



Alcalinidade total normalizada na Zona Econômica Exclusiva da região Norte (Brasil)

Normalized total alkalinity in the Exclusive Economic Zone of the North Region (Brazil)

M. L. S. Santos^{1*}; A. O. Bordalo²; A. C. Silva³; M. Araújo³

¹Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos/Laboratório de Química Ambiental, Universidade Federal Rural da Amazônia, CEP 66077-530, Belém-Pará, Brasil

²Centro de Ciências Naturais e Tecnologia/Laboratório de Hidrocarbonetos, Universidade do Estado do Pará, CEP 66095-100, Belém-Pará, Brasil

³Departamento de Oceanografia/Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira, Universidade Federal de Pernambuco, CEP 50739-540, Recife-Pernambuco, Brasil

*mdelssantos@yahoo.com.br

(Recebido em 15 de março de 2016; aceito em 20 de julho de 2016)

No ambiente marinho uma equação inversa entre a alcalinidade total e a salinidade, denominada de alcalinidade total normalizada (ATN) tem como finalidade mostrar uma relação linear entre estes dois parâmetros. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição superficial e vertical da ATN ao longo da Zona Econômica Exclusiva-ZEE da região Norte do Brasil, com os dados obtidos nas Operações Norte III e Norte IV, dentro do âmbito do Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE). Os dados demonstraram que o sistema do dióxido de carbono ao longo da ZEE Norte mantém o pH dentro da faixa esperada para o ambiente marinho. Os menores valores de pH (7,48 Norte III e 7,38 Norte IV), de AT (1971 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, Norte III e 1878 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ Norte IV) e de ATN (2295 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ Norte III, 2293 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ Norte IV) na camada superficial, foram observados na área com influência da descarga do rio Amazonas, ou seja, com baixos valores de salinidade (28,31 Norte III e 24,00 Norte IV). As massas de águas na coluna de água, encontradas na região, tiveram diferenças na concentração de ATN. Essas diferenças podem ser associadas aos processos de degradação da matéria orgânica, e a formação ou dissolução do carbonato de cálcio.

Palavras-chave: REVIZEE, salinidade, massas de água.

An inverse equation between the total alkalinity and the salinity, denominated of normalized total alkalinity (NTA) to show a linear relationship among those parameters. The objective of this work was to evaluate the superficial and vertical distribution of NTA along the Economic Exclusive Zone-EEZ of the North Brazil, with the data obtained in the Operations North III and North IV, inside of the Program of Evaluation of Sustainable Potential of Living Resources in the Exclusive Economic Zone (REVIZEE). The data demonstrated that the system of the carbon dioxide maintains the pH inside of the expected strip for the seawater. In the superficial layer, the smallest pH values (7,48 North III and 7,38 North IV), NTA (1971 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, North III and 1878 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ North IV) and of NTA (2295 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ North III, 2293 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ North IV), were observed in the area with influence of the discharge of the Amazon river, with low salinity values (28,31 North III and 24,00 North IV). The waters masses found in the water column in this area, had differences in the concentration of NTA. Those differences can be associated to the processes of organic matter degradation, and the formation or dissolution of the calcium carbonate.

Keywords: REVIZEE, salinity, waters masses.

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente 40% da fonte antrópica de CO_2 liberada para atmosfera foi retida nos oceanos [1]. A entrada de CO_2 ocasiona aumento da concentração de íons H^+ na água e consequentemente torna o meio ácido. Contudo, o sistema dióxido de carbono no ambiente marinho funciona como tampão e mantém o pH em um limite estreito [2]. Este equilíbrio do pH é relacionado à presença do par ácido-base conjugado fraco, como por exemplo, os ânions HCO_3^- e CO_3^{2-} .

O índice para representar a concentração de todos os ânions básicos do sistema de CO_2 dos oceanos é a alcalinidade total (AT). Esse parâmetro é uma importante propriedade físico-química da água do mar e tem um papel fundamental nos vários processos químicos e biológicos. Segundo Burke e Atkinson (1988) [3] destacam-se: (a) os HCO_3^- e CO_3^{2-} maiores ânions de ácidos fracos na água do mar, o que permite observar o comportamento conservativo com a salinidade dos oceanos; (b) a precipitação do carbonato de cálcio diminui a AT, e como resultado AT pode ser indicativo da calcificação de processos biogeoquímicos que envolvem espécies de CO_2 ; e (c) a fotossíntese e a respiração das comunidades biológicas que modificam a concentração de carbono inorgânico dissolvido.

