 1996). A Figura 2 mostra o mapa geológico de parte da Bacia Sedimentar do Araripe contendo a área de estudo. Nele observa-se que na área de estudo predomina a Formação Rio da Batateira, além de aluviões e coberturas arenosas provavelmente provenientes do intemperismo ocorrido na Formação Rio da Batateira.



**Figura 2 - Mapa geológico de parte da Bacia Sedimentar do Araripe contendo a área de estudo.**  
**Fonte: modificado de Silva (1996).**

O clima da região é do tipo tropical quente semiárido e tropical quente semiárido brando, com temperatura média de aproximadamente 25 °C e precipitação pluvial média anual de 925 mm, com período chuvoso de janeiro a maio (IPECE, 2013).

Quanto aos solos, na área de estudo predominam os Argissolos Vermelho-Amarelo e na área de drenagem, especificamente, os Neossolos flúvicos (FUNCEME, 2006). A mineralogia dos solos da área indica a presença de 100% de quartzo vítreo incolor, contendo grãos com aderência ferruginosa, concreções manganosa e argilo-ferruginosa, além de feldspato potássico muito intemperizado (JACOMINE et al., 1973).

A cobertura vegetal na área de drenagem é constituída de Caatinga Arbórea, com mata ciliar descaracterizada quanto sua composição de origem, apresentando extensas áreas desmatadas.

### **Pontos de coleta de amostras**

Foram selecionados 11 pontos para coleta de amostras (Tabela 1). A localização dos pontos foi escolhida considerando-se a proximidade com indústrias de fabricação de joias, painéis de alumínio, metalurgia e curtimento de couros.

**Tabela 1 – Pontos de coleta de amostras de sedimento de leito na rede de drenagem natural em Juazeiro do Norte - CE.**

<i>Ponto</i>	<i>Localização</i>	<i>Descrição</i>
P1	7° 13' 38,72" S - 39° 21' 25,50" O	Riacho São José, localizado em área de baixa densidade populacional e sem industrialização (ponto de referência).
P2	7° 13' 14,14" S - 39° 21' 17,57" O	Rio da Batateira, perenizado por esgotos sanitários e recebe contribuição de indústrias de joias e de metalurgia.
P3	7° 12' 56,59" S - 39° 20' 23,61" O	Rio da Batateira, perenizado por esgotos sanitários à jusante de um frigorífico industrial
P4	7° 12' 12,88" S - 39° 19' 32,33" O	Riacho Salesianos, recebe contribuição da indústria de curtimento de couro e é perenizado por esgotos sanitários.
P5	7° 12' 01,02" S - 39° 19' 27,83" O	Rio da Batateira, recebe contribuição de indústrias de fabricação de joias e fabricação de alumínio e é perenizado por esgotos sanitários.
P6	7° 14' 42,0" S - 39° 19' 00,3" O	Lagoa da APUC, recebe contribuição de indústria de metalurgia e de joias.
P7	7° 14' 10,1" S - 39° 18' 37,1" O	Barramento do Riacho dos Macacos, localizado em área de preservação ambiental. Recebe contribuição de indústria de metalurgia e de joias.
P8	7° 14' 13,9" S - 39° 18' 39,1" O	Lagoa dos Macacos, localizada na área de preservação ambiental, recebe contribuição de indústria de metalurgia e de joias.
P9	7° 12' 47,08" S - 39° 18' 14,31" O	Riacho dos Macacos, perenizado por esgotos sanitários, recebe contribuição de indústria de metalurgia e de joias.
P10	7° 12' 44,46" S - 39° 17' 32,51" O	Riacho das Timbaúbas, perenizado por esgotos sanitários
P11	7° 12' 09,14" S - 39° 17' 32,22" O	Junção dos riachos dos Macacos e das Timbaúbas, perenizado por esgotos sanitários. Recebe contribuição de indústria de metalurgia e de joias.

### Coleta e caracterização das amostras de sedimento

A amostragem dos sedimentos foi realizada por meio de um amostrador em policloreto de vilina (PVC), capaz de retirar cerca de 1,5 kg de sedimento por amostragem, a aproximadamente 0,30 m de profundidade. Em cada ponto foram coletadas, sob uma lâmina d'água de aproximadamente 0,5m, três amostras que foram homogêneas em um recipiente plástico com capacidade para 5 kg. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2mm.

Os parâmetros químicos e físicos utilizados na caracterização das amostras de sedimento de leito, juntamente com os métodos analíticos utilizados nas respectivas determinações, estão listados na Tabela 2.

As coletas foram realizadas no período de junho de 2011 a março de 2013. Ao todo foram realizadas sete coletas em cada ponto amostral para determinação dos parâmetros listados na Tabela 2. As análises foram realizadas em triplicata para permitir a avaliação estatística da variação dos valores de cada amostra.

