



## II.6.1.2. Qualidade de água e sedimento

### II.6.1.2.1. Referências do diagnóstico

No âmbito deste estudo foram utilizadas informações obtidas de dados disponíveis na literatura, dentre os quais podemos separar 4 grandes projetos (ou esforços de levantamento de dados):

- Caracterização ambiental (*baseline*) e monitoramentos ambientais (das perfurações dos poços 1-BP-1A-APS e 1-BP-2A-APS) realizados na área do Bloco BFZ-2, pela consultora Analytical Solutions para a BP Brasil Ltda. nos anos de 2000 e 2001 (ANALYTICAL SOLUTIONS 2000; 2001a; 2001b);
- Estudo Multidisciplinar dos Sedimentos da Plataforma Amazônica (*Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study - AmasSeds*) através de um programa de cooperação de pesquisa geológica, química, física e biológica, conduzido por oceanógrafos do Brasil e dos Estados Unidos. O programa foi concebido para estudar a plataforma continental, nas proximidades da foz do rio Amazonas, com ênfase nos principais processos sedimentares (AMASSEDS, 1990; DEMASTER & POPE, 1996; ELIAS, 1998; FERRAZ *et al.*, 1996; LANDIM, 2000; SILVEIRA, 1993; SOUZA, 1995);
- Programa REVIZEE – Programa de Avaliação Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva, destinado a fornecer dados técnico-científicos consistentes e atualizados, essenciais para subsidiar o ordenamento do setor pesqueiro nacional. Neste diagnóstico serão consideradas apenas as informações referentes ao Score Norte (da Foz do rio Parnaíba à fronteira marítima com a Guiana) e, na medida do possível, apenas aquelas obtidas em frente aos estados do Pará e do Amapá (LIMA *et al.*, 2006; PEREIRA *et al.*, 2006; SANTOS, 2004; SANTOS *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2008; SANTOS & MUNIZ, 2010; SIQUEIRA *et al.*, 2003; SIQUEIRA *et al.*, 2006; SIQUEIRA & APRILE, 2012); e
- Projeto PIATAM Oceano, criado em 2006, teve por principal objetivo coletar e organizar, reinterpretar e georreferenciar dados ambientais nas bacias da Margem Equatorial Brasileira. A partir destas informações será possível conhecer os ecossistemas oceânicos e os níveis de sensibilidade ambiental na área das atividades de exploração, produção e transporte de petróleo e derivados, visando caracterizar ambientalmente a área de atuação da PETROBRAS nas bacias equatoriais da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Barreirinhas (CPRM, 1985 *apud* PIATAM OCEANO, 2008).

As tabelas a seguir apresentam, resumidamente, as principais características de cada uma das referências utilizadas para o presente diagnóstico quanto à qualidade da água (**Tabela II.6.1.2.1-1**) e quanto à qualidade do sedimento (**Tabela II.6.1.2.1-2**), localizando onde estes dados foram obtidos em relação à área dos blocos objeto do presente diagnóstico.

Considerando a dificuldade de obtenção de informações sobre a qualidade da água e do sedimento obtidos especificamente na área dos blocos FZA-M-57, FZA-M-59, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-90, FZA-M-125 e FZA-M-127, foram consideradas informações obtidas também em áreas adjacentes. Dentre elas, as mais próximas são aquelas dos esforços de caracterização e monitoramento realizados pela BP entre 2000 e 2001 na área do Bloco BFZ-2. Adicionalmente, algumas estações consideradas por PIATAM OCEANO (2008) e por DEMASTER & POPE (1996) caem nos limites, ou dentro, da área do Bloco FZA-M-86 e dos blocos FZA-M-125 e FZA-M-127, respectivamente.

Vale ressaltar que os resultados apresentados nos itens a seguir (qualidade da água e qualidade do sedimento), referem-se às concentrações máximas e mínimas obtidas para cada um dos trabalhos acima apresentados e, quando possível, diferenciados por profundidade de coleta/amostragem. Para estes conjuntos de dados máximos e mínimos, agrupados por parâmetros, foi aplicada uma avaliação estatística básica (média e desvio padrão da concentração mínima, e média e desvio padrão da concentração máxima).

É importante registrar, também, que as referências algumas vezes apresentavam os resultados de alguns parâmetros em unidades diferentes. Para que as comparações pudessem ser feitas, gerando um diagnóstico, quando necessário os dados foram transformados (convertidos) e as unidades foram padronizadas, buscando sempre respeitar as unidades consideradas nas listagens norteadoras (a serem apresentadas e discutidas nos itens de qualidade da água e de qualidade do sedimento, a seguir).

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade da água. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em rosa) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (1/5, a continuar)**

Referências consideradas – qualidade da água							
referências	cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
ANALYTICAL SOLUTIONS (2000)	caracterização ambiental ( <i>baseline</i> )	out 2000	10	não informado	10m, 100m e 250m	garrafas de Niskin	pH, OD, TSS, TDS, amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato, fósforo total, silicato, clorofila <i>a</i> , As, Ba, Cd, CrVI, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn, HTP e HPA

Referências consideradas – qualidade da água							
referências	cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a)	monitoramento 1-BP-2A-APS	mai-jul 2001	7 x 2 = 14	1755- 1767m	10m e 250m	garrafas de Niskin	pH, OD, TSS, TDS, amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato, fósforo total, silicato, clorofila <i>a</i> , As, Ba, Cd, CrVI, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn, HTP e HPA

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade da água. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em rosa) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (2/5, continuação)**

Referências consideradas – qualidade da água							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
ANALYTICAL SOLUTIONS (2001b)	monitoramento 1- BP-1A-APS	mar 2001	7 x 3 = 21	950m	10m e 250m	garrafas de Niskin	pH, OD, TSS, TDS, ammonia, nitrito, nitrato, ortofosfato, fósforo total, silicato, clorofila <i>a</i> , As, Ba, Cd, CrVI, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, HTP e HPA



**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade da água. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em rosa) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (3/5, continuação)**

Referências consideradas – qualidade da água							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
PEREIRA <i>et al.</i> (2006)  (REVIZEE)	Norte II	out 1997	11	14,5m a 18m	4,08m a 2,20m	garrafas de Niskin	TSS
SANTOS (2004)  (REVIZEE)	Norte IV	ago 2001	41	40m a 60m	camada eufótica e camada afótica	garrafas de Niskin	pH, OD, amônia, nitrito, nitrito e clorofila a

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade da água. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em rosa) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (4/5, continuação)**

Referências consideradas – qualidade da água							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
SANTOS <i>et al.</i> (2007)  (REVIZEE)	Norte IV	ago 2001	41	40m a 60m	camada eufótica e camada afótica	garrafas de Niskin	fosfato
SANTOS <i>et al.</i> (2008)  (REVIZEE)	Norte IV	ago 2001	41	40m a-60m	camada eufótica e camada afótica	garrafas de Niskin	pH, OD, nitrito, nitrato, fosfato e clorofila a

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade da água. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em rosa) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (5/5)**

Referências consideradas – qualidade da água							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
SANTOS & MUNIZ (2010)  (REVIZEE)	Norte III e Norte IV	mai 1999 e ago 2001	1	26m	1m, 10m e 20m	garrafas de Niskin	pH, OD, nitrito, nitrato, fosfato, silicato e clorofila a
SIQUEIRA <i>et al.</i> (2003)  (REVIZEE)	Norte III	jun 1999	20	19m a 100m	superfície e fundo	garrafas de Niskin	pH e OD

**TABELA II.6.1.2-II – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade do sedimento. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em verde) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (1/6, a continuar)**

Referências consideradas – qualidade do sedimento							
referências	cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
ANALYTICAL SOLUTIONS (2000)	caracterização ambiental	out 2000	46	196m a 2104m	superfície	box-corer	granulometria, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, ni, Pb, V, Zn, HTP e HPA
ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a)	monitoramento 1-BP-2A-APS	mai-jul 2001	3 x 2 = 6	não informado	superfície	corer simples (ROV)	granulometria, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, ni, Pb, V, Zn, HTP e HPA



**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade do sedimento. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em verde) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (2/6, continuação)**

Referências consideradas – qualidade do sedimento							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
ANALYTICAL SOLUTIONS (2001b)	monitoramento 1-BP-1A-APS	mar 2001	3 x 2 6	1630m a 1795m	superfície	corer simples (ROV)	granulometria, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, ni, Pb, V, Zn, HTP e HPA
ELIAS (1998) (AmasSeds)	Cruzeiro IV, pernadas 1 e 2	nov 1991	15	8m a 140m	superfície (0-5cm)	box-corer e grab-corer	COT

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade do sedimento água. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em verde) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (3/6, continuação)**

Referências consideradas – qualidade do sedimento							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
FERRAZ <i>et al.</i> (1996)  (AmasSeds)	Cruzeiro 1	ago 1989	12 + 8 = 20	10m a 60m	superfície (0-5cm) (12) e 100cm a 292cm (8)	<i>kasten- corer</i>	As, Ba e Cr
LANDIM (2000)  (AmasSeds)	não informado	mar 1996	7	5m a 20m	superfície	<i>gravity- corer</i> e <i>box-corer</i>	fósforo total

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade do sedimento. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em verde) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (4/6, continuação)**

Referências consideradas – qualidade do sedimento							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
<p>SILVEIRA &amp; PATCHNEELAM (1993)  (AmasSeds)</p>	não informado	mai 1990	6	12m a 49m	superfície	<i>kasten-corer</i> e <i>box-corer</i>	fósforo total
<p>SOUZA (1995)  (AmasSeds)</p>	não informado	fev 1990 e out 1991	2	18m a 20m	superfície	<i>kasten-corer</i>	Cr, Cu, Fe, Mn e Ni

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade do sedimento. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em verde) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (5/6, continuação)**

Referências consideradas – qualidade do sedimento							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
LIMA <i>et al.</i> (2006)  (REVIZEE)	Norte II e Norte III	out 1997 e abr-jun 1999	16 x 2 = 32	até 40m	superfície	<i>box-corer</i> e <i>van veen</i>	granulometria, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn
SIQUEIRA <i>et al.</i> (2006)  (REVIZEE)	Norte II	out 1997	12	13,2m a 87,6m	superfície	<i>van veen</i>	granulometria, COT, MOT, Ni e Zn

**TABELA II.6.1.2-I – Caracterização resumida dos esforços envolvidos em cada uma das referências consideradas para o presente diagnóstico ambiental da qualidade do sedimento. Localização aproximada das estações amostrais, de cada referência (em verde) em relação aos blocos objeto do presente diagnóstico (em amarelo). (6/6)**

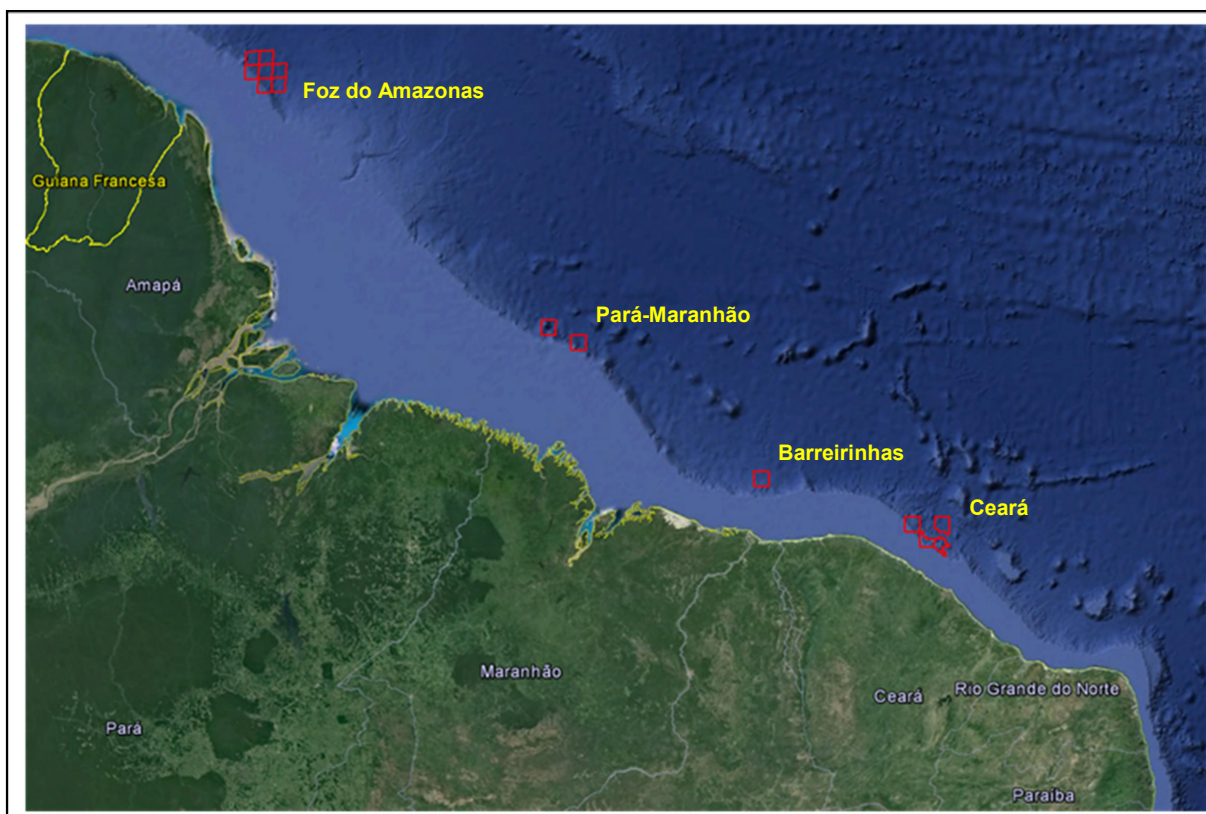
Referências consideradas – qualidade do sedimento							
referências	operação/ cruzeiro/ pernada/ campanha	data	quantidade de estações x campanhas	profundidade local aproximada	profundidade de amostragem	amostrador	parâmetros considerados para o presente diagnóstico
SIQUEIRA & APRILE (2012)  (REVIZEE)	não informado	não informado	20	19m a 100m	Superfície e (0-5cm)	box-corer e van veen	Hg
CPRM (1985 apud PIATAM OCEANO, 2008)	não informado	não informado	573	não informado	superfície	não informado	As, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn



No intuito de atualizar as informações deste estudo ambiental, em atendimento ao Parecer Técnico nº 60/2017-COEXP/CGMAC/DILIC (Número do Processo: 02022.000967/2014-72), publicado em 28/09/2017, foram adicionados, ao presente diagnóstico, os dados obtidos no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira, que possuía como objetivo geral caracterizar, ambientalmente, a região oceânica da Margem Equatorial Brasileira e fornecer subsídios para avaliar os possíveis impactos gerados pelas atividades exploratórias nas bacias e nos blocos citados (PIR2, 2015). Os dados foram obtidos em 2 pernadas, realizadas em março e abril de 2015, a partir de 21 estações oceanográficas distribuídas nos blocos FZA-M-57, FZA-M-59, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-90, FZA-M-125 e FZA-M-127, na Bacia da Foz do Amazonas.

O Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira (Processo Nº 02022.001025/2014-10 junto à CGPEG/DILIC/IBAMA), foi um esforço de caracterização ambiental único realizado na área dos blocos operados pelas empresas Total E&P do Brasil Ltda, BP Energy do Brasil Ltda, Queiroz Galvão Exploração e Produção S.A., Premier Oil do Brasil Petróleo e Gás Ltda. e Chevron Brasil Upstream Frade Ltda, nas bacias do Ceará (blocos CE-M-661, CE-M-715, CE-M-665 e CE-M-717), de Barreirinhas (Bloco BAR-M-346), do Pará-Maranhão (blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337) e da Foz do Amazonas (blocos FZA-M-57, FZA-M-59, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-90, FZA-M-125 e FZA-M-127), ilustrados na **Figura II.6.1.2.1-1**.

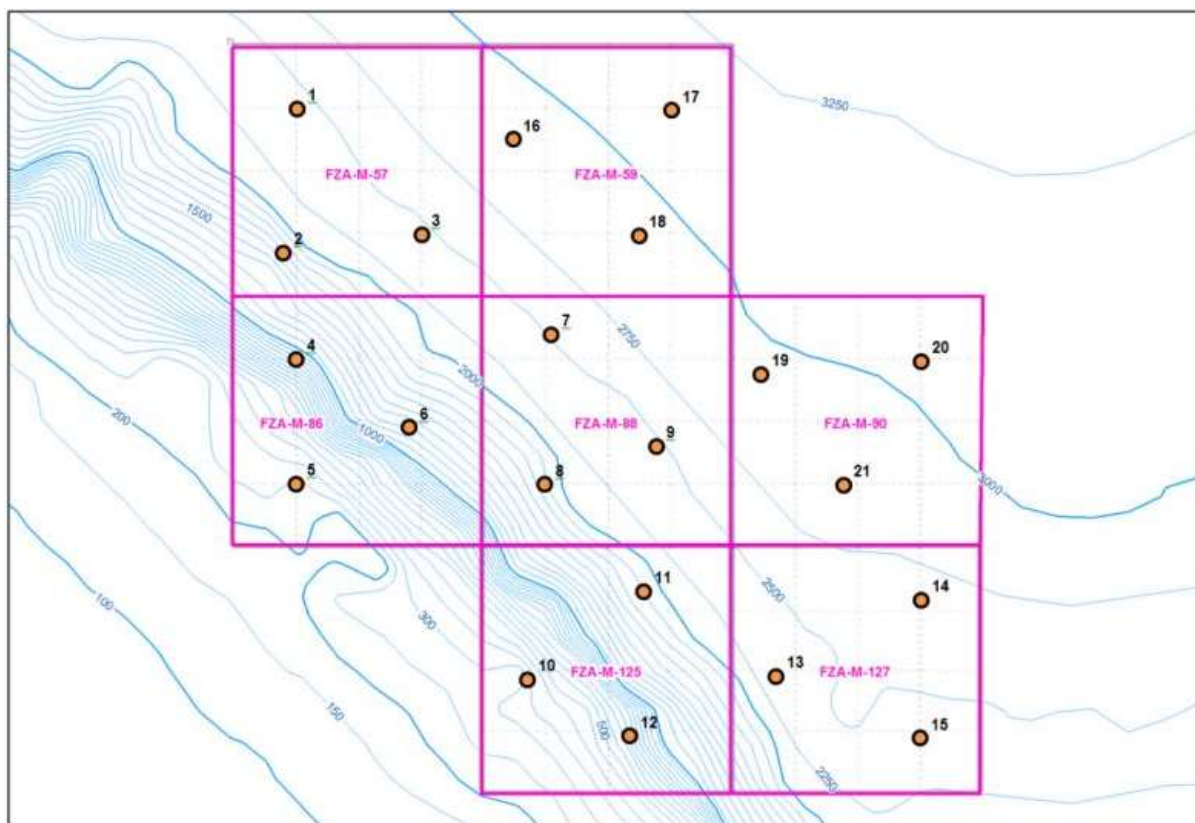
Projetado de maneira integrada, não somente no intuito de reduzir custos e otimizar prazos mas, principalmente, tal esforço visa gerar dados específicos das áreas de cada um dos blocos que possam também ser analisados de uma forma mais ampla, com a padronização dos esforços amostrais, gerando um conjunto de dados mais robusto e consistente, que retrate a realidade das regiões onde os referidos blocos estão localizados.



**FIGURA II.6.1.2.1-1 – Localização dos blocos exploratórios contemplados na campanha de caracterização ambiental (*baseline*) da margem equatorial brasileira, desenvolvida pelas empresas BP, TOTAL, QGEP, CHEVRON e PREMIER OIL, considerando as bacias do Ceará, Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas.**

Fonte: PIR2 (2014)

Na Bacia da Foz do Amazonas para a caracterização da área dos blocos foi definida uma malha amostral única, composta por 21 estações de amostragem (**Figura II.6.1.2.1-2**), distantes de 13km (intrabloco) a 25km (interblocos) entre si, sendo cada bloco caracterizado por 3 estações (estações 1, 2 e 3 no Bloco FZA-M-57 (Total), estações 4, 5 e 6 no Bloco FZA-M-86 (Total), estações 7, 8 e 9 no Bloco FZA-M-88 (Total), estações 10, 11 e 12 no Bloco FZA-M-125 (Total), estações 13, 14 e 15 no Bloco FZA-M-127 (Total), estações 16, 17 e 18 no Bloco FZA-M-59 (BP) e estações 19, 20 e 21 no Bloco FZA-M-90 (Queiroz Galvão)). A estratégia amostral elaborada **abrangeu** toda a área dos blocos, propiciando uma melhor interpretação dos resultados e, conseqüentemente, um diagnóstico ambiental da área dos sete blocos melhor embasado, permitindo gerar dados regionais e dados locais (para cada bloco, ou conjunto de blocos).