No ambiente marinho uma equação inversa entre a alcalinidade total e a salinidade, denominada de alcalinidade total normalizada foi empregada por Millero (1996) [4] com a finalidade de mostrar uma relação linear entre estes dois parâmetros.

Na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) da região Norte do Brasil, destaca-se a presença das águas oriundas do rio Amazonas na área da plataforma continental. O rio Amazonas é responsável pelo estabelecimento da maior zona estuarina do mundo. Aproximadamente 16% da água doce e 10% dos sedimentos lançados anualmente nas águas do Oceano Atlântico são oriundos desse rio [6].

O rio Amazonas é considerado como um dos maiores rios do mundo, em termos de descarga de água ($100.000-220.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) e de sedimentos ($11-13 \times 10^8 \text{ t.ano}^{-1}$) [7], com um fluxo de componentes dissolvido de $2-3 \times 10^8 \text{ tons.ano}^{-1}$ [8], e uma variabilidade intra-anual, que ocorre sazonalmente com mínimo ($0,9 \times 10^5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) de outubro a dezembro e máximo ($2,3 \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de maio a junho [9].

Trabalhos desenvolvidos na Zona Econômica exclusiva (ZEE) da região Norte do Brasil [10, 11, 12, 13, 14] descrevem uma estabilidade térmica na camada superficial, uma diminuição da temperatura com o aumento da profundidade e a presença da termoclina na área oceânica.

Devido ao compromisso assumido pelo Brasil, quando da ratificação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), que atribui aos países costeiros direitos e responsabilidades quanto à exploração, conservação e gestão dos recursos vivos de sua Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e à dinâmica interna e evolução da atividade pesqueira nacional, foi criado o Programa “Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva” - REVIZEE. Este Programa teve como objetivo central proceder ao levantamento dos potenciais sustentáveis de captura dos recursos vivos na ZEE, que compreende uma faixa que se estende das 12 às 200 milhas marítimas, a partir das linhas de base que servem para medir a largura do mar territorial.

O Programa REVIZEE na Plataforma Continental Norte do Brasil abrangeu a área entre o Cabo Orange/AP e a Foz do rio Parnaíba/PI, e realizou campanhas oceanográficas denominadas: Operação Norte I (1995), Norte II (1997), Norte III (1999) e Norte IV (2001), a bordo do Navio Oceanográfico “ANTARES” da Marinha do Brasil.

Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a distribuição superficial e na coluna de água da alcalinidade total (AT) e da alcalinidade total normalizada (ATN) ao longo da ZEE Norte, com os dados obtidos nas Operações Norte III e Norte IV; (ii) relacionar os dados de AT e ATN com os valores de temperatura, salinidade e pH.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As estações oceanográficas executadas durante as Operações Norte III e Norte IV (Figura 1), a bordo do Navio Oceanográfico “ANTARES”, foram efetuadas com a finalidade de obter informações de natureza biótica e abiótica na ZEE Norte, entre o Cabo Orange/AP e a Foz do rio Parnaíba/PI, dentro do âmbito do Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE).

As coletas hidrológicas foram realizadas com garrafas de Niskin, acopladas ao conjunto Rosette/CTD. As profundidades das amostragens foram: superfície, 50% e 1% de penetração de luz, início, meio e fim da termoclina.

Em ambas as operações foram obtidos e analisados a bordo: (i) salinidade e temperatura registrados por um CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) SeaBird SBE 9-plus ligado à unidade de bordo SBE 11 acoplado a uma Rosette; (ii) pH medido com um pHmetro da marca Hanna; (iii) alcalinidade total medida pelo método do pH descrito por Wagener e Carreira (1997).