**Tabela 2 – Parâmetros químicos e físicos analisados nas amostras de sedimento de leite na rede de drenagem natural em Juazeiro do Norte - CE, com seus respectivos procedimentos metodológicos.**

<i>Parâmetros</i>	<i>Método</i>	<i>Referências</i>	<i>Local de Realização</i>
Carbono lábil – C <sub>lábil</sub>	Oxidação com permanganato de potássio <sup>1</sup>	Shang & Tiessen (1997)	Laboratório de saneamento (UFC - Cariri)
Carbono orgânico total – COT	Oxidação com dicromato de potássio	Mendonça e Matos (2005)	Laboratório de saneamento (UFC - Cariri)
Granulometria	Peneiramento	NBR 7181/1984	Laboratório de mecânica dos solos (UFC - Cariri)
Potencial hidrogeniônico (pH)	Potenciometria	Embrapa (1997)	Laboratório de saneamento (UFCA)
Metais (Ag, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn, Zr)	Digestão multiácida – ICP-MS	USEPA 3050,1994	SGS GEOSOL (Minas Gerais)

<sup>1</sup> Shang & Tiessen (1997) propuseram a diminuição da concentração de permanganato de potássio proposto por Blair et al. (1995), de 0,333 mol. L<sup>-1</sup> para 0,033 mol. L<sup>-1</sup>, para torná-la adequada para oxidar o C<sub>lábil</sub> do solo.

Os procedimentos de garantia e controle de qualidade dos parâmetros estudados foram realizados conforme as especificações estabelecidas nos métodos de análise de cada parâmetro (Tabela 2).

A seleção dos metais pesados, analisados nesta pesquisa, foi baseada, de maneira geral, nos seguintes critérios: (1) toxicidade potencial para o homem e para a biota aquática e (2) por serem os mais frequentemente lançados pelas empresas situadas na região. A inclusão do ferro e do alumínio se deu, principalmente, por eles se constituírem, de acordo com a literatura especializada (MARQUES et al., 2011), em importantes suportes geoquímicos em sedimentos e em solos.

### **Tratamento estatístico**

Inicialmente obteve-se a estatística descritiva dos resultados de COT, C<sub>lábil</sub>, pH e frações granulométricas. A verificação do grau de dispersão dos dados foi realizada por meio do Coeficiente de Variação (CV). Também foram utilizadas medidas separatrizes na forma de percentis para COT e C<sub>lábil</sub>.

Para avaliar as correlações estabelecidas entre os parâmetros COT, C<sub>lábil</sub> e metais, foram determinados os Coeficientes de Correlação de Sperman, ao nível de

significância de 5%, apresentados em uma matriz de correlação. Para esta avaliação, foi utilizado o *software XLSTAT* (Addinsoft 2011). A verificação do tipo de distribuição dos dados foi realizada por meio do teste de *Shapiro-Wilk W* (1965).

Os valores de referência de qualidade (VRQ) foram extraídos a partir do percentil 75 da distribuição da frequência dos resultados, como sugere o CONAMA nº 460/2013.

## RESULTADOS

### Distribuição granulométrica das amostras de sedimento

Na Tabela 3 encontra-se a estatística descritiva das composições granulométricas de areia e silte + argila, obtidas nas amostras de sedimento de leito. Salienta-se que a fração de cascalho não foi enfatizada nas discussões tendo em vista sua irrelevância nos processos de interação existentes entre o sedimento e os compostos orgânicos e inorgânicos.

**Tabela 3 - Estatística descritiva (n = 7) das faixas granulométricas obtidas nas amostras de sedimento de leito coletadas no Rio Batateiras e seus afluentes, em Juazeiro do Norte - CE.**

Pontos de Coleta	Areia				Silte + argila			
	MIN	MAX	MÉDIA	CV	MIN	MAX	MÉDIA	CV
P1	<b>94,00</b>	<b>98,95</b>	<b>96,48</b>	2,00	0,93	3,78	2,67	45,60
P2	<b>97,16</b>	<b>99,35</b>	<b>98,58</b>	9,00	0,47	2,81	1,36	74,10
P3	<b>95,52</b>	<b>98,47</b>	<b>97,54</b>	1,40	0,67	2,02	1,39	40,50
P4	20,14	31,90	23,91	22,50	<b>67,70</b>	<b>79,76</b>	<b>75,94</b>	7,30
P5	<b>91,12</b>	<b>99,15</b>	<b>96,73</b>	3,80	0,83	8,85	3,24	115,70
P6	38,14	49,20	45,65	11,10	<b>50,80</b>	<b>61,46</b>	<b>54,22</b>	9,00
P7	16,99	29,26	25,32	22,80	<b>70,74</b>	<b>83,00</b>	<b>74,67</b>	7,70
P8	0,00	67,23	26,41	123,20	<b>32,00</b>	<b>100,00</b>	<b>73,58</b>	44,20
P9	<b>62,84</b>	<b>88,95</b>	<b>76,21</b>	16,60	6,53	35,03	20,38	72,60
P10	<b>48,93</b>	<b>87,93</b>	<b>70,47</b>	23,00	12,00	50,91	29,43	55,00
P11	<b>45,50</b>	<b>82,42</b>	<b>65,38</b>	24,30	6,58	47,75	22,55	79,40

### Matéria orgânica

Nas Tabelas 4 e 5 encontram-se os dados estatísticos das análises de COT e de  $C_{\text{lábil}}$  das amostras de sedimento de leito coletadas nos pontos demarcados na Figura 1, no município de Juazeiro do Norte – CE.