**FIGURA II.6.1.2.1-2 – Malha amostral composta por 21 estações de amostragem para a caracterização ambiental da área dos blocos FZA-M-57, FZA-M-59, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-90, FZA-M-125, FZA-M-127, na Bacia da Foz do Amazonas.**

Fonte: PIR2 (2014).

Os esforços realizados na área dos sete blocos na Bacia da Foz do Amazonas compreenderam:

- Filmagens em todas as 21 estações (coordenada de projeto mais transectos num raio de 100m), com 1 relocação com nova filmagem na coordenada relocada, caso seja identificado banco de algas/de corais, ou outras comunidades relevantes;
- Amostragens de box-corer (50x50x50) com 3 réplicas válidas em 8 (estações onde a profundidade local é inferior a 2.000m) das 21 estações (todos os lançamentos dentro de um raio de 100m a partir das coordenadas de projeto), com envio para análise de amostra composta por subamostras homogeneizadas do sedimento das três réplicas;
- Amostragens de box-corer (50x50x50) com apenas 1 amostragem válida em 13 (estações onde a profundidade local é superior a 2.000m) das 21 estações (todos os lançamentos dentro de um raio de 100m a partir das coordenadas de projeto), com envio para análise de amostra de sedimento simples oriunda dessa amostragem única;
- Perfilagem de CTD acoplado à rossete de toda a lâmina d'água em todas as 21 estações;
- Amostragens de água a subsuperfície, 110m e 200m de profundidade, mais até 3 estratos adicionais que representem as demais massas d'água (identificadas a partir da perfilagem de CTD), em todas as 21 estações;





- Arrasto vertical de plâncton (rede simples de 200µm) de 200m até a superfície em todas as 21 estações; e
- Arrasto oblíquo de plâncton (aro bongô com redes de 330µm e 500µm) da superfície até 200m de profundidade e retornando à superfície em todas as 21 estações.

Em função do esforço amostral diferenciado nas estações, para a análise dos dados foram empregadas análises numéricas não paramétricas comparando-se blocos e faixas batimétricas, nunca comparando estações. Isto permitiu minimizar a diferença amostral, pois mesmo que em algumas estações específicas não tenham sido obtidas três amostras, os blocos sempre tiveram réplicas suficientes para as análises numéricas univariadas e multivariadas utilizadas para avaliação da qualidade do sedimento. Ressalta-se, ainda, que a preferência em utilizar-se estatísticas não paramétricas possuiu a vantagem de minimizar as diferenças encontradas entre as estações, uma vez que esse tipo de análise trabalha em função de rankings e não através de teores totais encontrados em cada estação, atenuando, assim, as diferenças entre o tipo de amostragem efetuada: simples (discreta) ou composta.

As 21 estações da área dos sete blocos na Bacia da Foz do Amazonas tiveram a qualidade da água e do sedimento caracterizadas quanto a:

- Qualidade da água: transparência (disco de Secchi), pH, oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais, sólidos em suspensão (TSS), sólidos dissolvidos (TDS), carbono orgânico total (COT), nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total, fosfato, silicato, fósforo total, sulfetos ( $H_2S$  não dissociado), fenóis totais, HTP (hidrocarbonetos totais) *finger print*, HPA (hidrocarbonetos poliaromáticos - 16 prioritários e alquilados) e pigmentos clorofilianos;
- Qualidade do sedimento: granulometria, teor de carbonatos, teor de matéria orgânica total, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, metais totais (Al, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Mn, Cu, Fe, Ni, V e Zn), HTP (Hidrocarbonetos totais) *finger print*, Varredura completa de SVOC (Compostos Orgânicos Semi-Voláteis) (inclui 16 HPAs prioritários e alquilados) e biomarcadores saturados e aromáticos.



### II.6.1.2.2. Qualidade da água

Para o melhor entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos que interagem no oceano, torna-se necessário avaliar estudos que descrevam a natureza da água, em suas propriedades fundamentais, para depois descrever os mecanismos de circulação que a mantém em movimento (GAETA, 1999).

Este item apresenta os resultados disponíveis na literatura e considerados para pH, OD, sólidos totais, dissolvidos e em suspensão, carbono orgânico, nutrientes (amônia, nitrito, nitrato, fosfato e silicato), fósforo total, sulfetos, metais-traço (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V e Zn), hidrocarbonetos totais e aromáticos, fenóis e pigmentos clorofilianos, considerando valores máximos e mínimos de cada estudo e suas respectivas médias e desvio padrão (dos máximos e mínimos considerados).

O padrão de referência da qualidade da água, adotado neste diagnóstico, foi a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, alterada pelas Resoluções CONAMA 410/2009 e 430/2011, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Como norteadores, foram consideradas também, para alguns parâmetros, as tabelas de referência norte americana (BUCHMAN, 2008) e canadense (CCME, 2015).

Os resultados disponíveis na literatura considerada mais próximos da área dos blocos (FZA-M-57, FZA-M-59, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-90, FZA-M-125, FZA-M-127) são aqueles de ANALYTICAL SOLUTIONS (2000; 2001a e 2001b) obtidos para a BP Brasil no Bloco BFZ-2 em 2000 e 2001 com amostragem entre 10 e 250m de profundidade.

No **Anexo A** são apresentados os valores máximos e mínimos considerados para a elaboração dos gráficos de barras comparativos das referências consideradas.

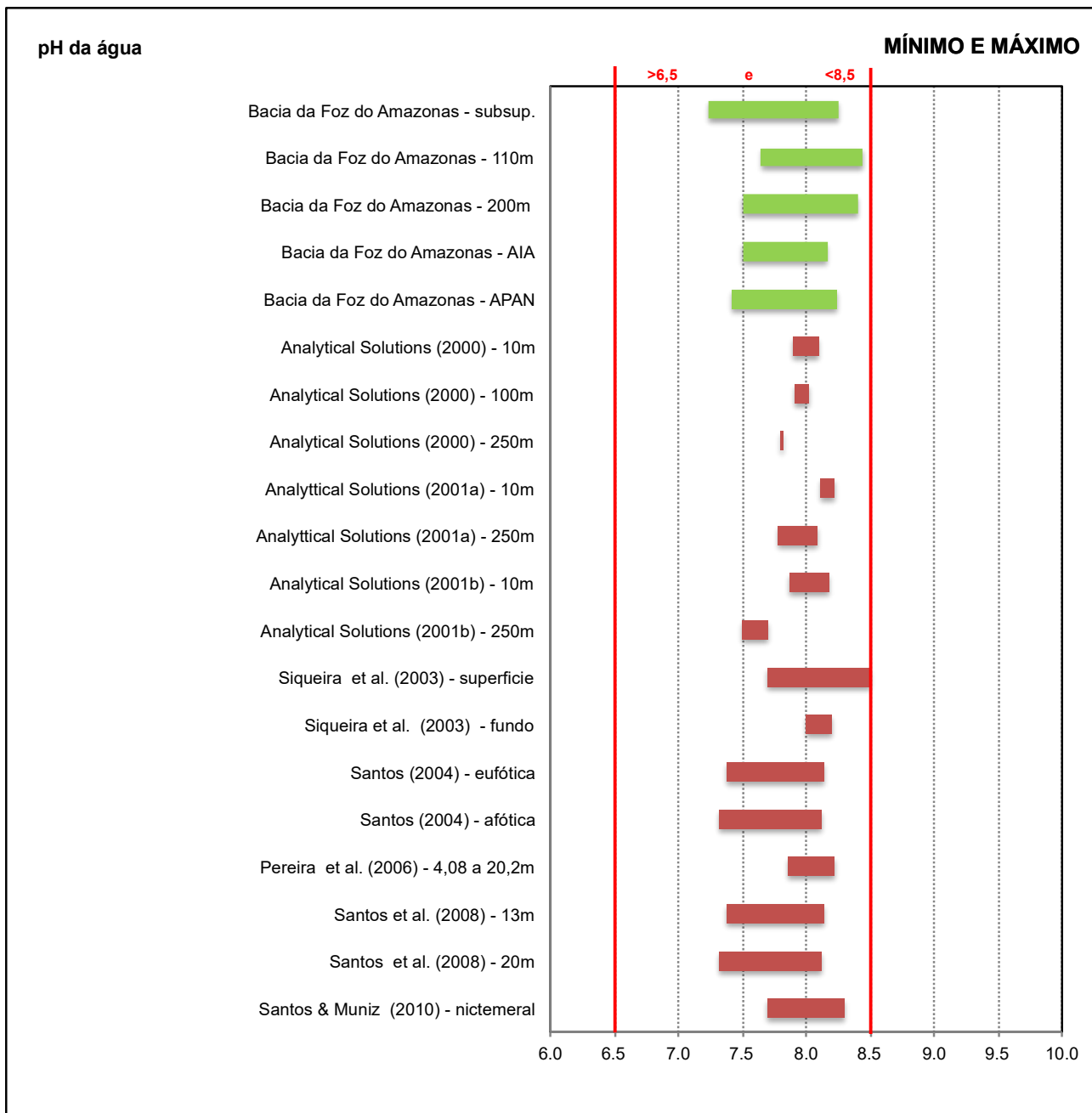
#### II.6.1.2.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH da água do mar varia entre 7,5 e 8,4, devido à presença de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e dos íons sódio, potássio e cálcio, altamente alcalinos (SOARES-GOMES & FIGUEIREDO, 2002). Modificações nas concentrações de CO<sub>2</sub>, devido às atividades de respiração, fotossíntese e trocas entre a atmosfera e o oceano, ou em forma de carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), devidas às precipitações, podem modificar os valores de pH da água (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Dentre os valores disponíveis na literatura para a região, atualizados com os dados obtidos no Projeto de *Baseline* Integrado da Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas, o pH mínimo variou de 6,70 a 8,11 com média de  $7,59 \pm 0,31$  e o máximo de 7,7 a 9,5 com média de  $8,25 \pm 0,33$ . Os resultados de pH estão representados na **Figura II.6.1.2.2.1-1**.

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) indica o padrão de variação do pH entre 6,5 e 8,5, como referência de qualidade para águas salinas classe 1.

Desta forma, os resultados compilados (máximos e mínimos) encontram-se dentro da faixa de variação preconizada pela CONAMA 357/05, para a grande maioria dos resultados apresentados, não sendo encontradas variações significativas entre os resultados da literatura com aqueles obtidos durante o Projeto de *Baseline* Integrado da Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (Figura II.6.1.2.2.1-1).



**FIGURA II.6.1.2.2.1-1 – Potenciais hidrogeniônicos (pH) na água, máximos e mínimos, registrados na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. As linhas**



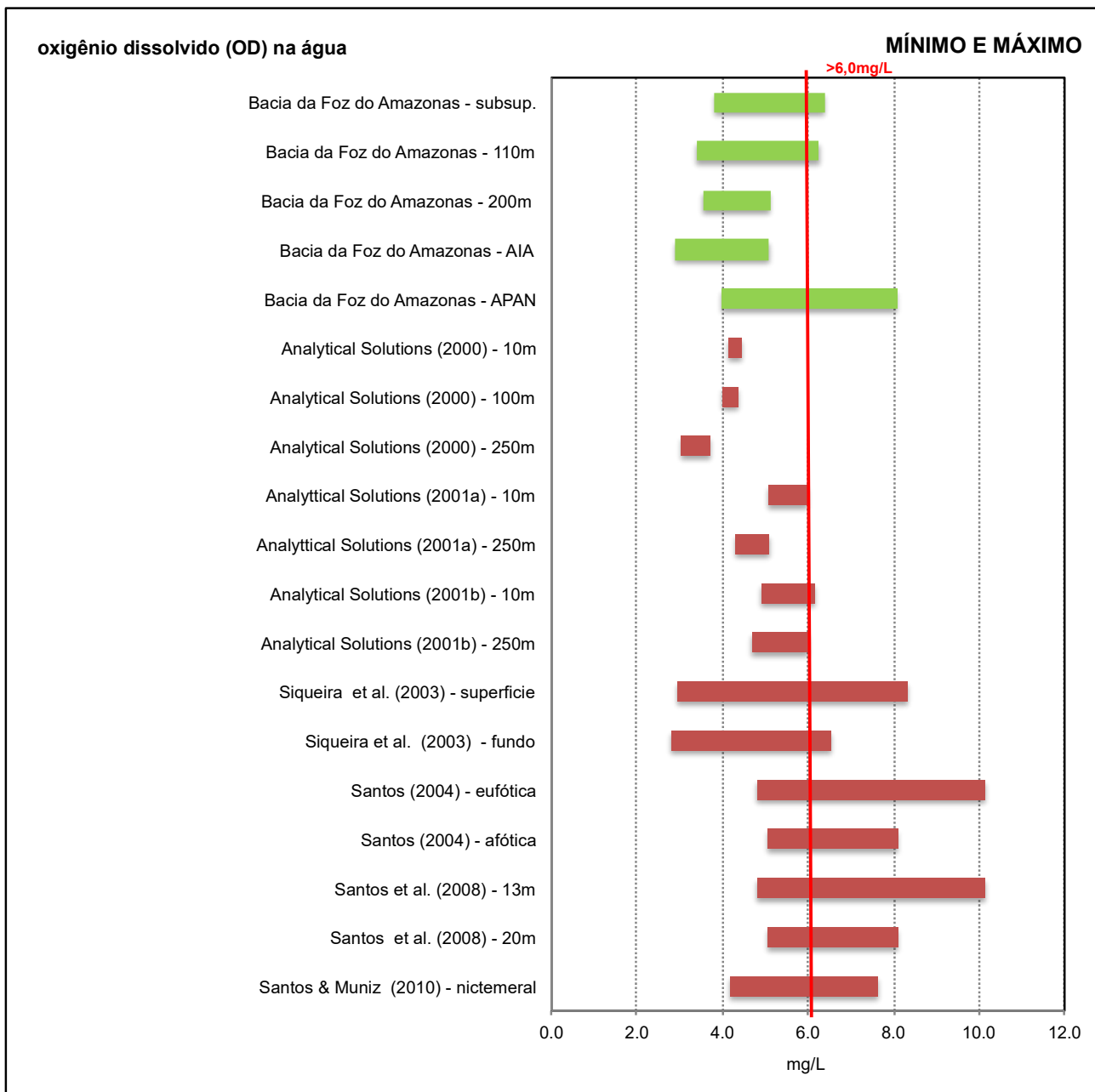
**em vermelho indicam os limites mínimos e máximos aceitáveis para os valores de pH, como referência de qualidade para águas salinas classe 1 (Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (alterada)).**

#### II.6.1.2.2.2. Oxigênio dissolvido (OD)

Em relação ao conteúdo de oxigênio dissolvido nas massas de água, fatores de caráter físico e biológico devem ser considerados, já que, por si só, as concentrações de oxigênio na água são insuficientes para uma caracterização do ecossistema (NIENCHESKI *et al.*, 1999). Nas camadas de água mais próximas da superfície, o contato com o oxigênio da atmosfera é um importante fator para sua dissolução na água (REDFIELD *et al.*, 1963).

Desvios encontrados nas concentrações de oxigênio dissolvido podem ser atribuídos a variações na pressão atmosférica, aquecimento e resfriamento da água (HAYWARD & MANTYLA, 1990). Já o balanço dos processos biológicos de produção de oxigênio (fotossíntese) e de consumo por organismos pelágicos pode determinar a concentração de oxigênio dissolvido em determinadas profundidades (AIDAR *et al.*, 1993). Outras características físicas também devem ser levadas em consideração na avaliação deste parâmetro, tais como, velocidade do vento, hidrodinamismo e mistura das camadas de água.

Os resultados considerados, dentre os disponíveis na literatura e os obtidos no Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas para o OD, estão representados na **Figura II.6.1.2.2.2-1**. Dentre estes valores, as concentrações mínimas variaram de 1,17 a 5,07mg/L, com média de  $3,83 \pm 1,08$ mg/L. As concentrações máximas variaram de 3,71 a 10,14mg/L, com média de  $6,55 \pm 1,83$ mg/L.



**FIGURA II.6.1.2.2.2-1 – Concentrações máximas e mínimas de oxigênio dissolvido (OD) na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. O padrão de variação do oxigênio dissolvido não deve ser inferior a 6mg/L, como referência de qualidade para águas salinas classe 1 (Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (alterada)).**



A análise das concentrações máximas e mínimas dos resultados obtidos, indicam que em todos os estudos foram encontradas concentrações de OD abaixo do Valor Mínimo de Referência (6mg/L) da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada). Vale ressaltar, porém, que variações nas concentrações de oxigênio dissolvido são normais no ambiente aquático. Essas variações ocorrem de acordo com vários fatores: época do ano, correntes predominantes, ventos, ondas, assimilação pelo plâncton, taxa fotossintética, respiração dos organismos, etc. Dessa forma, são esperadas concentrações baixas, mesmo em oceano aberto e sem relação com qualquer atividade de cunho antrópico ou de processo de eutrofização. Medições do teor de oxigênio dissolvido na água do mar são muito sensíveis e os resultados obtidos dependem do método utilizado. O método Winkler é o mais preciso e recomendado, no entanto, por questões logísticas nem sempre é utilizado, optando-se por avaliações com sondas multiparamétricas ou sensores manuais. Todos dependem de experiência e cuidado na obtenção das subamostras onde os teores serão avaliados. Em todos os casos acima é mais prudente considerar que as diferenças nos resultados são mais ligadas à problemática metodológica do que às variações espaço-temporais, que poderiam estar comparando águas salobras com águas oceânicas ou diferentes condições de influência do rio Amazonas.

Deve-se considerar, ainda, não somente neste caso do oxigênio dissolvido, mas também nas comparações feitas para os demais parâmetros neste diagnóstico, que como estamos comparando variações de dados (considerando mínimos e máximos), valores anômalos (muito altos ou muito baixos) que normalmente não receberiam muita importância, podem estar definindo essas variações.

As variações de oxigênio dissolvido foram significativas entre as profundidades amostradas durante a campanha do Projeto de *Baseline* Integrado, o que pode ser considerado normal para um ambiente dinâmico, onde diferentes massas d'água coexistem com suas próprias características locais e hidrogeográficas. Ademais, os valores encontrados de oxigênio dissolvido estão em consonância com os dados obtidos por trabalhos anteriores realizados na Margem Equatorial Brasileira (**Figura II.6.1.2.2.2-1**).

Vale ressaltar que, conforme dito anteriormente, todos os dados originais foram disponibilizados em mL/L, sendo convertidos para mg/L, a fim de se ter uma base correlacionável à Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada).