Para obtenção da alcalinidade total normalizada foi realizado o cálculo: $ATN = AT \times 35 / S$, onde, ATN é a alcalinidade total normalizada ($\mu\text{mol kg}^{-1}$), AT alcalinidade total ($\mu\text{mol kg}^{-1}$), 35 é o valor da salinidade constante [4].

Os dados de temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total, alcalinidade total normalizada, obtidos durante as Operações Norte III e Norte IV, foram analisados através de métodos de estatística descritiva e análise de componentes principais.

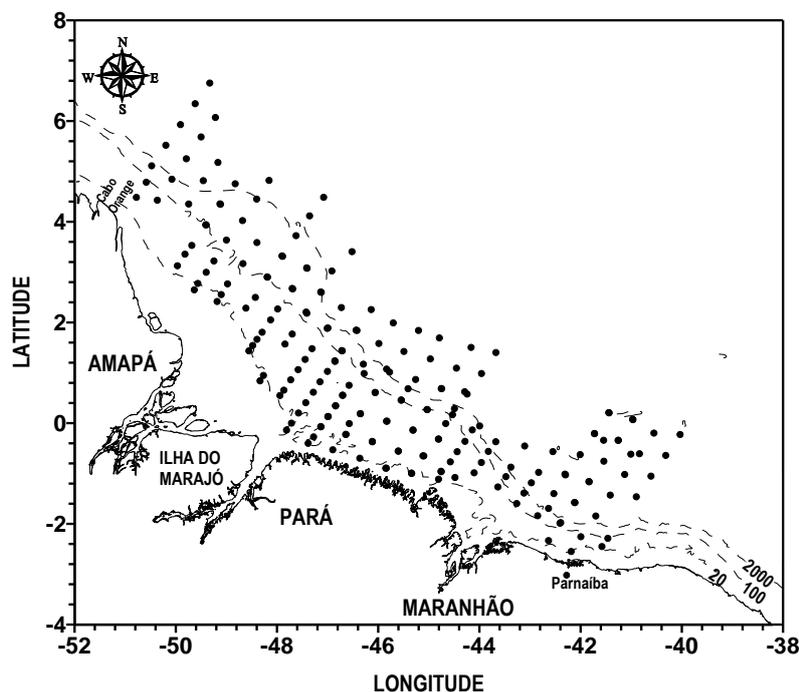


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, os pontos indicam as estações oceanográficas realizadas durante a Operação Norte III e Norte IV/Programa REVIZEE.

3. RESULTADOS

No presente trabalho as análises de alcalinidade total foram limitadas as estações com faixas de salinidade superficial de 28,31 a 36,27 (média de $35,06 \pm 1,76$), durante a Operação Norte III; e de 24,00 a 36,42 (média de $35,27 \pm 2,20$) durante a Operação Norte IV (Tabela 1).

A distribuição vertical da salinidade oscilou de 28,31 a 37,10 (média de $35,42 \pm 8,60$), durante a Operação Norte III; e de 24,00 a 36,91 (média de $35,78 \pm 1,26$) durante a Operação Norte IV (Tabela 2).

Tabela 1: Estatística descritiva (número de amostras (N°), mínimo, máximo, média) dos valores superficiais (temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total – AT, alcalinidade total normalizada - ATN) obtidos nas Operações Norte III e Norte IV, na ZEE Norte.

		N°	Mínimo	Máximo	Média
Operação Norte III	Temperatura (°C)	91	26,82	29,25	$27,93 \pm 0,53$
	Salinidade	91	28,31	36,27	$35,06 \pm 1,76$
	pH	92	7,48	8,34	$8,16 \pm 0,17$
	AT ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	91	1971	2379	$2317 \pm 90,40$
	ATN ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	91	2295	2436	$2314 \pm 29,50$
Operação Norte IV	Temperatura (°C)	148	26,17	29,30	$27,62 \pm 0,74$
	Salinidade	140	24,00	36,42	$35,27 \pm 2,20$
	pH	144	7,38	8,23	$7,75 \pm 0,13$
	AT ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	120	1878	2386	$2347 \pm 80,80$
	ATN ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	120	2293	2480	$2305 \pm 26,70$

Tabela 2: Estatística descritiva (número de amostras (N°), mínimo, máximo, média e desvio padrão) dos valores obtidos na coluna de água (temperatura, salinidade, pH, alcalinidade total – AT, alcalinidade total normalizada - ATN) durante as Operações Norte III e Norte IV, na ZEE Norte.