**Tabela 4 - Estatística descritiva dos resultados de COT (g/kg) (n = 7), obtidos em amostras de sedimento de leito coletadas no Rio Batateiras e seus afluentes em Juazeiro do Norte - CE.**

Pontos de coleta	Mínimo	Máximo	Mediana	CV (%)
P1	0,78	12,14	1,81	124,33
P2	0,64	8,15	1,39	106,28
P3	0,87	7,87	2,67	80,03
P4	5,32	17,93	14,19	33,27
P5	1,08	13,24	5,49	69,25
P6	0,77	20,73	12,62	56,28
P7	3,44	18,22	6,86	63,87
P8	3,62	23,02	11,89	52,08
P9	4,58	30,16	19,50	49,24
P10	4,19	19,12	7,35	57,97
P11	3,19	23,78	5,62	87,50

**Tabela 5 - Estatística descritiva dos resultados de  $C_{\text{lábil}}$  (g/kg) ( $n = 7$ ), obtidos em amostras de sedimento de leito coletadas no Rio Batateiras e seus afluentes em Juazeiro do Norte – CE.**

Pontos de coleta	Mínimo	Máximo	Mediana	CV (%)
P1	0,38	0,96	0,74	28,94
P2	0,10	1,85	0,59	81,43
P3	0,44	1,33	0,64	45,67
P4	0,42	5,17	2,24	72,75
P5	0,16	1,06	0,78	44,61
P6	0,23	4,26	2,11	66,66
P7	0,38	2,18	1,43	57,03
P8	0,52	5,70	2,07	73,15
P9	1,15	4,74	3,13	48,02
P10	0,96	2,16	1,26	30,30
P11	0,49	2,36	1,37	60,46

A Tabela 6 mostra os percentuais de  $C_{\text{lábil}}$  e COT em amostras de sedimento de leito dos pontos estudados.

**Tabela 6 – Percentuais de  $C_{\text{lábil}}$  em COT em amostras de sedimento de leito, desagregados nos percentis  $P_{50}$  e  $P_{75}$**

	Pontos										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	% de $C_{\text{lábil}}$ em COT										
$P_{50}$	20,0	14,6	15,6	6,3	10,4	9,7	13,2	12,1	11,8	10,1	12,4
$P_{75}$	34,0	41,7	41,2	10,4	19,4	13,5	15,9	20,7	14,6	13,3	14,4

### Potencial hidrogeniônico

Os valores de percentis de PH para  $P_{50}$  e  $P_{75}$  em amostras na área estudada estão descritos na Tabela 7.

**Tabela 7 – Percentis de pH (P50 e P75) em amostras de sedimento de leito coletadas no Rio Batateiras e seus afluentes em Juazeiro do Norte – CE. (n=7).**

		Pontos										
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P <sub>50</sub>		6,8	6,7	6,6	6,9	6,9	6,2	6,4	5,6	7,0	6,3	7,0
P <sub>75</sub>		7,2	7,5	6,8	7,0	7,3	7,1	6,9	6,0	7,2	6,7	7,3

## Metais

Na Tabela 8 constam os resultados da estatística descritiva aplicada aos dados das concentrações totais dos metais pesados obtidas nas amostras de sedimento de leito.

**Tabela 8 – Estatística descritiva das concentrações totais de metais pesados (mg.kg<sup>-1</sup>) obtidas nas amostras de sedimento de leito coletadas no Rio Batateiras e seus afluentes em Juazeiro do Norte – CE.**

Pontos		Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Zr	Cu
		(mg.kg <sup>-1</sup> )							
P1	μ	0,02							33,00
	Mín.	0,02	0,03	18,50	8,15	18,80	48,00	185,85	23,30
	Máx.	0,02	0,03	10,00	7,30	18,40	41,00	93,30	42,70
	CV (%)	0,00	0,06	27,00	9,00	9,20	55,00	278,40	41,57
P2	μ	0,02							1164,35
	Mín.	0,02	2,88	41,50	39,50	47,85	289,50	230,70	617,00
	Máx.	0,02	1,51	34,00	22,10	31,30	146,00	191,00	1711,70
	CV (%)	0,00	67,40	25,56	62,30	48,91	70,10	24,34	66,48
P3	μ	1,49							47,55
	Mín.	0,02	0,10	40,50	16,75	37,40	66,00	213,80	42,10
	Máx.	2,96	0,10	36,00	15,80	34,70	63,00	213,00	53,00
	CV (%)	1,40	0,00	45,00	17,70	40,10	69,00	214,60	16,21
P4	μ	0,02							81,15
	Mín.	0,02	0,28	48,00	22,30	43,60	152,00	229,65	59,90
	Máx.	0,02	0,23	40,00	18,50	42,50	112,00	198,10	102,40
	CV (%)	0,00	0,32	56,00	26,10	44,70	192,00	261,20	37,03
P5	μ	0,30							25,05
	Mín.	0,02	0,07	18,50	9,50	22,60	51,00	178,35	18,30
	Máx.	0,58	0,02	1,00	1,90	10,80	12,00	64,30	31,80
	CV (%)	1,32	101,02	133,78	113,14	73,84	108,15	90,44	38,11
P6	μ	0,18							34,25
	Mín.	0,02	0,06	8,00	4,45	16,25	27,50	143,95	21,10
	Máx.	0,33	0,02	4,00	3,20	14,00	21,00	102,30	47,40
	CV (%)	1,25	94,28	70,71	39,73	19,58	33,43	40,92	54,30