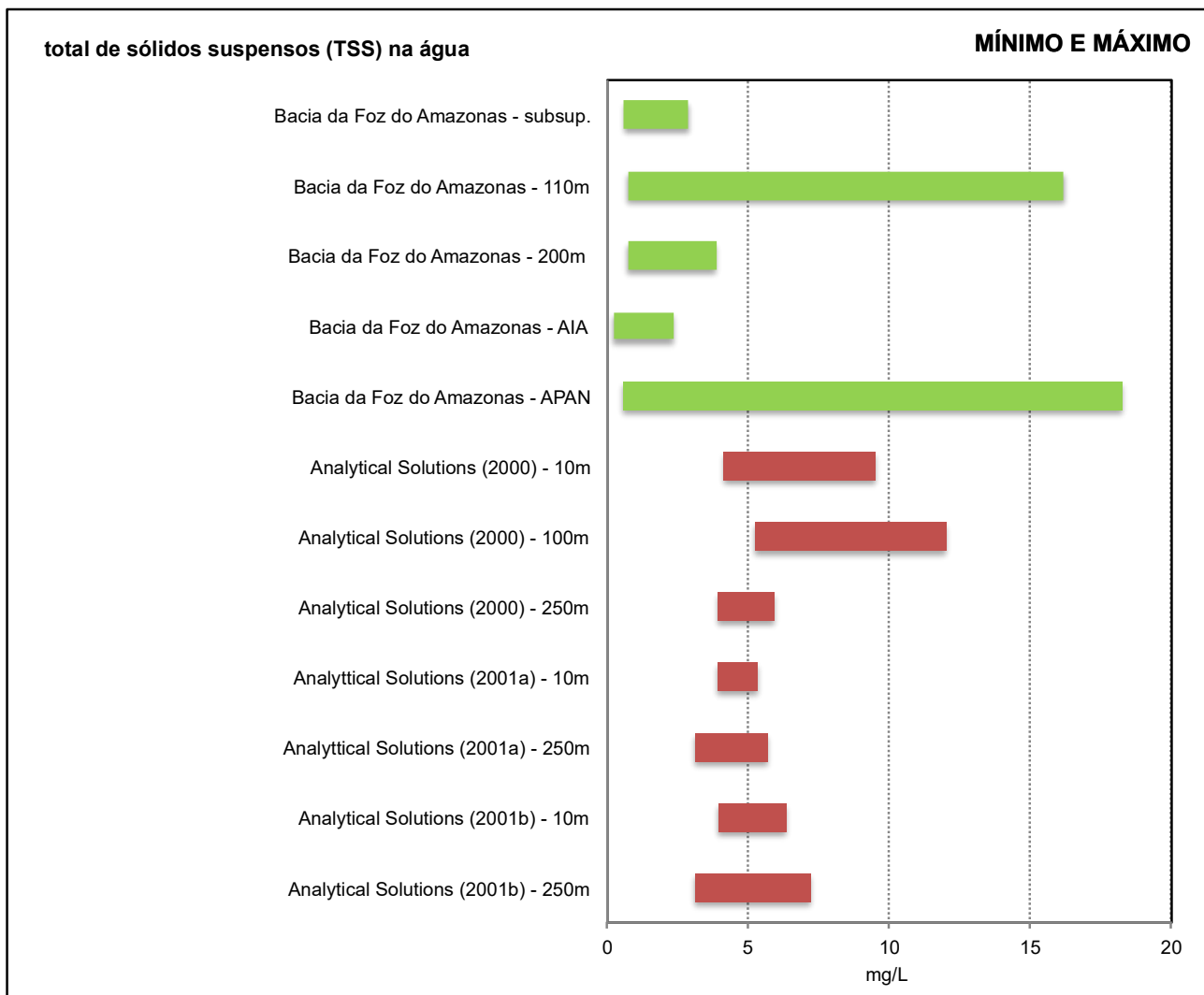
### II.6.1.2.2.3. Sólidos totais

O teor de sólidos totais em água do mar refere-se ao somatório da quantidade de matéria suspensa e dissolvida NERES (2012). Nos trabalhos reunidos da literatura não foram encontradas avaliações de sólidos totais na água.

As concentrações dos sólidos totais em suspensão (TSS) são importantes indicadores dos meios aquáticos. As partículas em suspensão diminuem a transparência da água, podendo reduzir a produção primária fotossintética e, como consequência, possivelmente alterar os recursos pesqueiros de determinada área. Além disso, partículas presentes na água formam uma superfície de contato importante, alterando as condições para as trocas físico-químicas, químicas e biológicas com a água do mar (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Suas concentrações estão sujeitas a variações, principalmente em regiões não muito afastadas da costa, tais como variações sazonais, biológicas, tempestades ou provenientes de aportes terrígenos ou antrópicos. Assim, é possível encontrar valores de 0,5 a 5mg/L em mares e oceanos ou até centenas de miligramas por litro em estuários (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Os resultados de TSS, compilados da literatura, conjuntamente com os obtidos no Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas são representados na **Figura II.6.1.2.2.3-1**. Dentre estes valores, as concentrações mínimas variaram de 0,20 a 5,23mg/L, com média de  $2,50 \pm 1,81$ mg/L, e as máximas de 2,35 a 18,25mg/L, com média de  $7,96 \pm 5,10$ mg/L. A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) não preconiza um padrão de qualidade para o TSS.



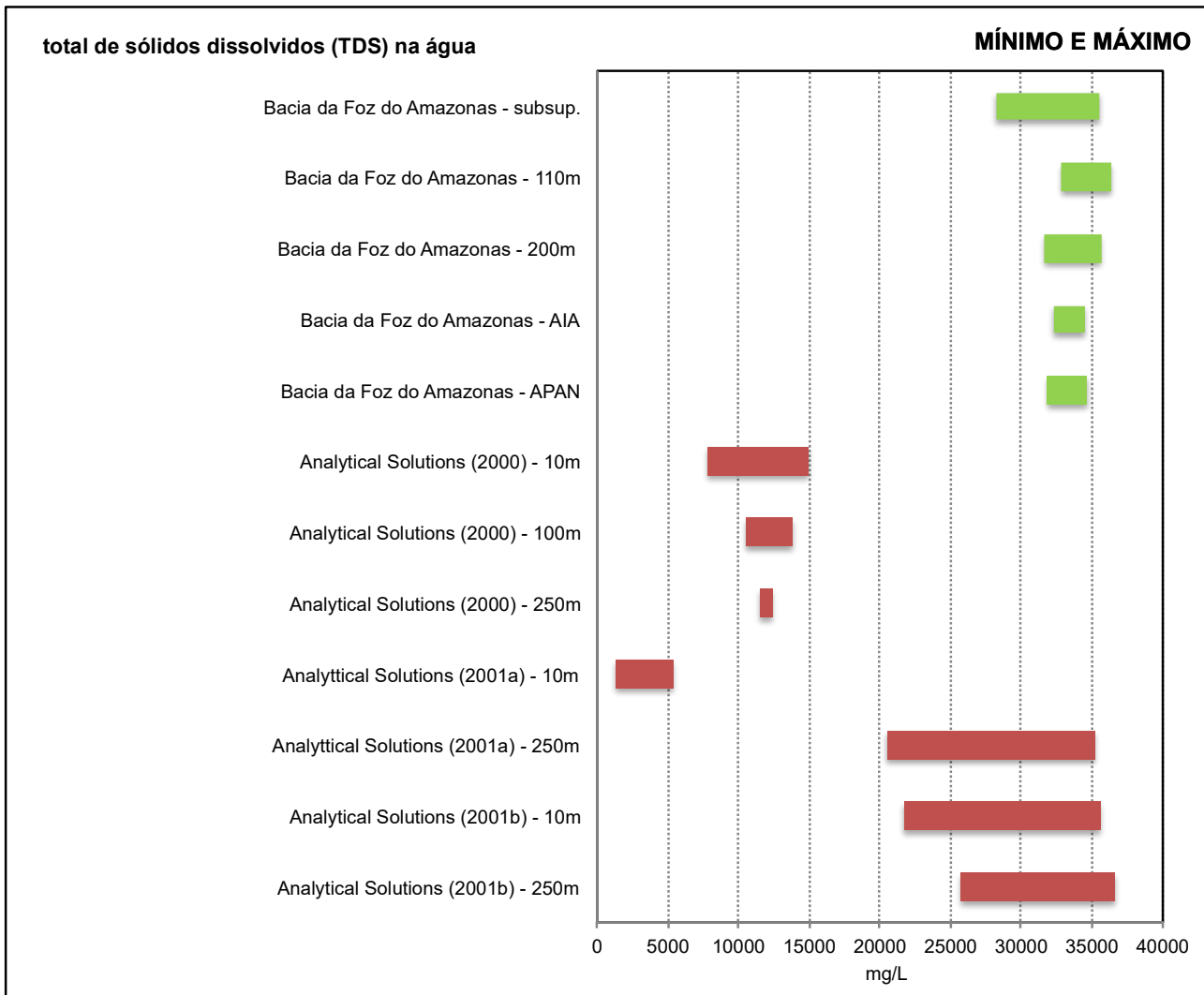
**FIGURA II.6.1.2.2.3-1 – Concentrações máximas e mínimas do total de sólidos suspensos (TSS) na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte.**

Os sólidos dissolvidos (TDS) são encontrados nas águas do mar devido a fatores naturais, como o desgaste das rochas por intemperismo. Grandes concentrações, porém, decorrem do lançamento de esgotos domésticos e despejos industriais (MMA, 2002).

As variações de TDS normalmente estão relacionadas aos fatores climáticos, tais como temperatura, pluviosidade, ventos. Como o TDS é um indicador da quantidade de sais dissolvidos na água do mar, no oceano aberto, como na região dos blocos, as suas variações tendem a ser limitadas.



Dentre todos os resultados compilados (literatura e dados primários), as concentrações mínimas do total de sólidos dissolvidos (TDS) variaram de 1.300 a 32.830mg/L, com média de  $21.311 \pm 11.008$ mg/L e as máximas de 5.380 a 36.600mg/L, com média de  $27.540 \pm 11.983$ mg/L. A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (alterada) não preconiza um padrão de qualidade para o TDS (Figura II.6.1.2.2.3-2).



**FIGURA II.6.1.2.2.3-2 – Concentrações máximas e mínimas do total de sólidos dissolvidos (TDS) na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte.**



#### II.6.1.2.2.4. Carbono orgânico

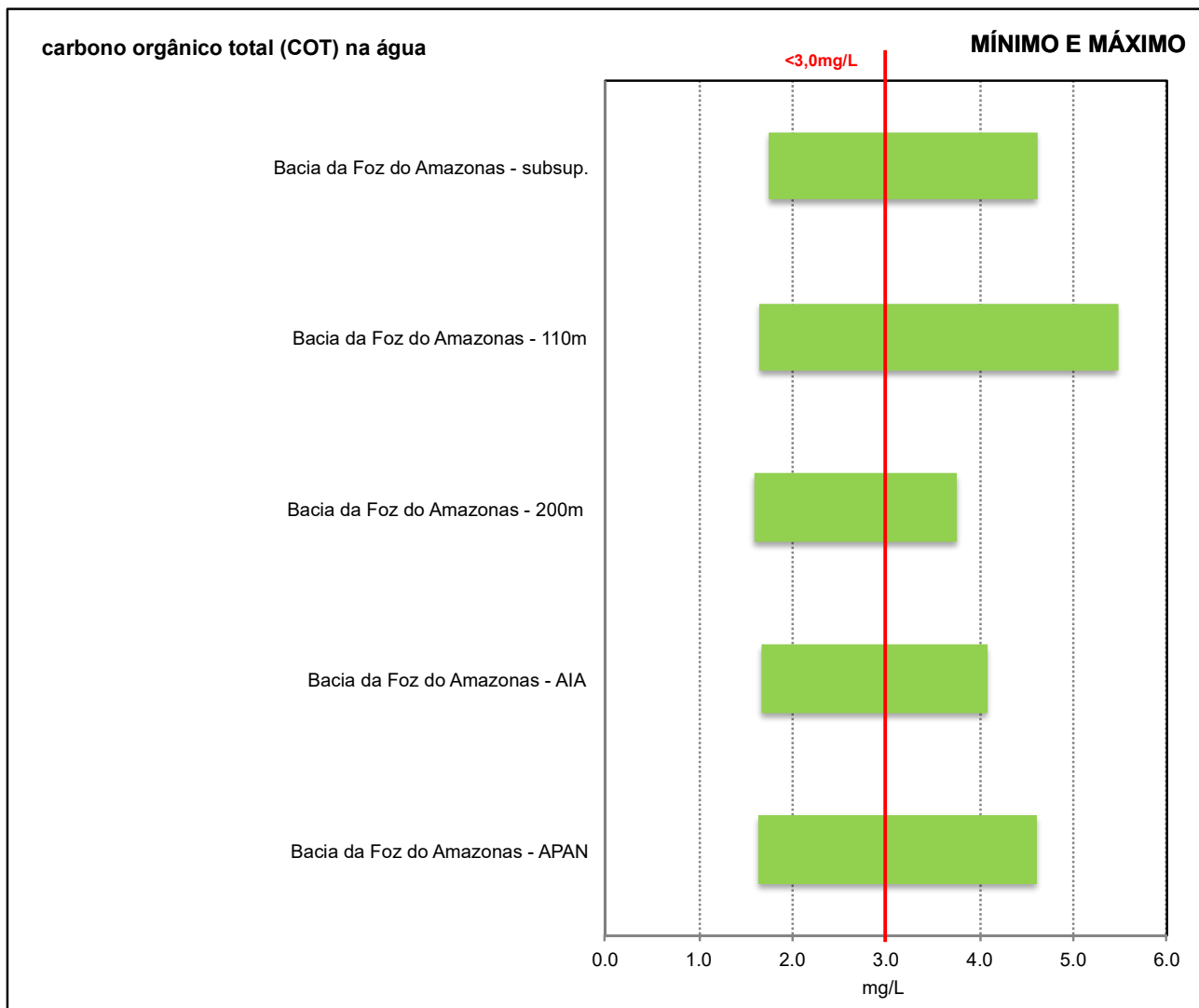
A água do mar contém material orgânico tanto sob a forma dissolvida como particulada. Porém, usualmente 89% encontram-se na fração dissolvida, 9% estão na forma de partículas detriticas e 2% são organismos (BAUMGARTEN *et al.*, 1996). A concentração de carbono orgânico total (COT) resulta da soma das concentrações de carbono orgânico dissolvido em suspensão (COD) e de carbono orgânico particulado (COP).

A grande maioria do carbono orgânico dissolvido em suspensão nos oceanos consiste do picoplâncton que subsiste metabolizando os menores fragmentos de detritos orgânicos e, principalmente, dos compostos orgânicos dissolvidos. Estes compostos são originados pelo processo fotossintético realizado pelo fitoplâncton nos oceanos e sua composição é de ácidos orgânicos, vitaminas e açúcares. A concentração média de COD nos oceanos é de 0,5mg/L e nem todo o COD encontrado nos oceanos é produzido nos mesmos. Os aportes continentais originados pelas atividades naturais, como carreamento de matéria orgânica realizada pelos rios ou ventos e exportação de matéria orgânica realizada pelos mangues, e antrópicas, como esgotos e produtos industriais jogados nos rios, promovem alterações no teor de COD, principalmente nas regiões mais costeiras (BROWN *et al.*, 1989).

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define como concentração limite para o carbono orgânico total (COT) 3,0mg/L em águas salinas classe 1.

Não foram registradas ocorrências, dentre os estudos avaliados, para carbono orgânico total (COT), carbono orgânico dissolvido (COD) ou carbono orgânico particulado (COP). Os resultados de carbono orgânico total (COT) representados na **Figura II.6.1.2.2.4-1** foram, portanto, gerados pelo Projeto de *Baseline*.

Na campanha de *Baseline*, os valores mínimos de carbono orgânico total (COT) analisados nas amostras de água variaram de 1,59 a 1,75mg/L, com média de  $1,66 \pm 0,06$ mg/L, e as máximas de 3,76 a 5,47mg/L, com média de  $4,51 \pm 0,65$ mg/L. A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) estipula uma concentração máxima aceitável de 3,0 mg/L de COT. Como demonstra a **Figura II.6.1.2.2.4-1**, a seguir, concentrações acima do limite máximo estabelecido por esta Resolução CONAMA (3,0mg/L) ocorreram em todas as profundidades, indicando assim concentrações que devem fazer parte do *background* da área.



**FIGURA II.6.1.2.2.4-1 – Concentrações máximas e mínimas carbono orgânico total (COT) na água, registrados no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. Linha em vermelho indica o limite máximo aceitável para esse parâmetro segundo a resolução CONAMA N°357/2005 (alterada) para águas salinas de classe 1.**

#### II.6.1.2.2.5. Nutrientes inorgânicos

Os nutrientes, em especial o nitrogênio, no meio marinho, são fatores que limitam o crescimento da biomassa fitoplanctônica. O nitrogênio, o fósforo e a sílica compõem os micronutrientes necessários para as funções metabólicas realizadas pelo fitoplâncton. As razões entre as concentrações molares do nitrogênio, fósforo e silício na camada eufótica das águas marinhas e os processos determinantes do seu enriquecimento por esses elementos, são capazes de induzir não somente alterações na densidade das comunidades fitoplanctônicas, como também dar subsídios para explicar a composição qualitativa dessas comunidades, a competição e a exclusão de algumas espécies (DUGDALE & HOLM HANSEN, 1967; RYTHER & DUNSTAN, 1971; MANN, 1982). Comportam-se, portanto, de forma não conservativa, tendo dependência direta dos processos



de demanda biológica pela biomassa fitoplanctônica na zona eufótica e dos aportes devidos a processos físicos (advecção, intrusão de águas mais ricas), biológicos (regeneração), climáticos (chuvas e ventos) e de drenagem continental (AIDAR *et al.*, 1993).

O fitoplâncton necessita de nitrogênio e fósforo na razão atômica de 16:1 (REDFIELD, 1958). Assim, valores menores do que essa razão indicam limitação por nitrogênio e, inversamente, valores mais elevados, limitação por fósforo. Entretanto, apesar da razão de 16:1 ser comum em muitas massas de água, grandes variações dessa razão podem ocorrer em diferentes regiões, desde regiões estuarinas até regiões oceânicas (SPENCER, 1975).

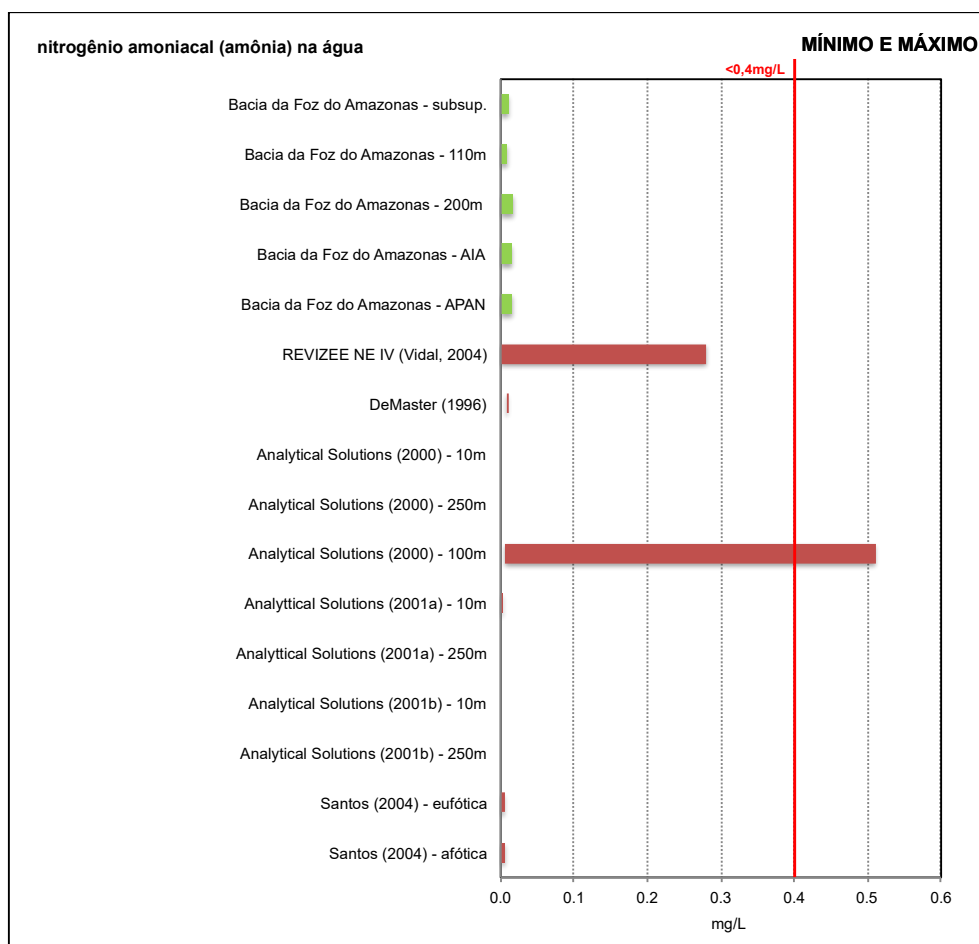
#### **II.6.1.2.2.5.a. Nitrogênio amoniacal total (amônia)**

É esperado que as concentrações de amônia sejam baixas, uma vez que este íon é uma forma reduzida de nitrogênio e, em sistemas aeróbicos, tende a se oxidar a nitrito e depois a nitrato, através do ciclo do nitrogênio, principalmente, nas camadas superiores. As formas de nitrogênio amoniacal e nitrato-N são nutrientes básicos utilizados por algas e macrófitas na produção primária, sendo, portanto, o caminho inicial para a reciclagem aos compostos orgânicos (FLORES MONTES, 2003), em ambiente aquático.