		N°	Mínimo	Máximo	Média
Operação Norte III	Temperatura (°C)	559	3,01	29,25	21,49 ± 8,60
	Salinidade	559	28,31	37,10	35,42 ± 1,14
	Ph	560	7,10	8,38	8,05 ± 0,24
	AT (μmol kg ⁻¹)	558	1971	2421	2335 ± 59,70
	ATN (μmol kg ⁻¹)	558	2284	2436	2308 ± 18,10
Operação Norte IV	Temperatura (°C)	633	3,68	29,3	25,02 ± 5,91
	Salinidade	622	24,00	36,91	35,78 ± 1,26
	Ph	625	7,10	8,27	7,70 ± 0,17
	AT (μmol kg ⁻¹)	466	1878	2409	2363 ± 51,64
	ATN (μmol kg ⁻¹)	466	2287	2480	2300 ± 16,55

Em relação aos dados de temperatura na camada superficial estes oscilaram de 26,82°C a 29,25 °C (média de 27,93 °C ± 0,53) durante a Operação Norte III e de 26,17°C a 29,30 °C (média de 27,62 °C ± 0,74) durante a Operação Norte IV. A distribuição vertical deste parâmetro oscilou de 3,01°C a 29,25 °C (média de 21,49°C ± 8,60) durante a Operação Norte III e de 3,68°C a 29,30 °C (média de 25,02 °C ± 5,91) durante a Operação Norte IV (Tabelas 1 e 2).

As massas de água na região da Zona Econômica Exclusiva brasileira, na área da Plataforma Continental do Amazonas e área oceânica adjacente são: Água Costeira com temperatura entre 26,00°C e 28,87 °C, e salinidade ≤ 34,00; Água Tropical com temperatura > 18,00 °C e salinidade > 36,00; Água Central do Atlântico Sul com temperatura entre 5,95°C e 18,35°C, e salinidade entre 34,52 e 36,40; e Água Intermediária da Antártica com temperatura entre 4,92°C e 5,90°C, e salinidade entre 34,48 e 34,78 [16].

No presente trabalho, os valores de salinidade e de temperatura na camada superficial indicam a presença das massas de Água Costeira e Água Tropical. Enquanto, na coluna de água foram observadas a Água Central do Atlântico Sul e Água Intermediária da Antártica.

As distribuições dos dados de ATN versus profundidade durante as Operações Norte III e Norte IV foram similares (Figuras 3a e 3b), com os maiores valores na massa de Água Costeira. Na massa de Água Tropical foi observada uma diminuição dos valores de ATN, em ambas as operações.