P7	$\mu$	0,29	0,23	94,50	20,55	57,30	140,00	237,50	71,35
	Mín.	0,22	0,20	70,00	18,20	43,50	139,00	166,50	70,50
	Máx.	0,36	0,26	119	22,90	71,10	141,00	308,50	72,20
	CV	0,34	18,45	36,66	16,17	34,06	1,01	42,28	1,68
	(%)								
P8	$\mu$	0,70	0,12	26,00	10,85	25,70	63,00	292,65	40,05
	Mín.	0,56	0,04	4,00	3,30	15,20	28,00	81,20	19,90
	Máx.	0,84	0,19	48,00	18,40	36,20	98,00	504,10	60,20
	CV	0,28	92,23	119,66	98,41	57,78	78,57	102,18	71,15
	(%)								
P9	$\mu$	0,37	0,59	43,50	34,65	57,35	327,00	170,80	189,75
	Mín.	0,34	0,31	34,00	19,70	55,40	324,00	127,70	135,00
	Máx.	0,40	0,86	53,00	49,60	59,30	330,00	213,90	244,50
	CV	0,11	66,48	30,89	61,02	4,81	1,30	35,69	40,81
	(%)								
P10	$\mu$	1,92	0,11	40,00	18,80	48,10	82,50	191,05	50,65
	Mín.	0,54	0,06	36,00	17,40	38,90	76,00	142,00	50,60
	Máx.	3,30	0,15	44,00	20,20	57,30	89,00	240,10	50,70
	CV	1,02	60,61	14,14	10,53	27,05	11,14	36,31	0,14
	(%)								
P11	$\mu$	0,60	0,12	39,50	18,30	41,50	87,50	180,35	46,70
	Mín.	0,47	0,05	37,00	14,50	35,70	58,00	147,30	36,00
	Máx.	0,73	0,19	42,00	22,10	47,30	117,00	213,40	57,40
	CV	0,31	82,50	8,95	29,37	19,76	47,68	25,92	32,40
	(%)								

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos para os metais pesados em sedimentos de leito e sua comparação com a Resolução CONAMA N° 460/2013.

**Tabela 9 – Comparação entre os Valores de Prevenção (VP) estabelecidos pela Resolução CONAMA 460/2013 e as concentrações de metais pesados em sedimentos de leito obtidas nesta pesquisa.**

Pontos	Percentil	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Zr	Cu
<b>(mg.kg<sup>-1</sup> de solo)</b>									
<b>VP</b>	-	2	1,3	75	30	72	300	-	60
<b>(mg.kg<sup>-1</sup> de sedimento)</b>									
P1	P (75)	0,02	0,03	22,75	8,58	16,10	51,50	232,13	37,85
P2	P (75)	0,02	<b>2,54</b>	45,25	<b>48,20</b>	56,13	<b>361,25</b>	250,55	<b>1438,03</b>
P3	P (75)	<b>2,23</b>	0,10	42,75	17,23	38,75	67,50	214,20	50,28
P4	P (75)	0,02	0,27	52,00	24,20	44,15	172,00	245,43	<b>91,78</b>
P5	P (75)	0,44	0,06	27,25	13,30	28,50	70,50	235,38	28,43
P6	P (75)	0,25	0,05	10,00	5,08	17,38	30,75	164,78	40,83
P7	P (75)	0,33	0,22	<b>106,75</b>	21,73	64,20	140,50	273,00	<b>71,78</b>
P8	P (75)	0,77	0,10	37,00	14,63	30,95	80,50	398,38	50,13
P9	P (75)	0,39	0,52	48,25	<b>42,13</b>	58,33	<b>328,50</b>	192,35	<b>217,13</b>
P10	P (75)	<b>2,61</b>	0,10	42,00	19,50	52,70	85,75	215,58	50,68
P11	P (75)	0,67	0,10	40,75	20,20	44,40	102,25	196,88	52,05

VP- Valor de prevenção.

A correlação obtida para COT, Clábil e metais pesados em amostras de sedimento de leito consta na Tabela 10 a seguir.

**Tabela 10 - Matriz de correlação dos parâmetros COT, Clábil e metais, determinados em amostras de sedimento de leito.**