Segundo NIENCHESKI *et al.* (1999), a não detecção de nitrogênio amoniacal é um padrão de resultados comum para as regiões oceânicas na costa brasileira, comumente associado à mineralização do nitrogênio ou seu consumo por produtores primários, entre outros fatores. ZHANG (1996) fala sobre a importância desse processo em regiões de elevada salinidade, onde os nutrientes são deplecionados devido à atividade do fitoplâncton.

Dentre os resultados de amônia compilados da literatura e através das coletas realizadas durante o Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas, as concentrações mínimas variaram da não detecção a 0,0072mg/L, com média de  $0,0009 \pm 0,0023$ mg/L para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de não detectado a 0,51mg/L, com média de  $0,0549 \pm 0,1394$ mg/L (Figura II.6.1.2.2.5.a-1).

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) preconiza que o padrão referência (ou Valor Máximo de Referência – VMR) para o nitrogênio amoniacal é de 0,4mg/L, para águas salinas classe 1. Dentre os resultados considerados, apenas ANALYTICAL SOLUTIONS (2000), correspondente aos dados obtidos no Bloco BFZ-2 a 100m de profundidade, apresentou concentração (0,51mg/L) acima do Valor Máximo de Referência (0,4mg/L) da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada), se tratando de um valor anômalo dentre os demais (das 10 amostras obtidas a 100m de profundidade apenas 2 tiveram amônia em concentrações detectáveis e destas apenas uma acima do VMR).

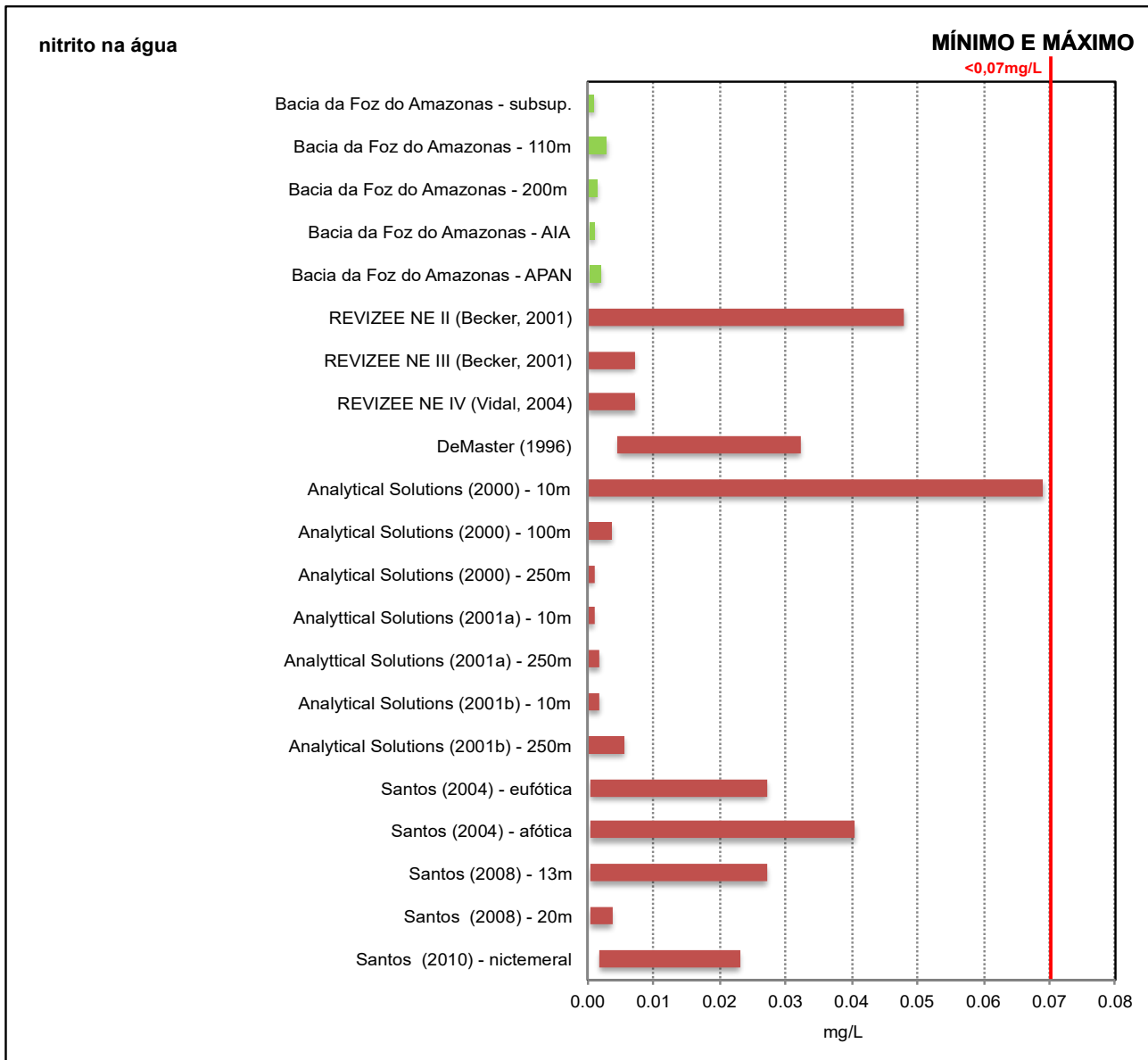


**FIGURA II.6.1.2.2.5.a-1 – Concentrações máximas e mínimas de nitrogênio amoniacal total (amônia) na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline Integrado* para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. Linha em vermelho indica o limite máximo aceitável para esse parâmetro segundo a resolução CONAMA N°357/2005 (alterada) para águas salinas de classe 1.**

#### **II.6.1.2.2.5.b. Nitrito**

No oceano aberto, as concentrações de nitrito geralmente são muito baixas, havendo um pequeno aumento nas águas mais próximas da costa (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Dentre todos os resultados considerados para nitrito (literatura e dados primários), as concentrações mínimas variaram desde a não detecção a 0,0046mg/L, com média de  $0,0004 \pm 0,0010\text{mg/L}$  para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,0009 a 0,069mg/L, com média de  $0,0147 \pm 0,0192\text{mg/L}$ . As concentrações de nitrito em todas as amostras analisadas na Bacia da Foz do Amazonas pelo Projeto de *Baseline Integrado* foram bastante inferiores ao limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005 (alterada), conforme pode ser observado na **Figura II.6.1.2.2.5.b-1** e similares ou abaixo das concentrações encontradas previamente em outros estudos realizados na margem equatorial brasileira.



**FIGURA II.6.1.2.2.5.b-1 – Concentrações máximas e mínimas de nitrito na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. Linha em vermelho indica o limite máximo aceitável para esse parâmetro segundo a resolução CONAMA N°357/2005 (alterada) para águas salinas de classe 1.**



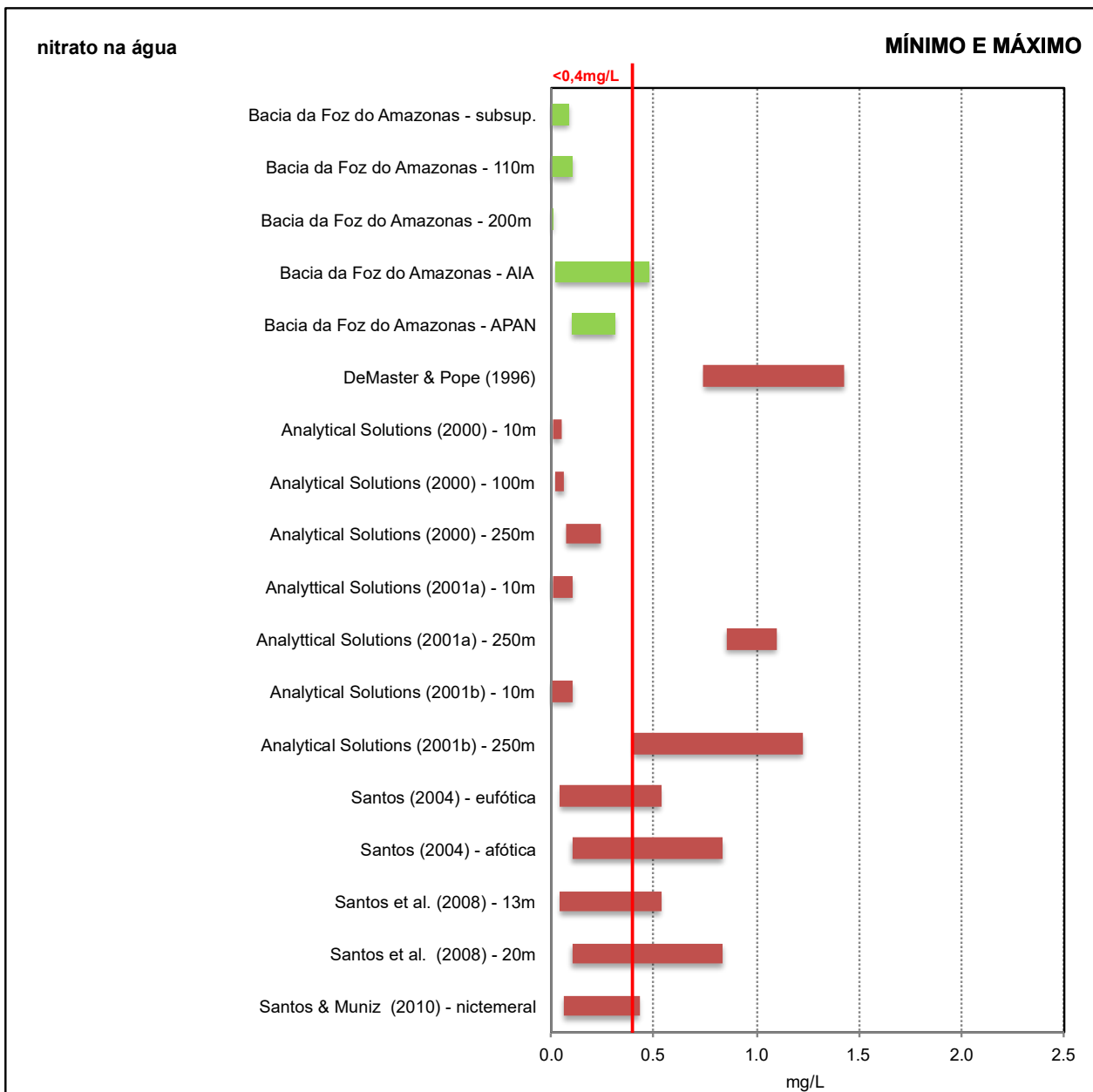
### **II.6.1.2.2.5.c. Nitrato**

Dentre os nutrientes nitrogenados, o nitrato é considerado limitante para a produção primária nos ecossistemas oceânicos (RILEY & CHESTER, 1971; CHESTER, 1993; CONKRIGHT *et al.*, 2000). Em regiões oligotróficas, como a região de estudo, a concentração superficial de nitrato é muito baixa (MASSERINI & FANNING, 2000).

As concentrações mínimas de nitrato na água, compilados na literatura e obtidas durante o Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial na Bacia da Foz do Amazonas, variaram da não detecção até 0,851mg/L, com média de  $0,118 \pm 0,237$ mg/L para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,001 a 2,380mg/L, com média de  $0,692 \pm 0,736$ mg/L (Figura II.6.1.2.2.5.c-1).

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) preconiza que o padrão referência (ou Valor Máximo de Referência – VMR) para o nitrato é de 0,4mg/L, para águas salinas classe 1. Os seguintes estudos apresentaram concentração de nitrato acima deste VMR:

- DEMASTER & POPE (1996);
- ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a) – 250m;
- ANALYTICAL SOLUTIONS (2001b) – 250m
- SANTOS (2004) – eufótica;
- SANTOS (2004) – afótica;
- SANTOS *et al.* (2008) – 13m;
- SANTOS *et al.* (2008) – 20m;
- SANTOS & MUNIZ (2010) – nictemeral;
- PIR2 (2015).



**FIGURA II.6.1.2.2.5.c-1 – Concentrações máximas e mínimas de nitrito na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. Linha em vermelho indica o limite máximo aceitável para esse parâmetro segundo a resolução CONAMA N°357/2005 (alterada) para águas salinas de classe 1.**

Em SANTOS (2004), SANTOS *et al.* (2008) e SANTOS & MUNIZ (2010), as amostras foram obtidas todas entre 20 e 60m de lâmina d'água. Em ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a; 2001b) valores acima da VMR foram registrados apenas nas amostras obtidas em regiões oceânicas, a 250m de profundidade e em DEMASTER & POPE (1996), tanto amostras costeiras quanto oceânicas de superfície apresentaram nitrito e nitrato em concentrações acima do VMR.



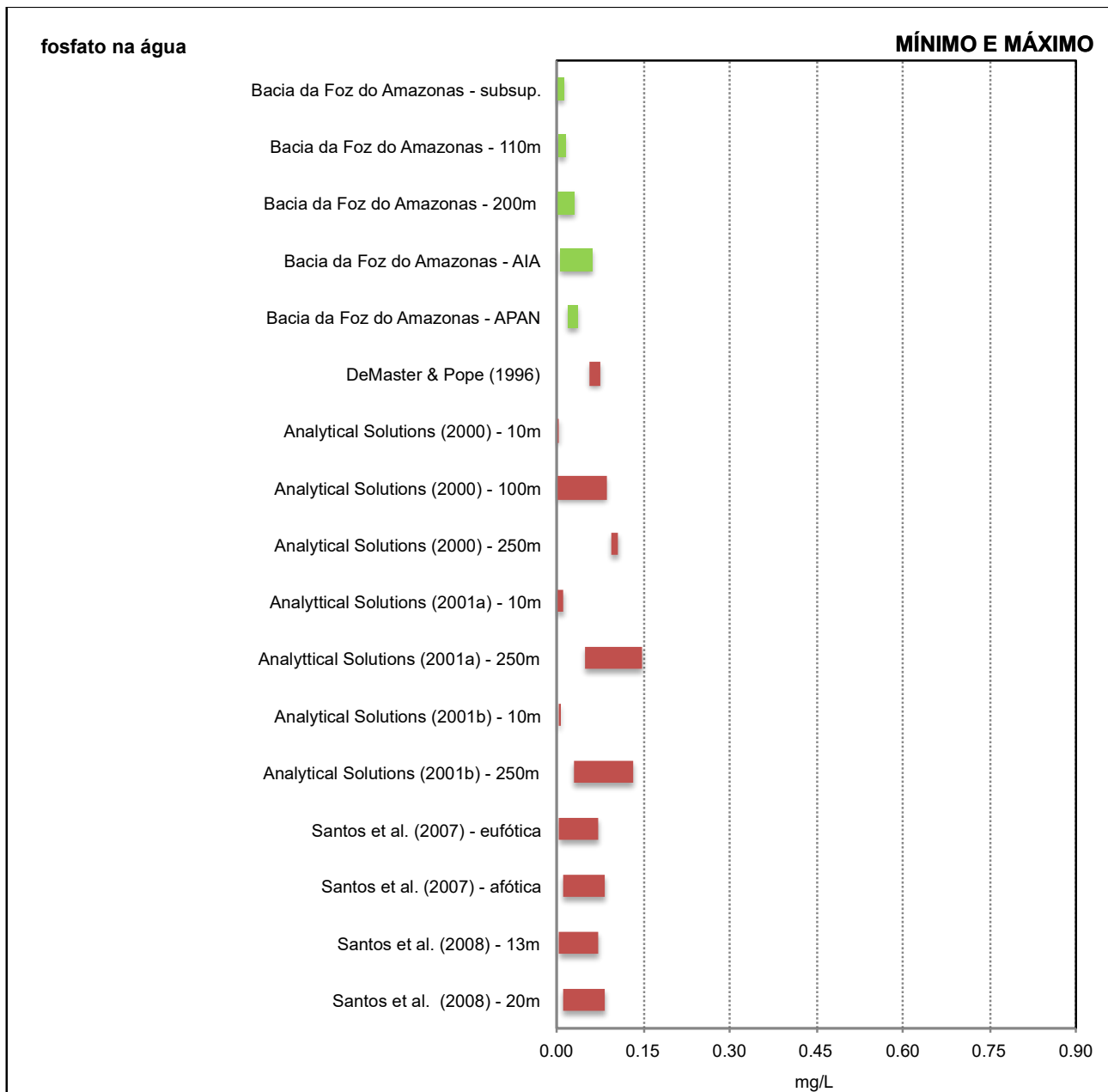


Pode-se perceber, claramente, um aumento das concentrações de nitrato em função da batimetria para a maioria dos estudos realizados na área e, mais expressivamente, nos dados primários obtidos no Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas, em que a partir dos 110m de profundidade, as concentrações de nitrato aumentaram até a AIA, voltando a diminuir na APAN (**Figura II.6.1.2.2.5.c-1**). Conforme já mencionado acima, foram registradas várias concentrações de nitrato bem acima do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005 alterada (0,4mg/L), principalmente nos estratos mais profundos, correspondentes à Água Intermediária Antártica (AIA) e à Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Contudo, quando comparados os resultados atuais com os dados da literatura, fica claro que esses resultados já tinham sido reportados para a região e devem constituir as concentrações usuais para o período de realização das coletas e para as massas d'água analisadas.

#### **II.6.1.2.2.5.d. Fosfato**

O fosfato possui eletronegatividade alta e tende a formar complexos com outras substâncias e precipitar. Portanto, é normal encontrar concentrações mais elevadas de fosfato em regiões próximas ao continente e de baixa profundidade. A perfilagem de fosfato em oceano profundo também tende a uma concentração maior em águas de fundo, mas este comportamento é regido pela formação bem definida da termoclina e pela dinâmica das massas d'água. Nas águas profundas, os teores podem variar em torno de  $3\mu\text{M}$  ( $=0,285\text{mg/L}$ ), dependendo da zona oceânica considerada. Altas concentrações indicam fontes antropogênicas e desencadeiam processos de eutrofização e até “florações” indesejáveis, quando há aumento de fosfato em ambientes com boa disponibilidade de nutrientes nitrogenados (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Dentre os valores levantados da literatura e dos dados primários obtidos para o fosfato, as concentrações mínimas variaram da não detecção a 0,094mg/L, com média de  $0,014 \pm 0,024\text{mg/L}$  para os valores detectados. As concentrações máximas variaram de 0,006 a 0,360mg/L, com média de  $0,090 \pm 0,084 \text{mg/L}$ . Os resultados obtidos para o fosfato encontram-se representados na **Figura II.6.1.2.2.5.d-1**. A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) não preconiza um padrão de qualidade para o fosfato. Ademais, comparando-se os resultados obtidos no Projeto de *Baseline* Integrado na Bacia da Foz do Amazonas com os dados da literatura, torna-se evidente que as concentrações foram similares, indicando assim concentrações de fosfato que devem fazer parte do *background* da região.