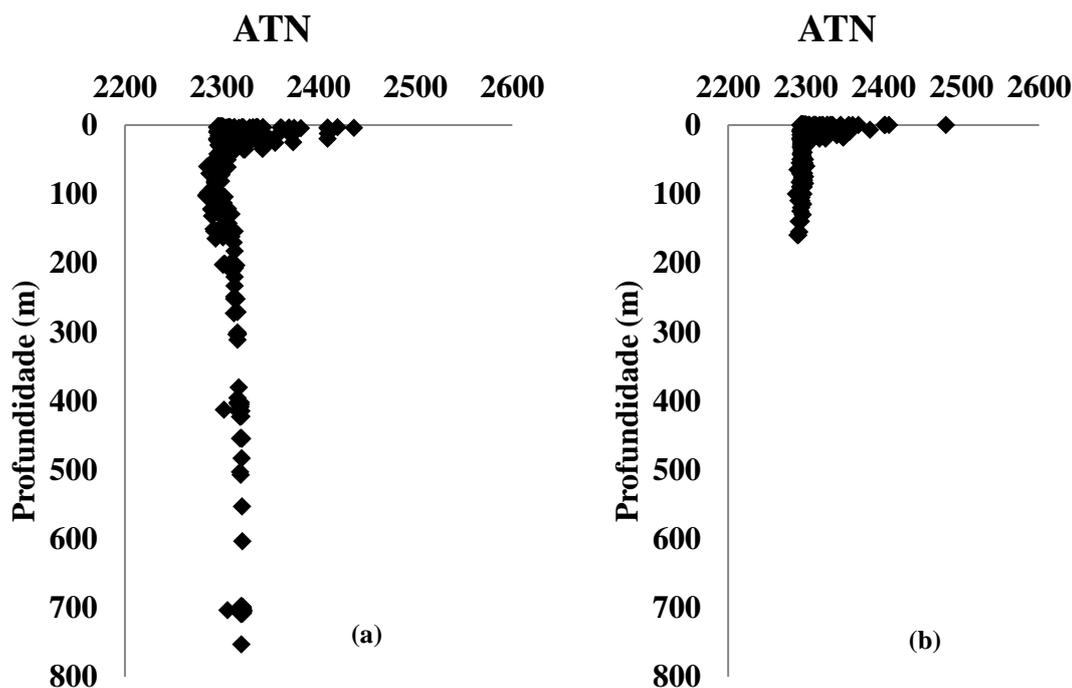


Figura 3: Distribuição vertical da ATN ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) versus profundidade com dados obtidos durante a Operação Norte III (a) e Norte IV (b).

A concentração de ATN superficial teve uma variação de $2295 \mu\text{mol kg}^{-1}$ a $2436 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (média de $2314 \mu\text{mol kg}^{-1} \pm 29,50$) durante a Operação Norte III; e de $2293 \mu\text{mol kg}^{-1}$ a $2480 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (média de $2305 \mu\text{mol kg}^{-1} \pm 26,70$) durante a Operação Norte IV. Em ambas as operações foram observadas o comportamento linear da ATN com a salinidade (Figuras 4a e 4b).

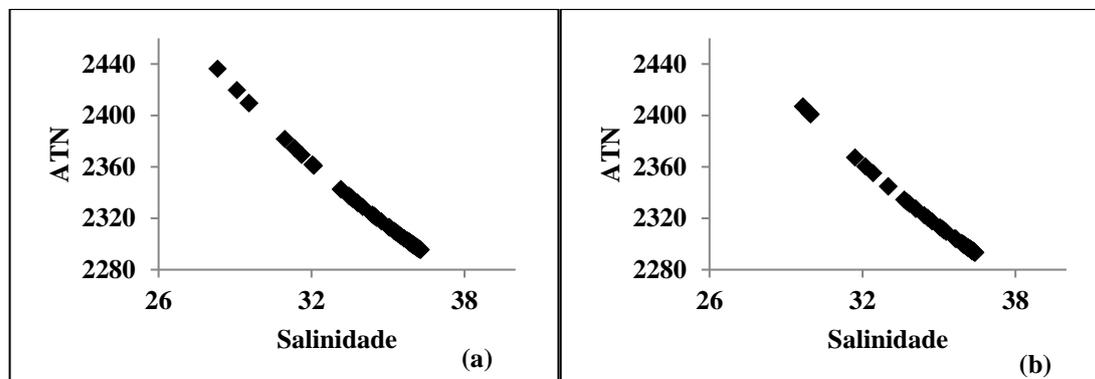


Figura 4: Distribuição superficial da ATN ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) versus salinidade com dados obtidos durante a Operação Norte III (a) e Norte IV (b).

Este comportamento conservativo também foi observado para AT, com uma variação superficial de $1971 \mu\text{mol kg}^{-1}$ a $2379 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (média $2317 \mu\text{mol kg}^{-1} \pm 90,40$), durante a Operação Norte III e de $1878 \mu\text{mol kg}^{-1}$ a $2386 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (média de $2347 \mu\text{mol kg}^{-1} \pm 80,80$) durante a Operação Norte IV (Tabela 1).