Variáveis	COT	Clábil	Ag	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Ni	Zn	Zr
COT	<b>1</b>											
Clábil	<b>0,902</b>	<b>1</b>										
Ag	0,279	0,127	<b>1</b>									
Al	<b>0,434</b>	0,416	-0,201	<b>1</b>								
Cd	<b>0,481</b>	0,413	0,265	<b>0,558</b>	<b>1</b>							
Cr	<b>0,541</b>	<b>0,515</b>	0,228	<b>0,695</b>	<b>0,697</b>	<b>1</b>						
Cu	<b>0,483</b>	<b>0,434</b>	0,163	<b>0,581</b>	<b>0,953</b>	<b>0,675</b>	<b>1</b>					
Fe	<b>0,601</b>	<b>0,547</b>	0,173	<b>0,740</b>	<b>0,719</b>	<b>0,789</b>	<b>0,715</b>	<b>1</b>				
Pb	<b>0,638</b>	<b>0,694</b>	-0,071	<b>0,766</b>	<b>0,623</b>	<b>0,737</b>	<b>0,692</b>	<b>0,755</b>	<b>1</b>			
Ni	<b>0,510</b>	<b>0,453</b>	0,326	<b>0,618</b>	<b>0,927</b>	<b>0,80</b>	<b>0,896</b>	<b>0,850</b>	<b>0,682</b>	<b>1</b>		
Zn	<b>0,534</b>	<b>0,521</b>	0,216	<b>0,626</b>	<b>0,949</b>	<b>0,715</b>	<b>0,933</b>	<b>0,794</b>	<b>0,777</b>	<b>0,924</b>	<b>1</b>	
Zr	0,051	-0,028	0,350	0,231	<b>0,526</b>	<b>0,57</b>	<b>0,448</b>	0,407	0,103	<b>0,546</b>	0,421	<b>1</b>

Os valores em negrito são significativos com  $\alpha = 0,05$ .

## DISCUSSÕES

Os sedimentos dos pontos P4, P6, P7 e P8 possuem elevados percentuais de silte e argila, com valores médios de respectivamente 75,9, 54,2, 74,7 e 73,6%. Por essa razão, apresentam, de modo geral, tendência de possuírem maiores teores de matéria orgânica. Essa influência está relacionada com a capacidade da matéria orgânica formar diferentes tipos de ligações com as frações de argila e silte, favorecendo sua proteção coloidal (AMARO FILHO, ASSIS Jr. e MOTA, 2008). Nas amostras de sedimento dos pontos P1, P2, P3, P5, P9, P10 e P11, foram obtidas maiores frações de areia, o que as caracterizam como de baixa microporosidade, podendo favorecer a lixiviação de compostos diversos que venham a causar poluição em águas superficiais e subterrâneas.

As concentrações de COT nos sedimentos de leito (Tabela 4), ao longo dos pontos estudados, variaram de 0,64 a 30,16 g/kg. A dispersão destes dados em torno da média foi classificada como de moderada a forte ( $33,27 \leq CV \leq 124,33$ ), podendo ser atribuída tanto à variação de vazão dos esgotos lançados ao longo do trecho estudado quanto à variação da carga orgânica existente em cada lançamento.

Ao se determinar os Coeficientes de Correlação de Spearman ( $r$ ), ao nível de significância de 5%, verificou-se que o COT se correlacionou positivamente com a fração de silte + argila, com  $r = 0,65$  a uma significância de  $p \leq 0,0001$ . Esta

correlação é classificada, de acordo com Dancey e Reidy (2005), como moderada ( $0,3 \leq r \leq 0,7$ ).

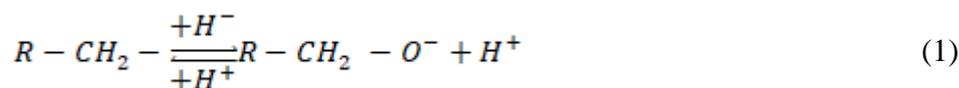
Quanto aos resultados de carbono lábil (Tabela 5), a variação foi de 0,10 a 5,70 g/kg e a variabilidade foi moderada ( $28,9\% \leq CV \leq 73,1\%$ ). As correlações obtidas entre o  $C_{\text{lábil}}$  e as frações de silte+argila também foram positivas, com  $r = 0,57$  a uma significância de  $p \leq 0,0001$ .

A análise da Tabela 6 mostra que em 50% dos dados de sedimento de leito ( $P_{50}$ ), a fração de  $C_{\text{lábil}}$  corresponde, no máximo, a 20,0% do COT, enquanto em 75% dos dados ( $P_{75}$ ) os percentuais de  $C_{\text{lábil}}$  em COT estão iguais ou abaixo de 41,7%, indicando predominância de material de difícil biodegradabilidade. Este resultado sugere que a carga de carbono orgânico proveniente de esgoto doméstico é pequena em relação à quantidade de carbono orgânico de origem natural, sendo esta situação resultado do expressivo aporte de partículas de solo (sedimentos da formação Rio da Batateira) aos cursos d'água estudados, oriundas das suas bacias de drenagem, em períodos de intensa precipitação pluviométrica.

Verificou-se que 75% dos valores de pH variaram de 7,0 a 7,5 nos pontos P1, P2, P4, P5, P6, P9 e P11, (Tabela 7), faixa esta que pode favorecer a retenção dos metais por adsorção. De acordo com McBride (1989), o abaixamento do pH favorece a dessorção de metais, pois os íons  $H^+$  podem deslocar parte dos metais adsorvidos em forma não trocável.

Nos pontos P7 (6,9) e P8 (6,0) 75% dos valores de pH apresentaram tendência à acidez. Como a textura dos sedimentos analisados nestes pontos era predominantemente silte-argilosa, e, portanto, com grande capacidade de retenção de água, esta tendência à acidez pode ser atribuída, de modo geral, aos processos de decomposição (mineralização) da matéria orgânica biodegradável e, principalmente, da matéria orgânica recalcitrante (humificação), uma vez que estes processos resultam na formação de ácidos orgânicos e inorgânicos. Nos pontos P3 e P10, onde a textura dos sedimentos era predominantemente arenosa, também foi verificada tendência á acidez, sendo esta atribuída ao descarte de efluentes ácidos oriundos do Frigorífico Industrial do Cariri e de esgotos domésticos, na devida ordem.