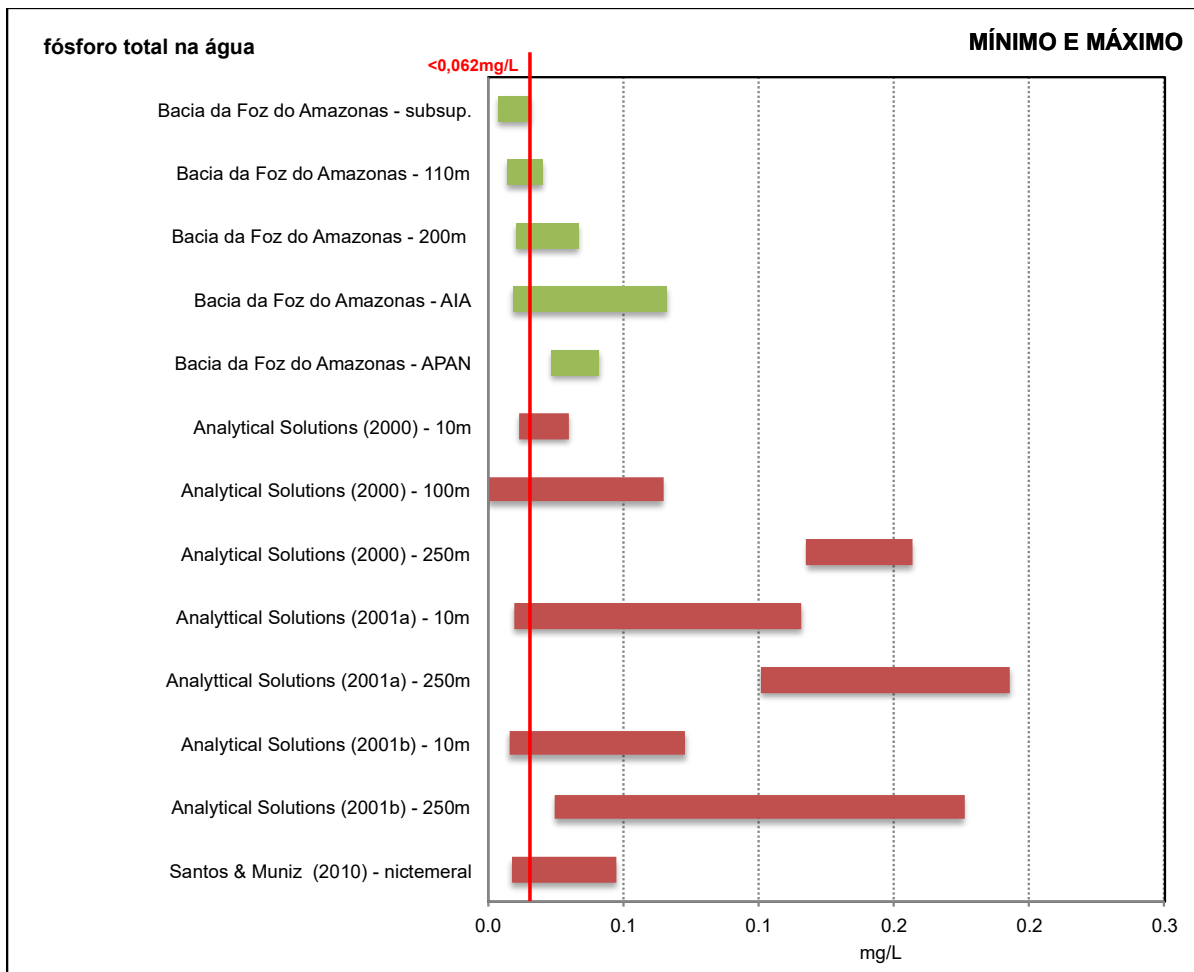


**FIGURA II.6.1.2.2.5.d-1 – Concentrações máximas e mínimas de fosfato na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte.**

#### **II.6.1.2.2.5.e. Fósforo total**

O fósforo total é o somatório de todas as formas de fósforo (dissolvido e particulado) presentes na água. Segundo VALIELA (1984), os processos de regeneração do íon fosfato através da remineralização do fosfato orgânico dissolvido e da excreção do zooplâncton, bem como os processos de sua absorção pelo fitoplâncton, são muito rápidos.

As concentrações mínimas de fósforo total, avaliadas tanto na literatura como nas obtidas na região através do Projeto de *Baseline* Integrado na Bacia da Foz do Amazonas, variaram da não detecção a 0,118mg/L, com média de  $0,026 \pm 0,038$ mg/L para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,016 a 0,193mg/L, com média de  $0,079 \pm 0,061$ mg/L. Os resultados obtidos para o fósforo total estão representados na **Figura II.6.1.2.2.5.e-1**.



**FIGURA II.6.1.2.2.5.e-1 – Concentrações máximas e mínimas de fósforo total na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. Linha em vermelho indica o limite máximo aceitável para esse parâmetro segundo a resolução CONAMA N°357/2005 (alterada) para águas salinas de classe 1.**

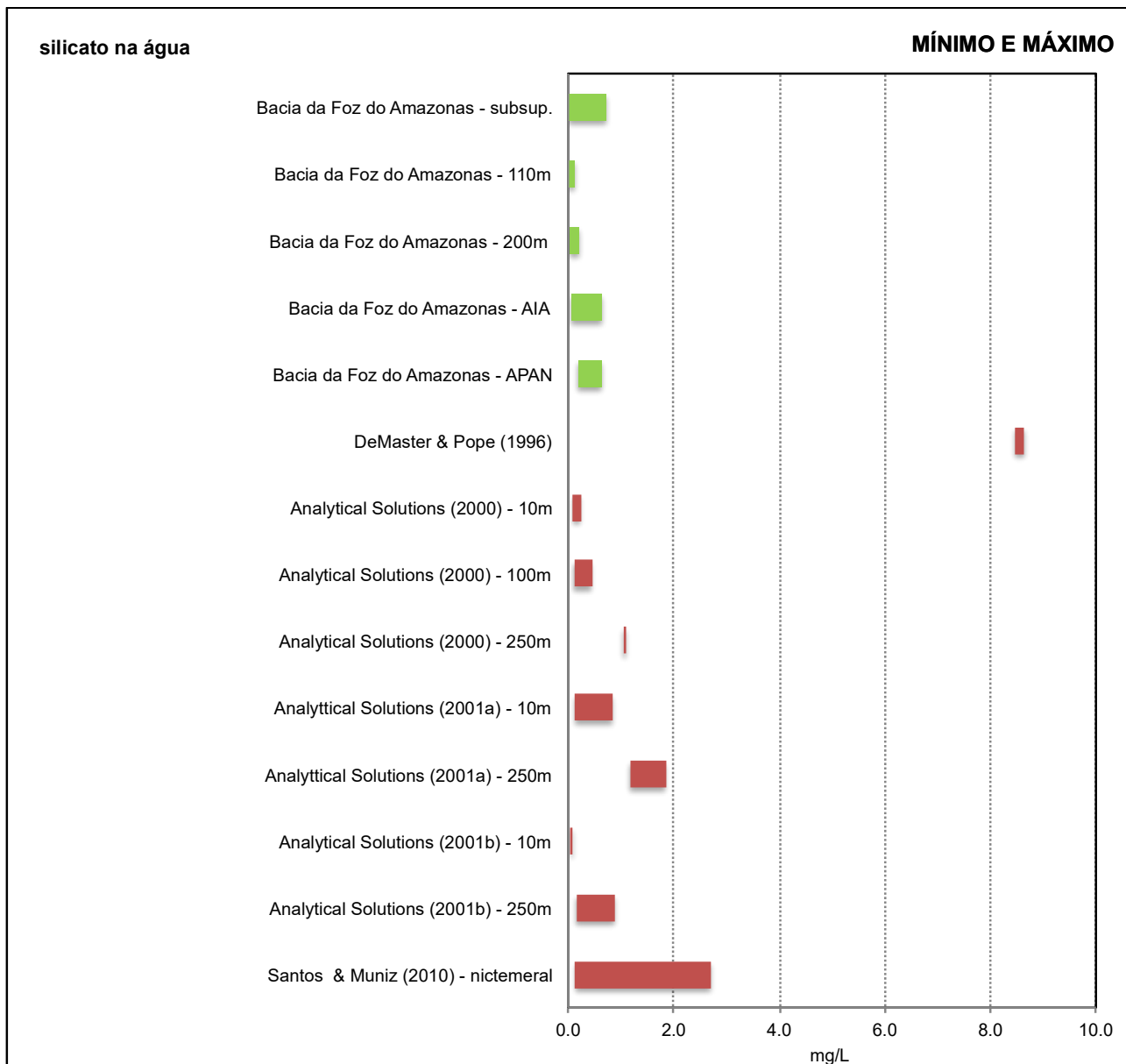
A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (alterada pelas Resoluções CONAMA 410/2009 e 430/2011) preconiza que o padrão referência (ou Valor Máximo de Referência – VMR) para o fósforo total é de 0,062mg/L, para águas salinas classe 1. Em três casos, dentre os compilados, foram registradas concentrações de fósforo total acima do Valor Máximo de Referência (0,062mg/L) da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada), sendo observado em todos esses casos maiores concentrações de fósforo total nos estratos mais profundos avaliados:

- ANALYTICAL SOLUTIONS (2000) – 10, 100 e 250m;
- ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a) – 10 e 250m;
- ANALYTICAL SOLUTIONS (2001b) – 10 e 250m;
- SANTOS & MUNIZ (2010) - nictemeral;
- PIR2 (2015).

#### **II.6.1.2.2.5.f. Silicato**

Além do nitrogênio e do fósforo, a sílica é outro composto de fundamental importância no metabolismo aquático, sendo utilizada pelas diatomáceas (elaboração de sua carapaça) e outros produtores primários (SILVA, 2007). A presença desse composto no ambiente aquático é proveniente, principalmente, da decomposição de minerais de silicato de alumínio. Na água a sílica pode estar sob três formas principais: solúvel, sílica coloidal e sílica particulada. A sílica particulada pode estar incorporada ao fitoplâncton (sílica biogênica SiO<sub>2</sub>) ou aos detritos orgânicos, sob a forma de quartzo e minerais de silicatos em suspensão e ainda adsorvidos a compostos orgânicos e inorgânicos. Este elemento sob a forma solúvel é a principal forma utilizada pelo fitoplâncton (HERRERA-SILVEIRA, 1998).

Dentre os resultados compilados e os dados primários obtidos, as concentrações mínimas variaram de não detectado a 8,46mg/L, com média de  $0,648 \pm 1,979$ mg/L e as concentrações máximas variaram de 0,095 a 8,64mg/L, com média de  $1,732 \pm 2,293$ mg/L (Figura II.6.1.2.2.5.f-1). A Resolução CONAMA 357 de 17 de 2005 (alterada) não preconiza um padrão de qualidade para o silicato.



**FIGURA II.6.1.2.5.f-1 – Concentrações máximas e mínimas de silicato na água registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte.**

Através dos dados do Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas, pode-se perceber, claramente, um aumento das concentrações da maioria dos nutrientes em função da batimetria, tendência observada para o nitrato, silicato, fosfato e fósforo total, onde a partir dos 200m de profundidade as concentrações foram aumentando progressivamente até a AIA, voltando a diminuir na APAN. Quando comparados os resultados atuais com os dados da literatura obtidos através de outros monitoramentos prévios realizados em áreas da Margem Equatorial Brasileira, fica claro que esses resultados já tinham sido reportados para a região e devem constituir as concentrações usuais para o período de realização das coletas e para as massas d'água identificadas.



#### II.6.1.2.2.6. Sulfetos ( $H_2S$ não dissociado)

O enxofre na água pode ser encontrado como enxofre molecular (S); íon sulfeto ( $S^{2-}$ ); íon sulfato ( $SO_4$ ); íon sulfito ( $SO_3$ ); gás sulfídrico ( $H_2S$ ); dióxido de enxofre ( $SO_2$ ); ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) e FeS nas formas associado ao metal. Em meio aquático aeróbio, o enxofre é mineralizado como sulfato ( $SO_4$ ), sendo esta a forma mais comum de enxofre encontrada na água. Em água salgada as concentrações de sulfato são de cerca de 2710mg/L (DREVER, 1982 *apud* SADIQ, 1992; PARKER, 1972 *apud* SADIQ, 1992; RILEY & SHIRROW, 1975 *apud* SADIQ, 1992).

O método utilizado para análise de sulfetos determina o teor total de sulfetos, que equivale ao somatório das concentrações de  $HS^-$  (íon sulfídrico),  $S^{2-}$  e  $H_2S$  presentes na amostra. O teor de  $H_2S$  pode ser estimado a partir de cálculos de equilíbrio, considerando o pH do meio. Para águas salinas com pH na faixa de 8, a concentração de  $H_2S$  corresponde a 10% do sulfeto total (APHA, 1998 *apud* PETROBRAS, 2001). A CONAMA N°357/2005 (alterada) estabelece como limite máximos de sulfetos livres em águas marinhas, classe 1, um limite de 0,002mg/L.

Não foram obtidos resultados acerca das concentrações de sulfetos na água dentre os estudos avaliados. Este parâmetro foi analisado pelo Projeto Integrado de Caracterização Ambiental (*Baseline*) da Margem Equatorial Brasileira, sendo que os resultados obtidos para as 21 estações distribuídas na área dos blocos, em três estratos na camada fótica (até 200m de profundidade), não mostraram concentrações detectáveis de sulfetos em nenhuma das amostras analisadas, sendo o limite de quantificação do método analítico utilizado de 0,005mg/L.

#### II.6.1.2.2.7. Metais-traço

Em áreas de exploração e produção de petróleo e gás natural, a análise química da composição mineral da água do mar torna-se relevante, uma vez que a contribuição de alguns metais na água, por exemplo, níquel (Ni) e vanádio (V), pode ser usada como indicadora de contaminação por descarte de petróleo (PETROBRAS, 2001). Além disso, o metal bário (Ba) pode ser usado como indicador de vazamentos de água de produção ou mesmo de contaminação pelo descarte de lama de perfuração (PETROBRAS, 2001). Assim, um rigoroso levantamento desses, além de outros metais, subsidia comparações futuras, servindo de background para distinguir possíveis alterações em virtude das atividades de E&P que serão realizadas.

Ressalta-se que os metais não foram quantificados pelo Projeto de Baseline Integrado para a Margem Equatorial Brasileira, uma vez que não existe um histórico de atividades de produção ou de exploração no setor SFZA-AP1 que justifique alterações nos níveis de metais indicadores de contaminação por essas atividades. Além disso, as atividades de exploração planejadas serão temporárias e devido ao elevado hidrodinamismo da região, as alterações nas concentrações de metais provenientes dos descartes de fluidos e cascalhos serão extremamente localizadas e de incidência e duração imediata. Os dados apresentados a seguir são, portanto, aqueles obtidos através de levantamentos bibliográficos (dados secundários).



#### **II.6.1.2.2.7.a. Alumínio (Al)**

Não foram registrados estudos que avaliaram as concentrações de alumínio na água.

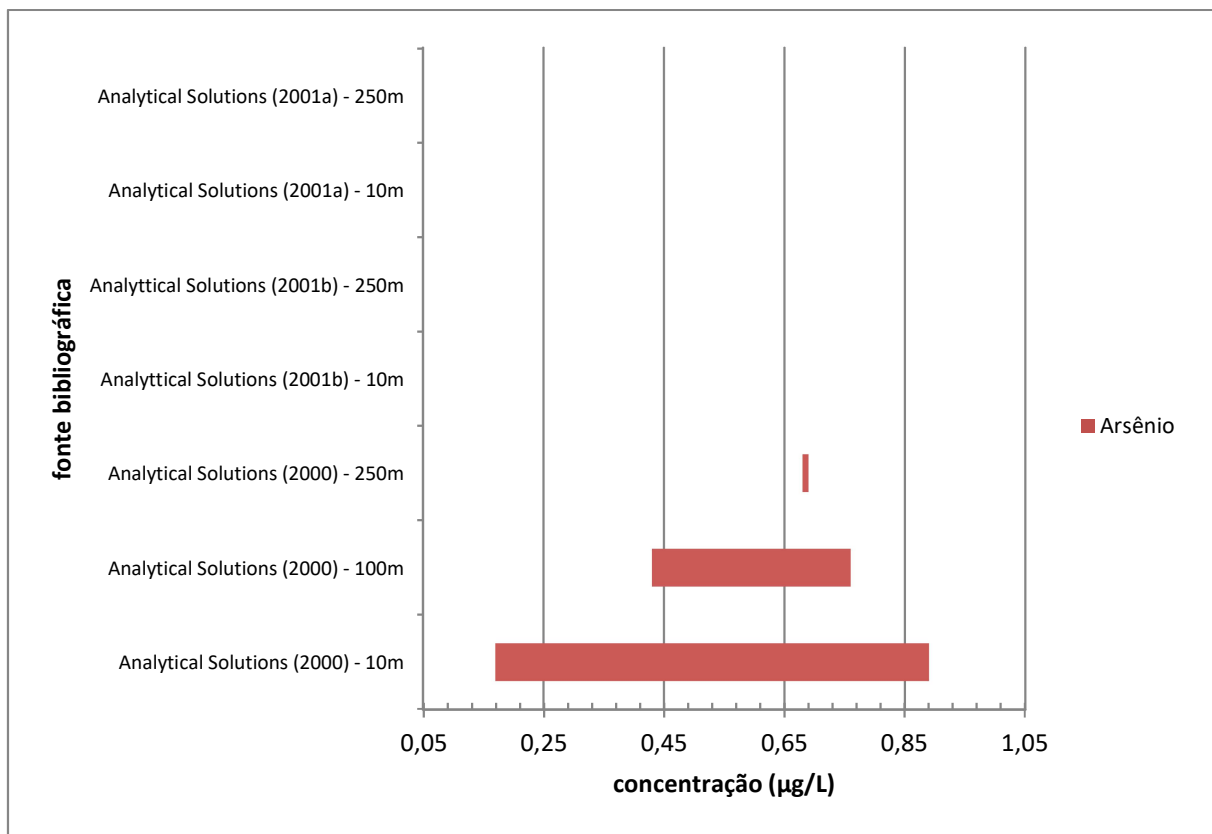
#### **II.6.1.2.2.7.b. Arsênio (As)**

O arsênio é um elemento que ocorre naturalmente na água, sendo usualmente encontrado combinado a outros elementos como oxigênio, cloro e enxofre, e tem propriedades químicas similares ao fósforo. As duas formas inorgânicas primárias do arsênio na água são o arsênio trivalente e o arsênio pentavalente, sendo a primeira significativamente mais tóxica e perigosa para animais que a segunda. As formas orgânicas do arsênio são bem menos perigosas que as inorgânicas. (IRWIN *et al.*, 1997).

A NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Administration*) dos Estados Unidos (BUCHMAN, 2008) define como  $36\mu\text{g/L}$  ( $=0,036\text{mg/L}$ ) a concentração de arsênio a partir da qual podem ser observados efeitos crônicos na biota e como  $69\mu\text{g/L}$  ( $=0,069\text{mg/L}$ ) a concentração a partir da qual podem ser observados efeitos agudos. Os critérios canadenses (*Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2015) são ainda mais restritivos para as concentrações de efeito crônico (longo prazo), indicando a concentração de  $12,5\mu\text{g/L}$  ( $=0,0125\text{mg/L}$ ) para o arsênio. A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define como concentração limite para o arsênio  $0,01\text{mg/L}$  ( $=10\mu\text{g/L}$ ) em águas salinas classe 1, sendo ainda mais restritiva que os critérios canadenses.

Dentre os dados obtidos da literatura, as concentrações mínimas de arsênio variaram da não detecção ( $<0,05\mu\text{g/L}$ ) a  $0,68\mu\text{g/L}$  (com média de  $0,43 \pm 0,26\mu\text{g/L}$  para os valores detectados), enquanto que as concentrações máximas detectadas variaram de  $0,69$  a  $0,89\mu\text{g/L}$  (média de  $0,78 \pm 0,10\mu\text{g/L}$ ), conforme **Figura II.6.1.2.2.7.b-1**. Nenhum estudo considerado apresentou concentração de arsênio acima do Valor Máximo de Referência ( $10\mu\text{g/L}$ ) da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada).

Em ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a; 2001b) não foi detectado arsênio nas camadas amostradas a 10m e a 250m de profundidade em nenhuma das estações.