A análise de componentes principais com os dados superficiais obtidos durante as Operações Norte III e Norte IV, mostrou forte relação entre a salinidade (-0,97) e AT (-0,98), e uma relação inversa deste grupo com a temperatura (0,68) e a ATN (0,97), ao longo da PC1, que explicou 34% da variância total (Tabela 3). Essa componente reforçou o verificado nas figuras 4a e 4b, ou seja, com o aumento da salinidade houve uma diminuição da ATN. Por outro lado, a relação inversa entre a temperatura e a salinidade a AT, indica a presença da massa de água costeira com baixa salinidade e alta temperatura.

Tabela 3: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos superficiais com dados obtidos durante as Operações Norte III e Norte IV. Os valores mais significativos estão em negrito.

Variável	PC1	PC2
Temperatura (°C)	0,68	-0,36
Salinidade	-0,97	-0,17
pH	0,31	-0,89
AT ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	-0,98	0,17
ATN ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0,97	0,20
Variância explicada (%)	34	10

Ao longo da PC2, que explicou 10% da variância total, destacou-se somente o pH (-0,89). O aumento ou a diminuição deste parâmetro no sistema do carbonato é relacionado ao processo fotossintético e a oxidação da matéria orgânica (Tabela 3).

O valor superficial de pH variou de 7,48 a 8,34 (média $8,16 \pm 0,17$) durante a Operação Norte III, e de 7,38 a 8,23 (média $7,75 \pm 0,13$) durante a Operação Norte IV. Na coluna de água o mínimo foi de 7,10 e o máximo de 8,38 (média $8,05 \pm 0,24$) durante a Operação Norte III, e de 7,10 e de 8,27 (média $7,70 \pm 0,17$) durante a Operação Norte IV.

Com os dados obtidos na coluna de água e na superfície foi feita uma análise de componentes principais que explicou 39% da variância total. Ao longo da PC1, que explicou 27% da variância total, mostrou uma relação direta entre a salinidade (-0,98) e a AT (-0,98), os quais foram inversamente relacionados com a ATN (0,87).

Ao longo da PC2 destacou-se a temperatura (-0,76) e o pH (-0,79), esse componente explicou 12% da variância total, o que indica que com a diminuição da temperatura ocorreu um menor valor de pH (Tabela 4).

Tabela 4: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos (coluna de água e superfície) com dados obtidos durante as Operações Norte III e Norte IV. Os valores mais significativos estão em negrito.

Variável	PC1	PC2
Temperatura (°C)	-0,21	-0,76
Salinidade	-0,98	0,03
pH	-0,01	-0,79
AT ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	-0,98	0,03
ATN ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0,87	-0,13
Variância explicada (%)	27	12

4. DISCUSSÃO

O conhecimento da concentração da AT e do valor do pH do ambiente marinho é relacionado ao sistema do dióxido de carbono inorgânico (DCI). De acordo com Bakker *et al.* (1999) [17] o DCI na água do mar consiste aproximadamente de 0,5 – 1% de dióxido de carbono, de 0,002% de ácido carbônico, de 90% de bicarbonato e de 9% de carbonato.

Os bicarbonatos e carbonatos constituem aproximadamente 98% da AT em pH de 8,1; o que explica a relação linear entre a AT e a salinidade na camada superficial dos oceanos [17, 18, 19, 20]. Goyet *et al.* (1998) [21] descreveram que abaixo da camada superficial, a concentração de carbonato é afetada pela respiração, oxidação da matéria orgânica, e formação ou dissolução de carbonato de cálcio.

No presente trabalho os dados superficiais de AT ficaram dentro da faixa descrita por Millero *et al.* (1998) [19] para o Oceano Atlântico, valores entre 2180 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ e 2459 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Contudo, os valores mínimos (1971 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ e 1878 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, tabela 1) detectados em ambas as operações foram menores do que os encontrados por Millero *et al.* (1998) [19], o que pode ser justificado pela presença de águas com baixos valores de salinidade (24, tabela 1) do que os considerados pelo referido autor (> 32). Goyet *et al.* (1998) [21] em pesquisa no Oceano Atlântico Tropical encontraram valores de AT entre 2260 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ e 2450 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$, em águas com valores de salinidade entre 35 e 37. Esses autores caracterizaram a Contracorrente Norte Equatorial com valores relativamente baixos de salinidade, e com baixas concentrações de TCO₂ e AT; em contraste a Corrente Sul Equatorial foi caracterizada por altos valores de salinidade, de TCO₂ e AT.