De fato, de acordo com Silva e Mendonça (2007), a estabilização química da matéria orgânica é atribuída a associação desta com as frações minerais de argila e silte, formando os complexos argilo-orgânicos. Nos compostos orgânicos, cargas variáveis de minerais, como a caulinita ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), a goethita ( $FeOOH$ ), a hematita ( $Fe_2O_3$ ) e a gibbsita ( $Al(OH)_3$ ), originárias da adsorção de íons em excesso, manifestam-se devido a dissociação de grupamentos funcionais, principalmente grupos carboxílicos e fenólicos. Nesses grupos funcionais, a carga líquida de superfície é variável com o pH do meio, onde nesta pesquisa a média dos valores de pH da água do rio foi de 6,43 (BISPO, 2015). Em condições ácidas os grupamentos apresentam protonados, mas a medida que o pH aumenta, ocorrem a desprotonação (dissociação do  $H^+$ ) como mostra a equação 1.



Santos *et al* (2003) afirmam que a influência da matéria orgânica sobre o pH pode ser atribuída ao fato dos ácidos húmicos e fúlvicos geralmente estarem entre os compostos orgânicos mais abundantes, diminuindo o pH em solos e sedimentos.

Esta tabela mostra que, de acordo com a classificação de Koch e Link (1971), os coeficientes de variação (CV) oscilaram de moderado ( $30\% \leq CV < 80\%$ ) a forte ( $CV > 80\%$ ). De modo geral, as maiores dispersões dos dados foram obtidas para os metais Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Zr e Cu. Essa variabilidade dos dados é atribuída ao fato de indústrias de fabricação de joias e bijuterias, curtume, alumínio e metalurgia lançarem seus resíduos líquidos e sólidos de forma pontual ao longo dos cursos d'água estudados nesta pesquisa.

De acordo com a Tabela 9 verificou-se que os valores de P75 dos pontos P2, P3, P4, P7, P9 e P10, para os metais Ag, Cd, Cr, Ni, Zn e Cu, foram maiores que os valores de prevenção (VP) estabelecidos pela Resolução CONAMA nº460/2013 para cada metal estudado. O zircônio não possui valor estabelecido pela referida resolução (Tabela 9). Este resultado sugere que as concentrações destes metais podem comprometer a manutenção das funções principais dos sedimentos de leito pesquisados e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

O P3, ponto situado no Rio Batateira, recebe contribuição de esgotos domésticos frequentemente, além disso, as principais causas da poluição e degradação ambiental desse manancial são o desmatamento da mata ciliar e a retirada de areia para a construção civil, a lavagem de veículos e banho de animais, o lixo depositado nas margens com presença de pilhas e baterias, além do lançamento de esgotos de oficinas.

O ponto P4 possui um recebimento contínuo de efluentes de indústria de curtimento de couro que utiliza em seu processo produtivo metais pesados como cromo, cádmio, chumbo e níquel (GODECKE, RODRIGUES, NAIME, 2012). Esses metais podem propiciar, além da poluição, sérios riscos à saúde das populações ribeirinhas e atividades econômicas locais. Em relação aos pontos P2, P7 e P9, estes são locais onde existe uma maior concentração de indústrias metalúrgicas e de fabricação de joias, que manipulam metais diversos. Esses metais podem ser carregados para o corpo aquático, tanto através do escoamento superficial em períodos de chuva como por ligações clandestinas de esgotos.

Quanto ao P10, este recebe efluentes dos bairros Timbaúbas e Limoeiro, uma vez que estes bairros não possuem rede coletora de esgotos, contribuindo, assim, para o aporte de materiais alóctones como plásticos, resíduos de materiais de construção, vidros, borracha, materiais orgânicos e substâncias inorgânicas oriundas de esgoto doméstico

e industrial para a rede de drenagem natural, favorecendo a obstrução das seções transversais e alterando a qualidade das águas.

No presente estudo as concentrações de poluentes acima do valor de prevenção (VP) pode indicar alterações nos sedimentos analisados, indicando também a possibilidade de alteração da qualidade da água subterrânea, devendo os responsáveis legais pela introdução de cargas poluentes no solo realizarem o monitoramento dos meios, identificação das fontes de poluição e seu controle.

Apesar dos demais pontos apresentarem resultados de Ag, Cd, Cr, Ni, Zn e Cu inferiores aos valores estabelecidos pela legislação para Valores de Prevenção (VP), não se deve desconsiderar que eles possam ser acumulativos no sedimento e bioconcentrados na cadeia alimentar, pois animais e plantas ribeirinhas podem acumulá-los vindo a alcançar elevados valores, podendo poluir a água, além de representar um grave perigo àqueles que deles se alimentam.