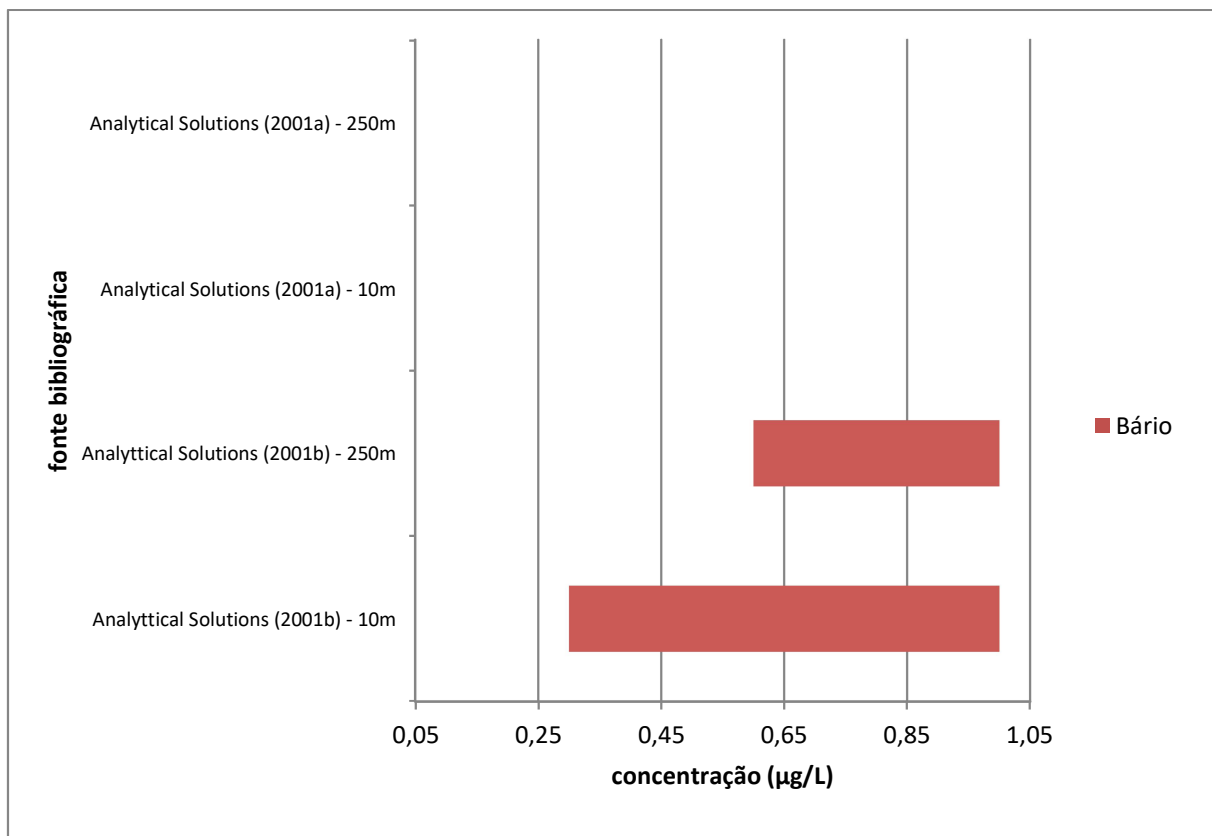
**FIGURA II.6.1.2.2.7.b-1 – Concentrações máximas e mínimas de arsênio na água, registradas na literatura considerada para a região.**

#### **II.6.1.2.2.7.c. Bário (Ba)**

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define como valor limite para o bário em águas salinas classe 1 a concentração de 1,0mg/L (=1.000µg/L). Este limite coincide com aquele indicado como a partir do qual tem potencial de causar efeito agudo nos organismos pela NOAA (BUCHMAN, 2008). No entanto esta agência define como limite para efeito crônico (longo prazo) a concentração de 200µg/L (=0,2mg/L), valor 5 vezes menor que aquele definido pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada).

As concentrações mínimas compiladas variaram de não detecção (<0,05µg/L) a 0,60µg/L, com média de  $0,45 \pm 0,21\mu\text{g/L}$  para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas detectadas foram de 1,0µg/L (**Figura II.6.1.2.2.7.c-1**). Em ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a) não foi detectado bário ou estratos amostrados em nenhuma das estações. Nenhum estudo apresentou concentração de bário acima do Valor Máximo de Referência (1000µg/L) da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada).





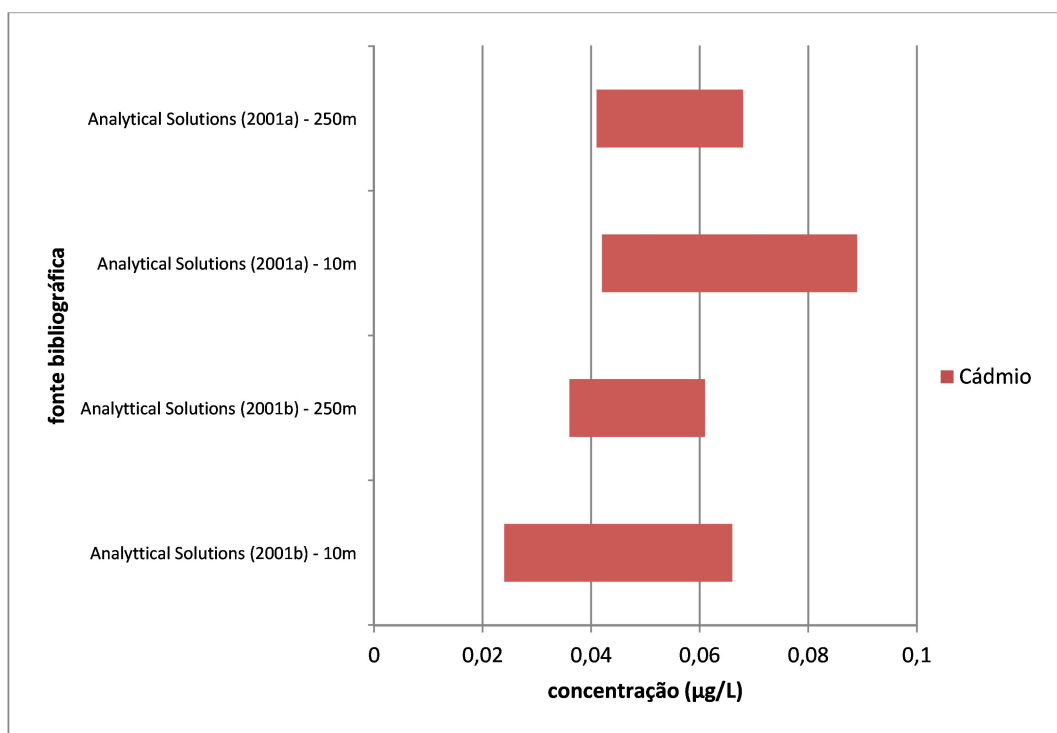
**FIGURA II.6.1.2.2.7.c-1 – Concentrações máximas e mínimas de bário na água, registradas na literatura considerada para a região.**

#### **II.6.1.2.2.7.d. Cádmio (Cd)**

Bastante tóxico a uma grande variedade de espécies (IRWIN *et al.*, 1997), a concentração limite para o cádmio em águas salinas classe 1 definida pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) é de 0,005mg/L (=5µg/L). O critério canadense (CCME, 2015) é mais restritivo que a Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada), indicando como 0,12µg/L a concentração a partir da qual podem ser observados efeitos tóxicos de cádmio a longo prazo. A agência norte americana (BUCHMAN, 2008), por sua vez, considera como 8,8µg/L o limite crônico e 40µg/L o agudo.

O tempo de residência do cádmio em águas oceânicas profundas é de 105 anos, enquanto que nas regiões costeiras e águas oceânicas superficiais pode se limitar a alguns anos (BEWERS & YEATS, 1989 *apud* BARCELLOS, 1995).

As concentrações mínimas variaram de 0,02 a 0,04µg/L (média de 0,04 ± 0,01µg/L), enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,06 a 0,09µg/L (média de 0,07 ± 0,01µg/L), conforme pode ser observado na **Figura II.6.1.2.2.7.d-1**. Nenhum estudo apresentou concentração de cádmio acima do Valor Máximo de Referência (5,0 µg/L) da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada), ou do limite definido pelo critério canadense (CCME, 2015) para efeitos de curto (efeitos agudos) ou longo prazo (efeitos crônicos).



**FIGURA II.6.1.2.2.7.d-1 – Concentrações máximas e mínimas de cádmio na água, registradas na literatura considerada para a região.**

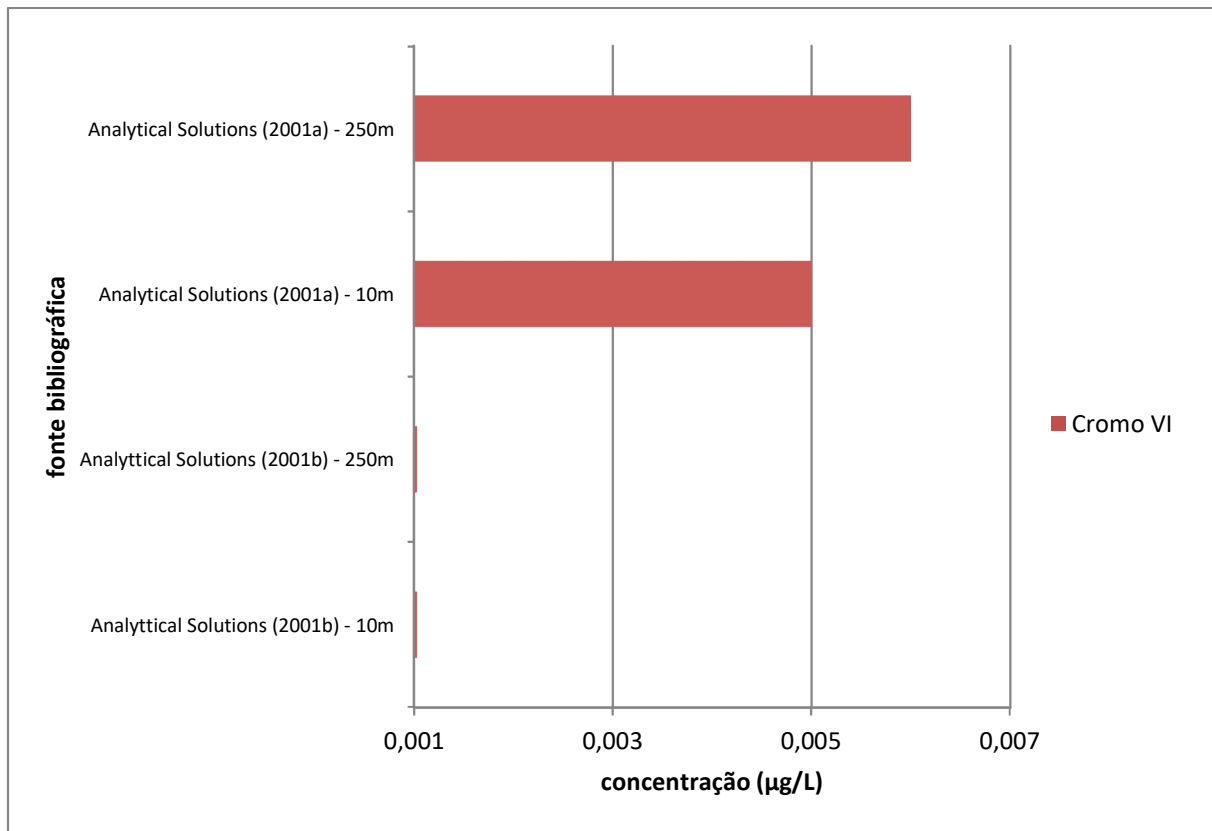
#### **II.6.1.2.2.7.e. Cromo (Cr)**

O cromo não ocorre livre na natureza e é considerado um dos 14 metais pesados mais nocivos ao meio ambiente. É mais frequentemente encontrado na natureza em compostos oxidados, como cromo trivalente (Cr III) ou hexavalente (Cr VI). Os compostos de cromo trivalente encontrados na natureza são estáveis. O estado hexavalente é o segundo mais estável. De uma maneira geral, os riscos e benefícios potenciais do cromo são bastante complexos. (IRWIN *et al.*, 1997).

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define como concentração limite para o cromo 0,05mg/L (=50µg/L) em águas salinas classe 1, sem definir valores máximos para as formas trivalente e hexavalente de cromo. Considerando a forma trivalente do cromo (Cr III), o critério norte americano (BUCHMAN, 2008) define como 10.300µg/L (=10,3mg/L) o limite de efeito agudo e como 27,4µg/L (=0,0274mg/L) o limite de efeito crônico. Este último (efeito a longo prazo) é considerado pelo critério canadense (CCME, 2015) como sendo 56µg/L (=0,056mg/L), limite este mais próximo àquele definido pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada). Já o limite crônico considerado para a forma hexavalente é de 1,5µg/kg (=0,0015mg/L), pelo critério canadense (CCME, 2015), e 50µg/L (=0,05mg/L), pelo critério norte americano (BUCHMAN, 2008), com limite agudo de 1.100µg/L (=1,1mg/L) considerado por BUCHMAN (2008).

Os trabalhos considerados neste diagnóstico apenas apresentaram resultados para o cromo hexavalente (Cr VI), não tendo sido identificados resultados para as demais valências deste elemento, ou sua concentração total.

Não ocorreram variações nas concentrações mínimas do cromo VI. Os resultados obtidos para estas concentrações mínimas foram todos inferiores ao limite de detecção do método empregado (0,001 $\mu\text{g/L}$ ). Já as concentrações máximas detectadas variaram de 0,005 a 0,006 $\mu\text{g/L}$ , com média de  $0,0055 \pm 0,0007\mu\text{g/L}$  (**Figura II.6.1.2.2.7.e-1**). Nenhum estudo apresentou concentração de Cromo VI acima do Valor Máximo de Referência da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) para cromo total (50,0 $\mu\text{g/L}$ ), assim como das demais listas orientadoras apresentadas anteriormente.



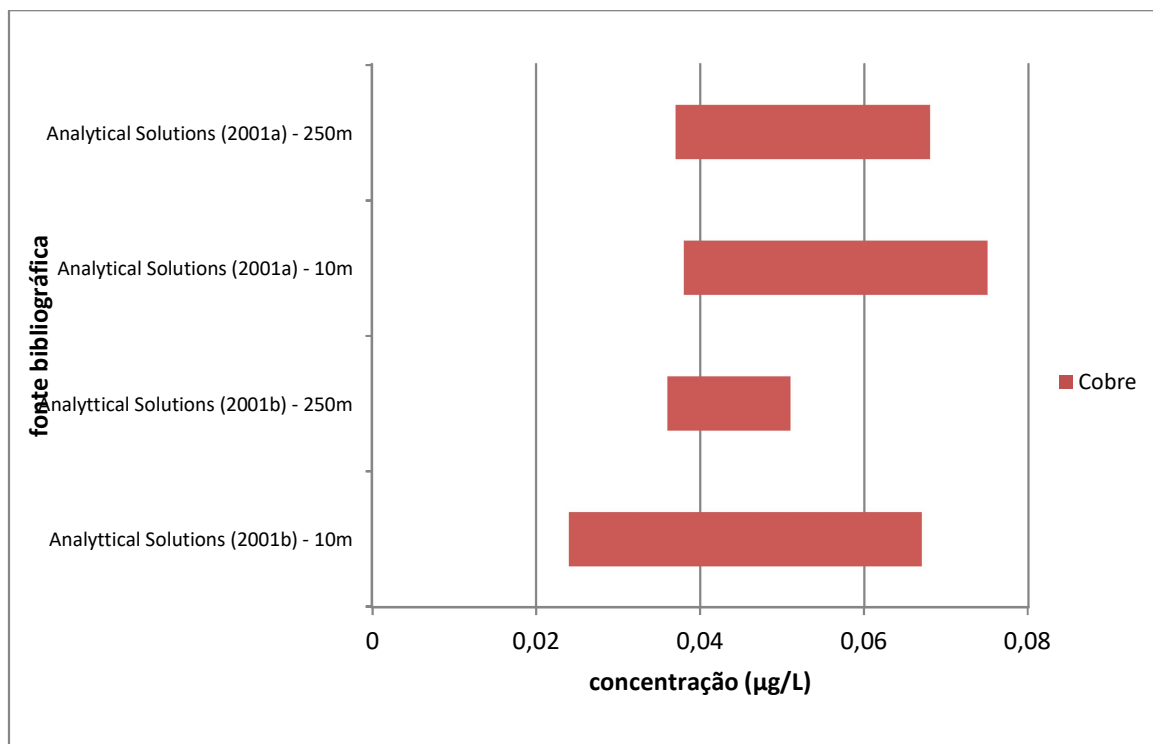
**FIGURA II.6.1.2.2.7.e-1 – Concentrações máximas e mínimas de cromo VI na água, registradas na literatura considerada para a região.**

#### **II.6.1.2.2.7.f. Cobre (Cu)**

O cobre está amplamente distribuído na natureza como elemento, em sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos (IRWIN *et al.*, 1997). Embora o cobre na água seja um perigo para muitos organismos aquáticos, ele é um elemento traço importante no metabolismo das plantas e pequenas quantidades de cobre são necessárias para diversos níveis tróficos (IRWIN *et al.*, 1997).

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) indica 0,005mg/L (=5 $\mu\text{g/L}$ ) como a concentração limite de cobre dissolvido em águas salinas classe 1 e os critérios canadense (CCME, 2015) e norte americano (BUCHMAN, 2008) concordam que há efeito crônico em concentrações a partir de 3,1 $\mu\text{g/L}$  (=0,0031mg/L) e efeito agudo a 4,8 $\mu\text{g/L}$  (=0,0048mg/L), limite este bastante próximo do definido pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada).

Considerando os dados disponíveis na literatura, as concentrações mínimas de cobre na água variaram entre 0,024 a 0,038 $\mu\text{g/L}$ , com média de  $0,034 \pm 0,007\mu\text{g/L}$ , enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,051 a 0,075 $\mu\text{g/L}$ , com média de  $0,065 \pm 0,01\mu\text{g/L}$ . Nenhum estudo apresentou concentração de cobre acima do Valor Máximo de Referência da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) (5,0 $\mu\text{g/L}$ ), ou dos limites orientadores das demais listas orientadoras anteriormente apresentadas. Os resultados compilados para o cobre na água estão representados na **Figura II.6.1.2.2.7.f-1**.

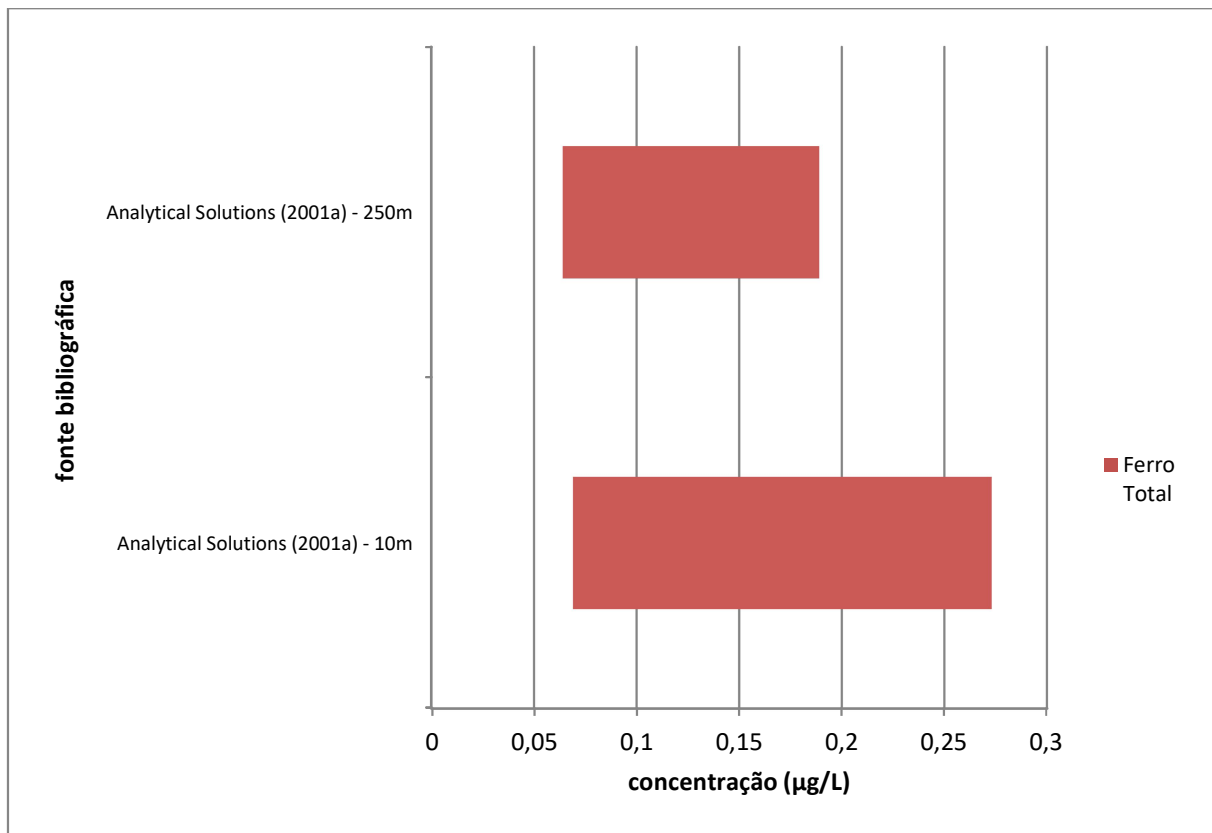


**FIGURA II.6.1.2.2.7.f-1 – Concentrações máximas e mínimas de cobre na água, registradas na literatura considerada para a região.**

#### **II.6.1.2.2.7.g. Ferro (Fe)**

A concentração máxima de ferro dissolvido na água do mar pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) (águas salinas classe 1) é de 0,3mg/L (=300 $\mu\text{g/L}$ ). Vale ressaltar que esse limite coincide com aquele indicado como a partir do qual o ferro tem potencial de causar efeito agudo nos organismos pela NOAA (BUCHMAN, 2008). No entanto, esta agência define como limite para efeito crônico (longo prazo) uma concentração bastante inferior: 50 $\mu\text{g/L}$  (=0,05mg/L).