Os baixos valores de salinidade na área em estudo estão relacionados com presença da massa de Água Costeira consequência das águas oriundas do rio Amazonas. Essa massa de água teve valores elevados de temperatura e de ATN. Estes dois parâmetros foram positivamente correlacionados na análise de componentes principais obtida com os dados superficiais.

Na área oceânica, da superfície para o fundo, a primeira massa de água encontrada na região é a Água Tropical, com valores de ATN menores quando comparados aos da Água Costeira. Abaixo desta registra-se a presença da Água Central do Atlântico Sul, baixo valor de salinidade. No intervalo de 500 m a cerca de 1200 m de profundidade encontra-se a Água Intermediária da Antártica, com baixo valor de temperatura [16]. Ressalta-se que, estas massas de águas foram detectadas somente na operação Norte III.

A distribuição superficial da AT e da ATN em função da salinidade foram similares, com comportamento conservativo, corroborando com o descrito por Millero *et al.* (1998) [19]. A troca entre o oceano e atmosfera na camada superficial modifica o conteúdo de espécies de carbono inorgânico na água do mar, porém não altera a concentração da AT [17].

Na ZEE Norte, área da Plataforma Continental do Amazonas, o aumento do pH foi relacionado diretamente com o aumento da clorofila *a* e do oxigênio dissolvido [22]. Esta distribuição foi

similar à observada por DeMaster *et al.* (1996) [23] que encontraram nas águas superficiais da Plataforma Continental do Amazonas, um modelo coerente de distribuições superficiais de pH, clorofila *a*, saturação de oxigênio dissolvido e o conteúdo de sílica biogênica, identificando uma área de alta produtividade, elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, pH e sílica.

Valores alcalinos do pH foram observados tanto na superfície quanto na coluna de água, o que demonstrou o equilíbrio entre os íons ácidos e básicos, apesar da diminuição do pH para um valor mínimo de 7,10 (tabela 2), em ambas as operações. O pH nos oceanos diminui com o decréscimo da temperatura e com o aumento da pressão hidrostática. A formação de carbonatos e bicarbonatos (principalmente de cálcio) diminuem com o aumento da profundidade e da concentração de CO₂ dissolvido na água, provocando um decréscimo no pH [24].

Conforme observado na análise de componentes principais os valores de pH diminuíram com a temperatura, demonstrando que a diminuição do valor de pH foi ocasionada pela hidrólise do CO₂ produzida pela remineralização da matéria orgânica particulada em águas profundas.

5. CONCLUSÃO

Os dados demonstraram que o sistema do dióxido de carbono ao longo da ZEE Norte mantém o pH dentro da faixa esperada para o ambiente marinho. Os menores valores de pH, de AT e de ATN na camada superficial, foram observados na área com influência da descarga do rio Amazonas, ou seja, com baixos valores de salinidade.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). À tripulação do Navio Oceanográfico ANTARES (H40). Ao Ministério da Defesa (MD)/ Marinha do Brasil (MB), à Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ramos CAS. Análises físico-químicas de sistemas marginais marinhos. Rio de Janeiro: Interciência; 2004. 128 p.
2. Pereira RC, Gomes SA. Biologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência; 2009. 656 p.
3. Burke CM, Atkinson MJ. Measurement of total alkalinity in hypersaline water: values of f_H . Marine Chemistry. 1988. 25:49-55, doi: 10.1016/0304-4203(88)90014-x.
4. Millero FJ. Chemical Oceanography. Florida: CRC Press; 2013. 591 p.
5. Wong GTF. Alkalinity and pH in the Southern Chesapeake Bay and the James River Estuary. Limnology and Oceanography. 1979. 24(5): 970-977, doi:10.4319/Io.1979.24.5.0970
6. Muller-Karger FE, McClain CR, Richardson PL. The dispersal of the Amazon's water. Nature. 1988. 333:56-69, doi: 10.1038/333056a0.
7. Kineke GC, Sternberg RW, Trowbridge JH, Geyer WR. Fluid-mud processes on the Amazon continental shelf. Continental Shelf Research. 1996. 16:667-696, doi:10.1016/0278-4343(95)00050-x.
8. Gibbs R.J. Water chemistry of the Amazon river. Geochim. Cosmochim. Acta. 1972. 36:1061-1066.
9. Curtin TB, Legeckis RV. Physical observations in the plume region of the Amazon River during peak discharge - I. Surface variability. Continental Shelf Research. 1986. 6 (1/2): 31-51, doi:10.106/0278-4343(86)90052-x.
10. Ryther JH, Menzel DW, Norwin N. Influence of the Amazon river outflow on the ecology of the western tropical atlantic I. Hydrography and nutrient chemistry. Journal of Marine Research. 1967. 25: 69- 83.
11. Santos MLS. Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplancônica [dissertação]. Recife (PE): Universidade Federal de Pernambuco; 2000. 108 f.
12. Santos MLS, Silva AC. Estudo da temperatura, salinidade e massas d'água na plataforma continental do Amazonas e área oceânica adjacente. In: Semana Nacional de Oceanografia; Itajaí (SC): Anais; 2000. p. 432- 434.
13. Delfino IB, Eschirque AS, Saraiva, ALL, Santos, MLS. Estudo dos parâmetros físicos e químicos na Plataforma Continental do Maranhão e área oceânica adjacente. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica; Belém (PA): Anais;2003.