É importante destacar que nesta pesquisa foi verificada a predominância da caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) e de óxidos de Fe e Al. Também foi verificado que os suportes geoquímicos Al e Fe se correlacionaram positivamente com a maioria dos metais pesquisados (Tabela 10). Esta correlação indica que estes metais podem estar sendo adsorvidos pelos óxidos gibbsita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) (equação 2) e goethita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (equação 3), identificados na análise mineralógica realizada por Machado (2004). Estes óxidos formam uma proteção física e química, dificultando a disponibilidade destes metais para o ecossistema aquático.

Assim, as mais elevadas correlações dos principais metais pesados entre si e com o ferro e o alumínio podem ser um sinal importante de que os óxidos e hidróxidos destes elementos são os principais retentores dos metais nas amostras de sedimento analisadas.



Ao se avaliar a influência da granulometria sobre a retenção dos metais nos sedimentos, verificou-se, por meio dos Coeficientes de Correlação de Spearman (r), para um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), que os metais Cr, Pb e Zr apresentaram forte correlação positiva com a fração de silte e argila. Esse resultado sugere que as frações mais finas dos sedimentos apresentam maior afinidade pelos metais estudados que podem apresentar espécies iônicas de maior valência. A sequência de afinidade encontrada para os metais foi Cr, Pb e Zr foi  $\text{Cr} > \text{Pb} > \text{Zr}$ . A partir desse resultado também pode-se inferir que a fração de silte e argila é a responsável pela retenção do zircônio nos sedimentos da área estudada, uma vez que

este elemento químico não se correlacionou com os demais substratos geoquímicos avaliados nesta pesquisa.

## **IMPLICAÇÃO PARA PESQUISA E PRÁTICA**

Esse estudo concluiu que o processo de uso e ocupação do solo no município de Juazeiro do Norte - CE, relacionado, principalmente, a retirada das matas ciliares para o plantio agrícola, a pecuária as margens do rio Batateiras e a instalação de indústrias de vários seguimentos (construção civil, borrachas e calçados, metalúrgicas, galvanoplastia, dentre outras), apesar de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do município, está alterando a composição dos sedimentos de leito do seu sistema de drenagem natural.

Novos estudos da composição dos sedimentos são necessários para que a identificação das fontes de poluição dos recursos hídricos possa ser feita, sendo desejável, portanto, incorporá-los aos programas de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

## **CONCLUSÃO**

Após analisar a composição dos sedimentos da rede de drenagem natural do município de Juazeiro do Norte - CE foram obtidas as seguintes conclusões:

Os sedimentos de leito dos pontos P4, P6, P7 e P8 são constituídos, principalmente, da fração silte e argila, o que favorece a proteção da matéria orgânica. Nos demais pontos foram obtidos maiores frações de areia.

A fração de carbono orgânico predominante em todas as amostras foi a não biodegradável, o que sugere concentrações expressivas de matéria orgânica recalcitrante.

As concentrações encontradas dos metais Ag, Cd, Cr, Ni, Zn e Cu nos pontos P2, P3, P4, P7, P9 e P10 mostraram-se acima dos limites dos valores de prevenção (VP) estabelecidos pela resolução CONAMA 460/2013. Essa situação pode comprometer a manutenção das funções principais dos sedimentos de leito pesquisados e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

As correlações significativas obtidas entre os metais pesados e os suportes geoquímicos Al e Fe sugerem que os óxidos e hidróxidos destes elementos são os principais retentores dos metais nas amostras de sedimento analisadas. De forma mais específica, estes metais podem estar sendo adsorvidos pelos óxidos gibbsita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) e goethita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), predominantes na área objeto desta pesquisa.

## PESQUISAS FUTURAS

Para estudos futuros recomenda-se analisar nos sedimentos de leito as demais características físicas e químicas relacionadas a porosidade, grau de floculação dos agregados e substâncias húmicas. Essas variáveis ainda não foram pesquisadas em sedimentos de leito na rede de drenagem natural em Juazeiro do Norte – Ce e podem estar diretamente relacionadas com os mecanismos de retenção de metais pesados nesses ambientes.