Dentre os dados compilados da literatura para o ferro na água, as concentrações mínimas variaram entre 0,064 a 0,069 $\mu\text{g/L}$  (média de  $0,067 \pm 0,004\mu\text{g/L}$ ), enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,189 a 0,273 $\mu\text{g/L}$  (média de  $0,231 \pm 0,059\mu\text{g/L}$ ) (**Figura II.6.1.2.2.7.g-1**). Nenhum estudo apresentou concentração de ferro acima do Valor Máximo de Referência da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) (300,0 $\mu\text{g/L}$ ), assim como das demais listas orientadoras anteriormente apresentadas.



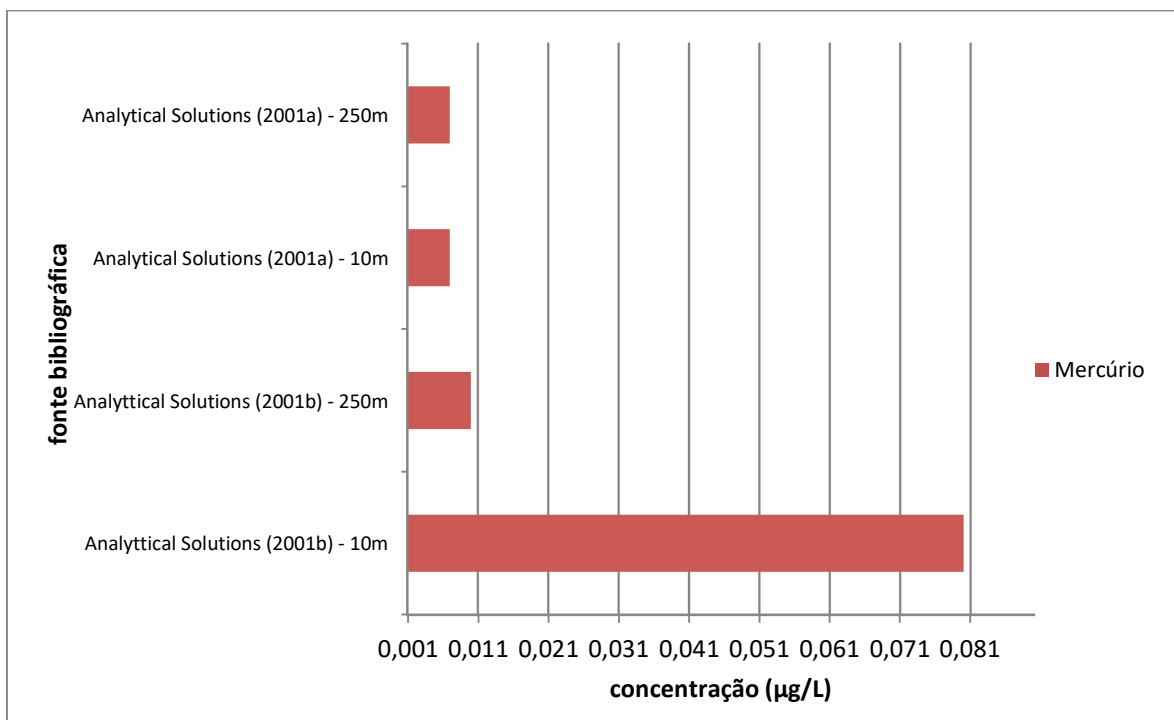
**FIGURA II.6.1.2.2.7.g-1 – Concentrações máximas e mínimas de ferro total na água, registradas na literatura considerada para a região.**

#### **II.6.1.2.2.7.h. Mercúrio (Hg)**

O metal mercúrio ocorre naturalmente no meio ambiente em diferentes formas, tem apenas efeitos prejudiciais à biota, não apresenta funções fisiológicas úteis e é facilmente transformado a partir de uma forma inorgânica, menos tóxica, em formas orgânicas muitíssimo mais tóxicas nos tecidos de peixes e demais animais (IRWIN *et al.*, 1997).

Devido à sua alta toxicidade e elevada capacidade de bioacumulação, os critérios de aceitabilidade de mercúrio na água são bastante restritivos. A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define como valor máximo aceitável, na água do mar, 0,0002mg/L (=0,2µg/L) de mercúrio. O critério canadense (CCME, 2015), mais restritivo, define como 0,016µg/L a concentração a partir da qual podem ser observados efeitos tóxicos desse metal a longo prazo. O critério norte americano (BUCHMAN, 2008), no entanto, define as concentrações de 0,94µg/L para efeito crônico (longo prazo) e 1,8µg/L para efeito agudo (curto prazo).

Dentre os resultados compilados, as concentrações mínimas de mercúrio encontradas, foram todas inferiores ao limite de detecção do método analítico (0,001µg/L), enquanto que as concentrações máximas detectadas variaram de 0,007 a 0,08µg/L (média de  $0,025 \pm 0,036\mu\text{g/L}$ ), ainda abaixo do Valor Máximo de Referência da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) (0,2µg/L), assim como das demais listas orientadoras citadas (Figura II.6.1.2.2.7.h-1).



**FIGURA II.6.1.2.2.7.h-1 – Concentrações máximas e mínimas de mercúrio na água, registradas na literatura considerada para a região.**

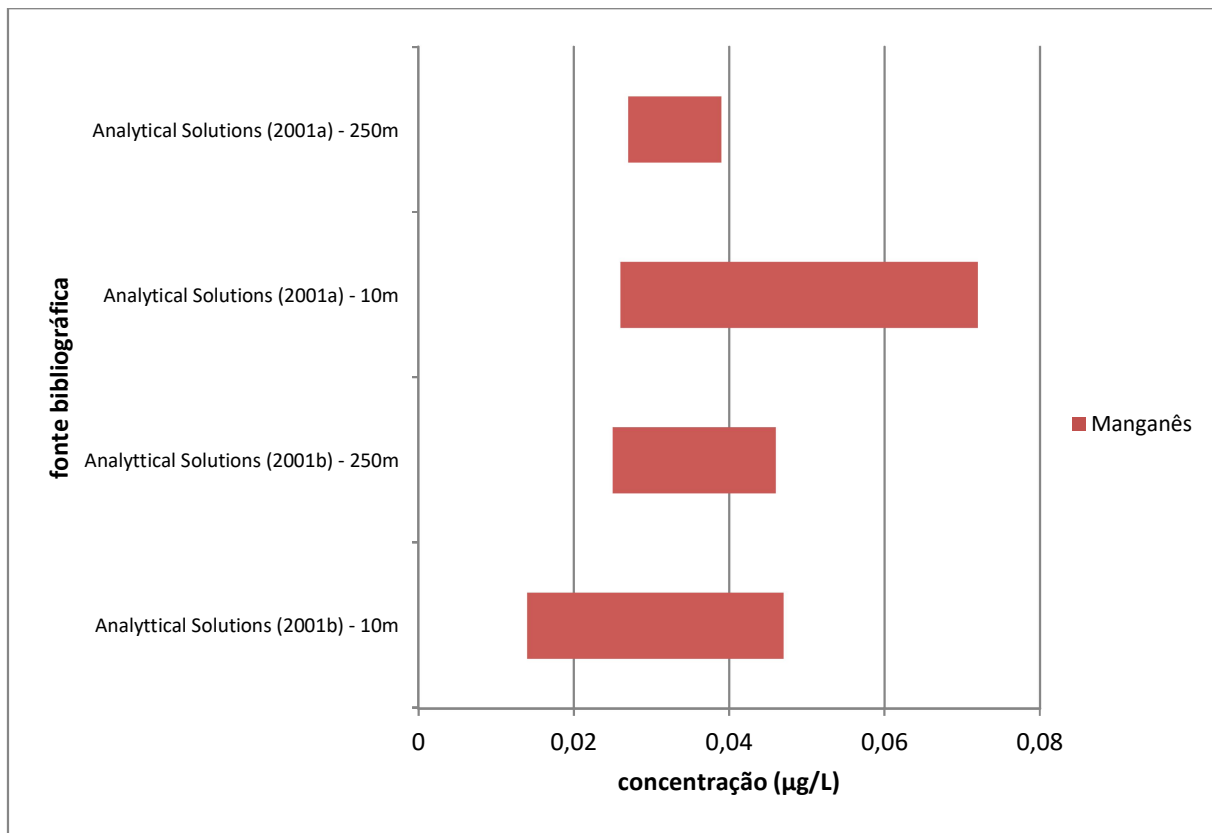
#### **II.6.1.2.2.7.i. Manganês (Mn)**

O manganês é um metal cinzento, semelhante ao ferro e muito mais duro e quebradiço. Durante os processos magmáticos, o Mn ocorre em estado iônico divalente, substituindo facilmente o  $Fe^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (URE & BARROW, 1982). O manganês é imóvel durante o metamorfismo regional e de contato (WEDEPOHL, 1978).

Tem papel importante em todos os organismos animais e vegetais. Nestes, ele participa das enzimas fosfotransferases (que atuam no crescimento das plantas) e no processo de fotossíntese (etapa de fotossíntese da água, com liberação de  $O_2$  pelos cloroplastos). O elemento é o 3º metal de transição mais importante em nossa dieta (após ferro e zinco) (ROCHA & AFONSO, 2012).

BUCHMAN (2008) considera que efeitos crônicos relacionados à toxicidade do manganês podem ser observados quando em concentrações acima de  $100\mu g/L$  ( $=0,1mg/L$ ). Esta mesma concentração é considerada como valor máximo definido para águas salinas classe 1 pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada).

Na região, segundo as referências consideradas, as concentrações mínimas apresentaram variação entre  $0,014$  a  $0,027\mu g/L$  (média de  $0,023 \pm 0,006\mu g/L$ ), enquanto que as concentrações máximas variaram de  $0,039$  a  $0,072\mu g/L$  (média de  $0,051 \pm 0,014\mu g/L$ ), conforme ilustrado pela **Figura II.6.1.2.2.7.i-1**. Nenhum estudo apresentou concentração de manganês acima do Valor Máximo de Referência da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) ( $0,1\mu g/L$ ), assim como das demais listas orientadoras anteriormente apresentadas.



**FIGURA II.6.1.2.2.7.i-1 – Concentrações máximas e mínimas de manganês na água, registradas na literatura considerada para a região.**

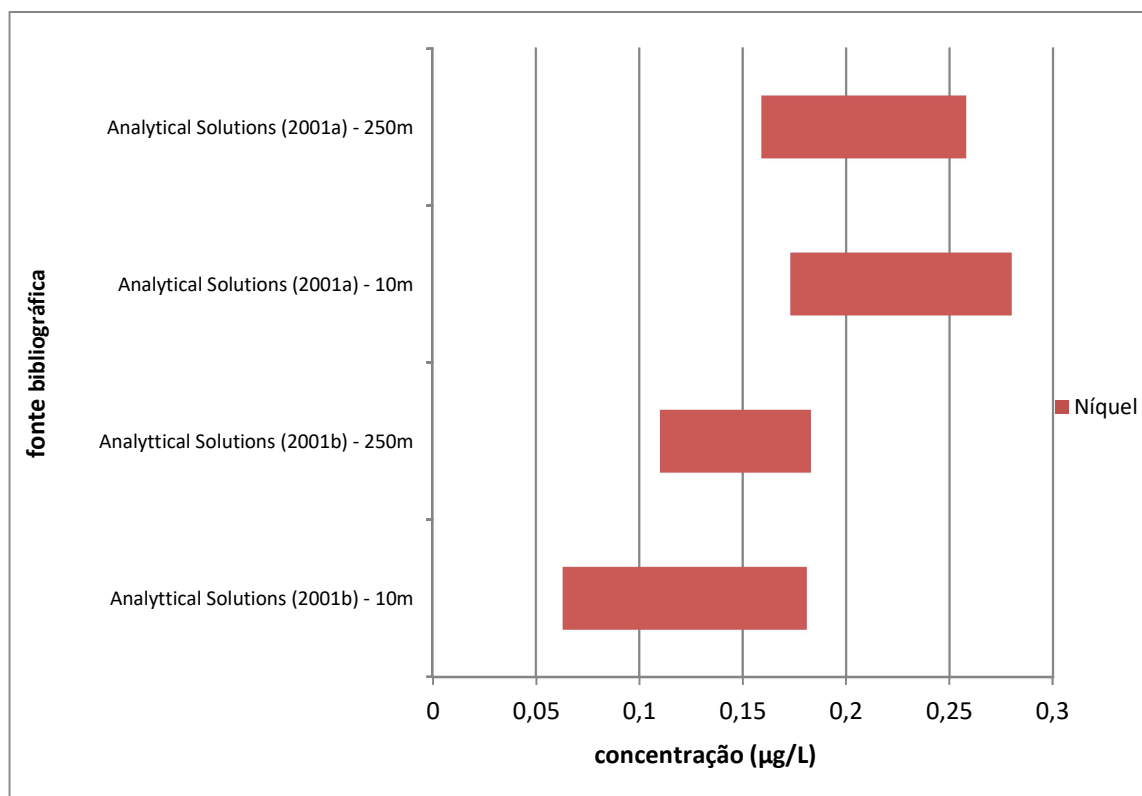
#### **II.6.1.2.2.7.j. Níquel (Ni)**

O níquel é um metal prateado, duro, maleável, dúctil, levemente ferromagnético e um mau condutor de calor e de eletricidade. Em rochas sedimentares, o Ni está principalmente contido em silicatos ferromagnesianos detríticos, óxidos de ferro detríticos, óxidos hidratados de ferro e manganês a argilo-minerais. Concentra-se mais nos folhelhos (até 90ppm) que nas grauvacas (cerca de 40ppm), ortoarenitos (cerca de 20ppm) e calcários (<5 ppm) e se enriquece nas lateritas dos ambientes tropicais (BGS, 2008).

A solubilidade limitada do  $Ni^{2+}$  pode ocorrer sob condições de pH baixo, mas a mobilidade é geralmente reduzida pela tendência do elemento ser sorvido por argilo minerais ou por óxidos hidratados de Fe e Mn (BGS, 2008).

A concentração limite definida para o níquel em águas salinas classe 1 pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) é de 0,025mg/L (=25µg/L). BUCHMAN (2008) define que efeitos tóxicos crônicos causados pelo níquel começam a ser observados em águas com concentrações de níquel mais elevadas que 8,2µg/L (=0,0082mg/L) e efeitos agudos são percebidos quando as concentrações de níquel na água são superiores a 74µg/L (=0,074mg/kg).

As concentrações mínimas de níquel na água apresentaram variação entre 0,06 a 0,17 $\mu\text{g/L}$ , média de  $0,13 \pm 0,05\mu\text{g/L}$ , enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,18 a 0,28 $\mu\text{g/L}$ , com média de  $0,23 \pm 0,05\mu\text{g/L}$  (Figura II.6.1.2.2.7.j-1). Nenhum estudo considerado apresentou concentração de níquel acima do Valor Máximo de Referência da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) (25 $\mu\text{g/L}$ ), assim como das demais listas orientadoras anteriormente apresentadas.



**FIGURA II.6.1.2.2.7.j-1 – Concentrações máximas e mínimas de níquel na água, registradas na literatura considerada para a região.**

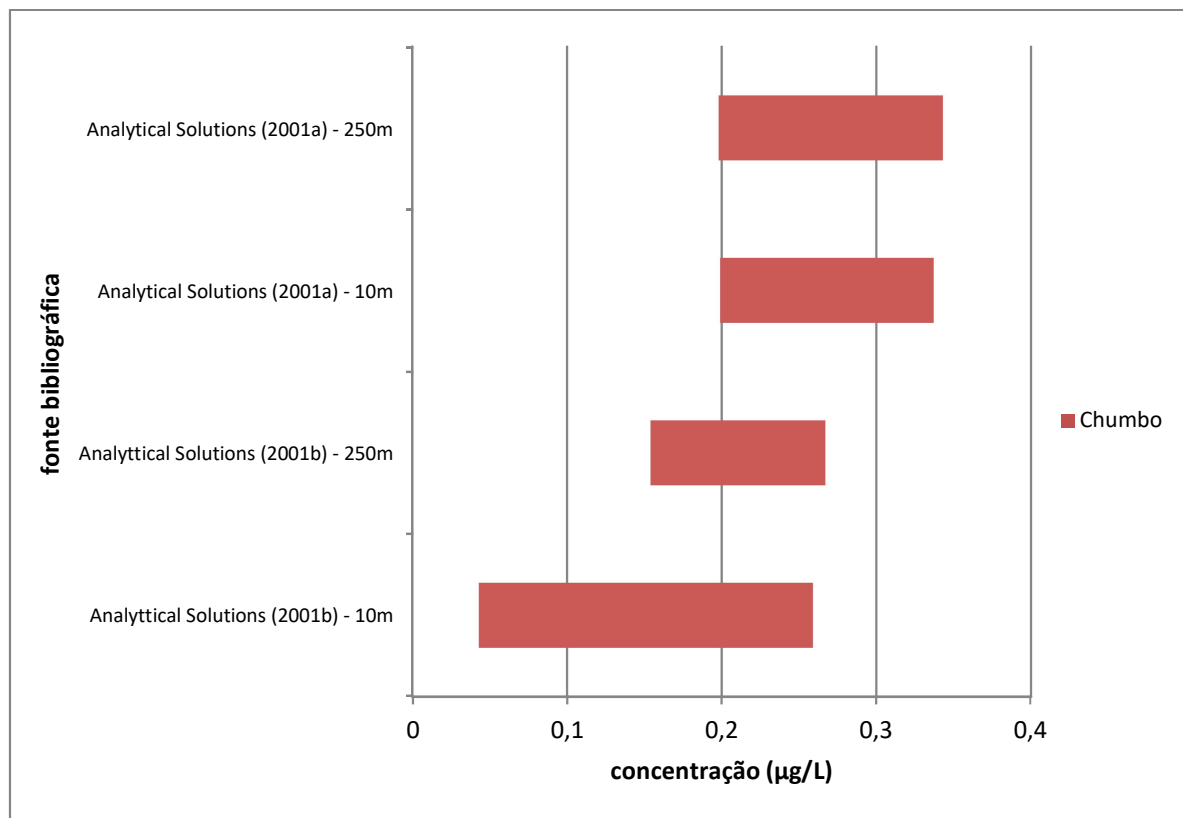
#### **II.6.1.2.2.7.k. Chumbo (Pb)**

Todos os efeitos medidos de chumbo sobre os organismos vivos são adversos, incluindo os relacionados com a sobrevivência, crescimento, aprendizagem, reprodução, desenvolvimento, comportamento e metabolismo. O chumbo não tem função biológica essencial conhecida e todos os seus compostos são potencialmente nocivos ou tóxicos, além de tenderem a ser bioacumulados. É um metal pesado muito tóxico para organismos aquáticos, especialmente peixes. (IRWIN *et al.*, 1997).