14. Eschirque, AS, Saraiva, ALL, Delfino, IB, Santos, MLS, Silva AC. Sazonalidade na ZEE Norte: estudo de parâmetros abióticos (4°30'N e 6°46,2'N de latitude e 51°1,8'W e 49°21'W de longitude). In: Congresso Brasileiro de Geoquímica; Belém (PA): Anais;2003.
15. Wagener ALR, Carreira R.. Métodos Analíticos de Referência em Oceanografia Química – Programa REVIZEE. Rio de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente; 1997. 83 p.
16. Silva AC, Araújo M, Bourlés B. Variação Sazonal da Estrutura de Massa de água na Plataforma Continental do Amazonas e área Oceânicas Adjacentes. *Revista Brasileira de Geofísica*. 2005. 23(2): 145-157, doi: 10.1590/S0102-261X2005000200004.
17. Bakker DCE, Baar HJW, Jong E. The dependence on temperature and salinity of dissolved inorganic carbon in East Atlantic surface waters. *Marine Chemistry*. 1999. 65:263–280, doi:10.106/S0304-4206(99)00017-1.
18. Brewer PG, Bradshaw AL, Williams RT. Measurements of total carbon dioxide and alkalinity in the North Atlantic Ocean in 1981. In: Trabalka, J.R., Reichle, D.E. _Eds., The changing carbon cycle. A global analysis, Springer-Verlag, 1986. pp. 348–370.
19. Millero FJ, Lee K, Roche M. Distribution of alkalinity in the surface waters of the major oceans. *Marine Chemistry*. 1998. 60:111-30, doi:10.106/S0304-4203(97)00084-4.
20. Goyet C, Brewer PG. Biochemical properties of the oceanic carbon cycle. In: Willebrand, J., Anderson, D.L.T. Eds., NATO ASI Series, vol. I 11, Modeling Oceanic Climate Interactions, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1993. p. 271–297.
21. Goyet C, Adams R, Eiseid G. Observations of the CO system properties in the tropical Atlantic Ocean. *Marine Chemistry*. 1998. 60:49–61.
22. Santos MLS, Muniz K, Barros Neto B, Feitosa FAN. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas. *Química Nova*. 2007. 30: 569 – 573, doi:10.1590/S0100-40422007000300012.
23. DeMaster DJ, Smith WO, Aller JY. Biogeochemical processes in Amazon shelf waters: chemical distributions and uptake rate of silicon, carbon and nitrogen. *Continental Shelf Research*. 1996. 16(5/6): 617- 643, doi: 10.1016/0278-4343(95)00048-8.
24. Riley JP, Chester R. Introduction to marine chemistry. London: Academic Press; 1971. 465p.