## REFERÊNCIAS

- Addinsoft (2011) xlstat 2011: *statistical software to MS Excel*. Addinsoft, New York, USA.
- Aigars J.; Carman, R (2001). *Seasonal and spatial variations of carbon and nitrogen distribution in the surface sediments of the Gulf of Riga, Baltic Sea*. Chemosphere 43(3), 313–20..
- Alexandrino, R.C.S; Marques, J.J.G.S.M.; Silva, S.H.G.; Simão, F.R. (2020). A importância da avaliação da concentração natural de Pb em solos do Estado de Minas Gerais. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, e350985022, (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409.
- Alloway, B.J. Cadmium. In: Alloway, B.J. (1990), ed. *Heavy metals in soils*. Glasgow, Blackie & Son, P.107-108.
- Amaro filho, J; Assis Júnior, R.N; Mota, JCA. (2008). *Física do solo, conceitos e aplicações*. Imprensa Universitária, Fortaleza, 290p.
- Assine, M. L. (1992). Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22, n. 3, p. 289 - 300,
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984), ABNT NBR 7181: *SOLO – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro/RJ.
- Birch, G.A. (2004) *scheme for assessing human impacts on coastal aquatic environments using sediments*. In: C.D. Woodcoffe & R.A. Furness (Eds.), *Coastal GIS 2003*, Wollongong University Papers, 14 p. Brasil.
- Bispo, T. B. (2015) *Uso e ocupação do solo: níveis de qualidade de água, solo e sedimento de fundo no município de Juazeiro do Norte-CE*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) - Universidade Federal do Cariri (UFCA), Juazeiro do Norte.
- Conama. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2013) Resolução N° 460, de 30 de dezembro.
- Dancey, C; Reidy, J (2005). *Estatística sem matemática para psicologia usando SPSS para Windows*. Porto Alegre: Artmed.
- Dnpm – Departamento Nacional da Produção Mineral (1996). *Projeto de avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe*. Recife: DNPM. 103 p.
- Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1997). *Geoquímica de alguns solos brasileiros*. *Pesq. And. CNPS*, p.1-14.
- Funceme (2006). *Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará – Parte II: Mesorregião do Sul Cearense*. Fortaleza: FUNCEME, 128 p.
- Godecke, M.V.; Rodrigues, M.A.S.; Naime, R.H. (2012) Resíduos de curtume: estudo das tendências de pesquisa. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia*, v. 7, n. 7, p. 1357-1378.
- Ibge. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?Lang=&codmun=230730&search=ceara|juazeiro-do-norte|infograficos:-informacoes-completas>. Última visualização em: Julho.
- Ipece. (2015). Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *Perfil Básico Municipal: Juazeiro do Norte*. Disponível em: [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2013/Juazeiro\\_do\\_Norte.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2013/Juazeiro_do_Norte.pdf) . Última visualização em: Julho.
- Jacomine, P. K., Almeida, J. C., Medeiros, L. A. R. (1973). Boletim Técnico 28, convênio MA/DNPEA - SUDENE/DRN. Levantamento exploratório - reconhecimento dos solos do Estado do Ceará. Recife.

- Koch Jr., G. S., Link, R. F., (1971). *Statistical Analysis of Geological Data*. New York: John Willey & Sons Inc.
- Lima, Maria Gorethe de Sousa; Silva, Fernando José Araújo (2014). *Impacto da qualidade das águas de drenagem sobre os recursos hídricos em Juazeiro do Norte, Ceará: Subsídios à melhoria ambiental*. Universidade Federal do Ceará - UFC, Juazeiro do Norte: BNB, 34 p. (Relatório final, P0374).
- Machado, C. J. F., Santiago, M. M. F., Mendonça, L. A. R., Frischkorn, H., Mendes filho, J. (2004) Hidrogeoquímica como indicador de interconexão entre aquíferos na Chapada do Araripe utilizando o aplicativo PHREEQC. *Revista Águas Subterrâneas*, n. 18, p. 79 - 87, Jan..
- Mendonça, E.S.; Matos, E.S. (2005). *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.107.
- Moraes, P. P. F. De. (2010). *Análise Geoquímica-Ambiental dos Solos de Veredas da Bacia do Rio do Formoso, Município de Buritizinho, Minas Gerais, Brasil*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de mestre em Geologia. Belo Horizonte – MG.
- Nizoli. E.C.; Silva. W.L. (2009). *O papel dos sulfetos volatilizados por acidificação no controle do potencial de biodisponibilidade de metais em sedimentos contaminados de um estuário tropical, no sudeste do Brasil*. *Quim. Nova*, v. 32, n. 2, p. 365-372.
- Rognerud, S.; Fjeld, E. (2001) *Trace Element Contamination of Norwegian Lake Sediments*. BOOK. *Ambio*, v.30. 10.1579/0044-7447.
- Santos, I. R.; Baisch, P.; Lima, G. T. N. P. De. (2003) *Metais pesados em sedimentos superficiais da Lagoa Mirim, divisa Brasil – Uruguai*. *Geohim, Brasil*.17 (1) 037-047
- Silva, C. J. C. (2013) *Influência antrópica na composição dos sedimentos da rede de drenagem natural em Juazeiro do Norte – Ce*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) - Universidade Federal do Cariri (UFCA), Juazeiro do Norte.
- Silva, I.R.; Mendonça, E.S. (2007). *Matéria orgânica do solo*. In: Novaes, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p. 275-374.
- Silva, C. M. S. V. (1996). *Modelo fenomenológico para a circulação de água na Bacia Sedimentar do Cariri com base em isótopos e hidroquímica*. 1996. 162 f. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Southwell, M. W., Kieber, R. J., Mead, R. N., Brooks Avery, G. And Skrabal, S. A. (2010): *Effects of sunlight on the production of dissolved organic and inorganic nutrients from resuspended sediments*, *Biogeochemistry*, 98(1-3), 115–126, doi:10.1007/s10533-009- 9380-2.
- U.s.epa. (1994.). “Method 200.8: *Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*,” Revision 5.4. Cincinnati, OH.
- Walling. D. E. (2005). *Tracing Suspended Sediment Sources in Catchments and River Systems*. *Science of the Total Environment*. V.344. Pp.159 – 184.
- Wang, F.; Ji, R.; JIANG, Z.; CHEN, W. (2014) *Species-dependent effects of biochar amendment on bioaccumulation of atrazine in earthworms*. *Environmental Pollution*, v.186, p.241-247..