Considerando a alta toxicidade do chumbo, a Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define como valor máximo para a concentração de chumbo na água do mar (água salina Classe 1) o valor de 0,01mg/L (=10 $\mu\text{g/L}$ ). Os já citados critérios canadense e norte americano consideram 8,1 $\mu\text{g/L}$  (=0,0081mg/L) como concentração a partir da qual podem ocorrer efeitos crônicos (longo prazo) e 210 $\mu\text{g/L}$  (=0,21mg/L) como concentração a partir da qual começam a ocorrer efeitos agudos.



As concentrações mínimas de chumbo na água apresentaram variação entre 0,04 a 0,20 $\mu\text{g/L}$  (média de 0,15  $\pm$  0,07 $\mu\text{g/L}$ ), enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,26 a 0,34 $\mu\text{g/L}$  (média de 0,30  $\pm$  0,04 $\mu\text{g/L}$ ) (**Figura II.6.1.2.2.7.k-1**). Nenhum estudo considerado apresentou concentração de Chumbo acima do Valor Máximo de Referência da Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) (10 $\mu\text{g/L}$ ), assim como das demais listas orientadoras anteriormente apresentadas.



**FIGURA II.6.1.2.2.7.k-1 – Concentrações máximas e mínimas de chumbo na água, registradas na literatura considerada para a região.**

#### **II.6.1.2.2.7.I. Vanádio (V)**

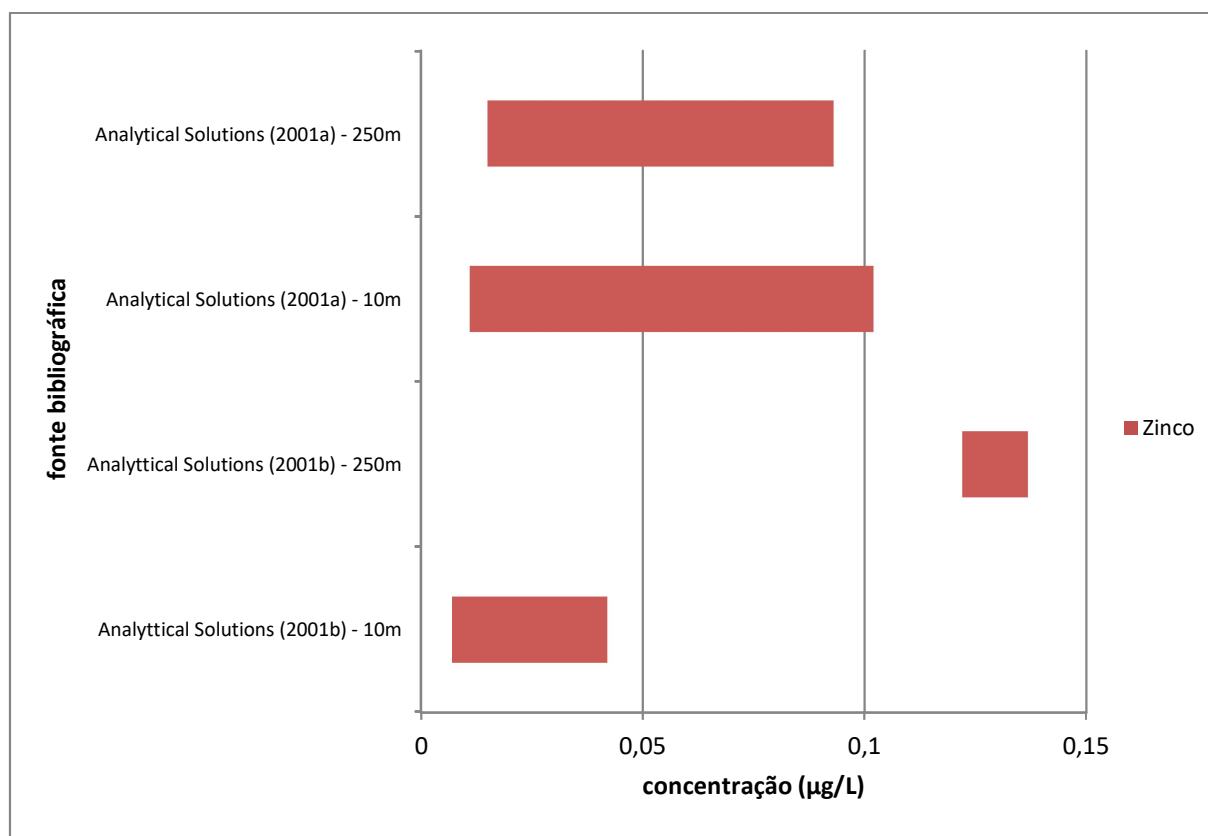
O vanádio é um metal de transição com uma geoquímica complexa no meio aquático (IRWIN *et al.*, 1997), encontrado na água do mar em concentrações na faixa de 1-2 $\mu\text{g/L}$  (SANTOSA *et al.*, 1997). A agência norte americana (BUCHMAN, 2008) considera que em concentrações a partir de 50 $\mu\text{g/L}$  de vanádio na água do mar podem ser observados efeitos crônicos.

As concentrações de vanádio na água foram avaliadas apenas por ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a), a 10 e 250m de profundidade, considerando as referências avaliadas. Porém não foi detectado vanádio em nenhuma amostra de água analisada (LD = 0,05 $\mu\text{g/L}$ ).

### II.6.1.2.2.7.m. Zinco (Zn)

O zinco é um elemento traço que cumpre algumas funções fisiológicas importantes, embora concentrações elevadas de zinco na água sejam particularmente tóxicas a muitas espécies de algas e crustáceos (IRWIN *et al.*, 1997). A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define o valor de 0,09mg/L (=90µg/L) como concentração limite para o zinco em águas salinas classe 1, mesma concentração definida pelos critérios norte americano (BUCHMAN, 2008) e canadense (CCME, 2015) para efeito agudo (a curto prazo), embora estes últimos definam que concentrações de 81µg/L de zinco já podem causar efeito crônico (a longo prazo).

As concentrações mínimas de zinco na água nos estudos analisados apresentaram variação entre 0,01 a 0,12µg/L (média de  $0,04 \pm 0,06\mu\text{g/L}$ ), enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,04 a 0,14µg/L (média de  $0,09 \pm 0,04\mu\text{g/L}$ ) (**Figura II.6.1.2.2.7.m-1**). Nenhum estudo apresentou concentração de zinco acima do Valor Máximo de Referência preconizado pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) (90µg/L), assim como pelas demais listas orientadoras anteriormente apresentadas.



**FIGURA II.6.1.2.2.7.m-1 – Concentrações máximas e mínimas de zinco na água, registradas na literatura considerada para a região.**



#### II.6.1.2.2.8. Hidrocarboneto totais de petróleo (HTP)

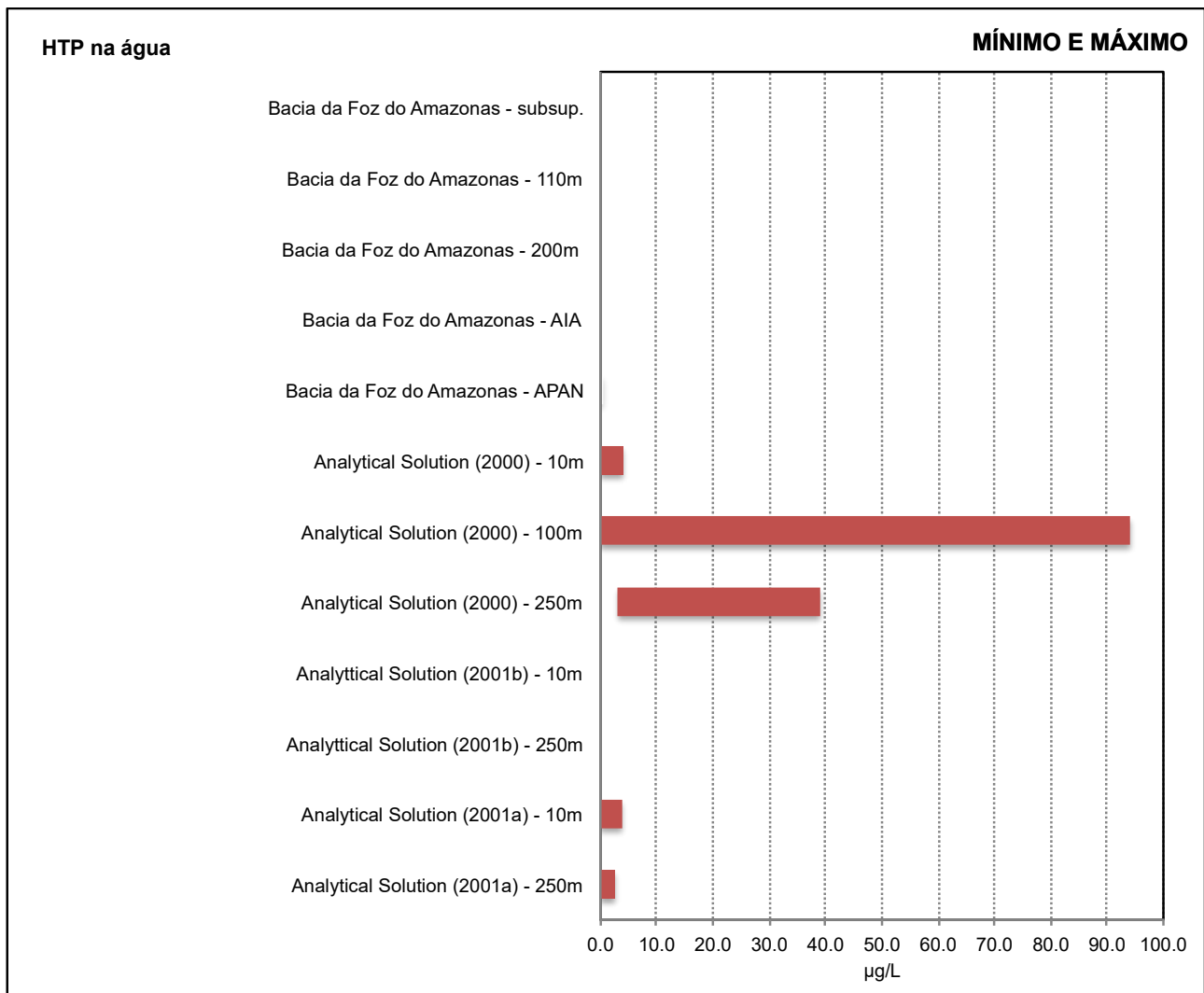
Hidrocarbonetos são os constituintes majoritários do petróleo e, por essa razão, são considerados contaminantes potenciais em áreas de exploração e produção, assim como em áreas de tratamento, transporte e transferência do óleo. Os hidrocarbonetos do petróleo compreendem os n-alcenos, os isoalcenos, os cicloalcenos e os aromáticos. Dentre os compostos aromáticos, a maioria é formada por monoaromáticos: benzeno, tolueno e outros alquilbenzenos (UNEP, 1991). Petróleo também contém uma mistura complexa de alcenos ramificados e cíclicos, que normalmente não são encontrados em organismos. Essa mistura complexa não é separada cromatograficamente e, portanto, é denominada mistura complexa não resolvida (MCNR). A presença e a quantidade de MCNR em amostras ambientais podem indicar a contaminação por petróleo (KENNICUTT II, 1995; ELIAS, 2000).

Embora os hidrocarbonetos estejam largamente espalhados nos ambientes marinho e terrestre, por aportes de várias fontes, há algumas maneiras de se reconhecer e diferenciar os de origem petrogênica (que podem ser de origem natural e antropogênica) e os de origem biogênica (ELIAS, 2000).

Os hidrocarbonetos lineares (n-alcenos) sintetizados por organismos marinhos (plâncton) e terrestres incluem uma série de alcenos lineares com número ímpar entre 15 e 33 átomos de carbono, embora em alguns casos n-alcenos com número par de carbonos também já tenham sido observados (ELIAS *et al.*, 1997). Os de origem planctônica são constituídos principalmente de n-C<sub>15</sub>, n-C<sub>17</sub>, n-C<sub>19</sub> e pristano, enquanto que os de origem de plantas terrestres apresentam, predominantemente, os n-alcenos com número ímpar de carbono como o n-C<sub>25</sub>, n-C<sub>27</sub>, n-C<sub>29</sub> e n-C<sub>31</sub> (ELIAS *et al.*, 1997; ELIAS *et al.*, 2000). No petróleo não há preferência de n-alcenos ímpares ou pares, havendo uma distribuição equilibrada destes alcenos (BRASSEL *et al.*, 1978; PHILIP, 1985; BOEHM & REQUEJO, 1986; KENNICUTT II, 1995; PHILLIPS, 1995; ELIAS *et al.*, 1997).

Os hidrocarbonetos totais (HTPs) foram analisados pelo Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira, não tendo sido encontradas concentrações detectáveis de HTPs em nenhuma das amostras obtidas nas 21 estações analisadas, sendo o limite de quantificação do método analítico utilizado de 0,05µg/L.

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) ou as listas orientadoras americana (BUCHMAN, 2008) e canadense (CCME, 2015) não definem uma concentração limite para o HTP. Resultados quanto a este parâmetro foram encontrados, apenas, dentre os esforços de monitoramento realizados pela BP em 2000 e 2001 (ANALYTICAL SOLUTIONS 2000; 2001a e 2001b). As concentrações mínimas de HTP na água variaram da não detecção a 3,20µg/L, enquanto que as concentrações máximas variaram de 2,6 a 94,0µg/L (média de 28,70 ± 39,61µg/L) (Figura II.6.1.2.2.8-1).



**FIGURA II.6.1.2.2.8-1 – Concentrações máximas e mínimas de HTP na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte.**

#### II.6.1.2.2.9. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)

Dentre os compostos aromáticos, os HPAs encontrados em amostras ambientais podem ser de origem biogênica, fontes naturais, ou de origem antropogênica. Os de origem biogênica e outras fontes naturais incluem os processos de biossíntese e degradação, combustão natural de florestas (ELIAS *et al.*, 1999; SIMONEIT *et al.*, 1998) e exsudação natural de petróleo (KENNICUTT II *et al.*, 1994; ELIAS *et al.*, 1998). Já as principais fontes antropogênicas, segundo ELIAS *et al.* (2001) e SIMONEIT & ELIAS (2001) estão relacionadas à deposição atmosférica (oriunda de queimadas intencionais ou combustão incompleta de combustíveis fósseis;), derrames de óleo ou derivados, lançamento de detritos de lastro de navio contaminados com óleo e derivados, efluentes industriais, esgoto urbano, escoamento de águas pluviais e efluentes ligados à exploração e produção de petróleo (NRC, 1985; ELIAS *et al.*, 1998).

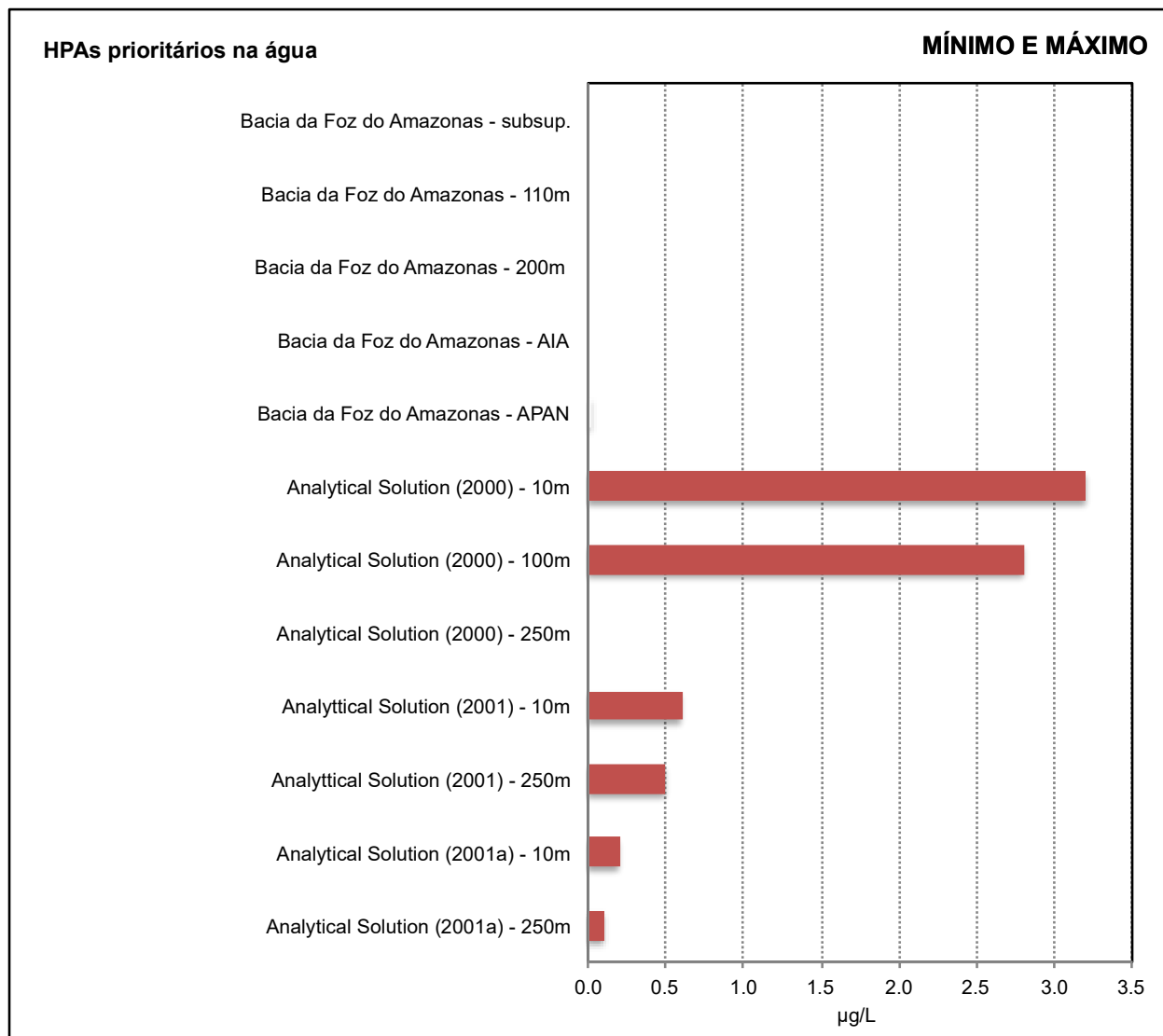


Devido ao impacto ambiental e à toxicidade elevada, os HPAs são considerados parâmetros muito importantes. Os *fingerprints* de compostos aromáticos têm se mostrado bastante úteis para análises de resíduos de óleo. A distribuição de HPAs alquilados vem sendo reportada em estudos como indicadores do destino do óleo no meio ambiente e como marcadores da fonte do derrame ou do óleo contido nos sedimentos (WANG & FINGAS, 1997).

A Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA – *Environmental Protection Agency*) definiu 16 compostos dentre os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) como prioritários para análise: naftaleno, acenafteno, acenaftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, criseno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(ghi)perileno, indeno(123-cd)pireno e dibenzo(a,h)antraceno. A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) não define uma concentração limite para o somatório dos 16 HPA prioritários na água, para águas salinas classe 1, ou mesmo para cada um dos 16 compostos em separado, a não ser que se trate de corpo d'água onde haja pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo humano intensivo, definindo valores máximos de referência para o benzo(a)antraceno (0,018µg/L), benzo(a)pireno (0,018µg/L), benzo(b)fluoranteno (0,018µg/L), benzo(k)fluoranteno (0,018µg/L), criseno (0,018µg/L), dibenzo(a,h)antraceno e indeno(123-cd)pireno (0,018µg/L).

Os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs) também foram analisados pelo Projeto de *Baseline*, sendo que os resultados obtidos para as 21 estações distribuídas na área dos blocos na Bacia da Foz do Amazonas não mostraram concentrações detectáveis de HPAs em nenhuma das amostras analisadas, sendo o limite de quantificação do método analítico utilizado de 0,05µg/L.

Os resultados de HPA compilados da literatura, variaram da não detecção a 3,2µg/L, com média dos valores máximos detectados de 1,2±1,4µg/L (**Figura II.6.1.2.2.9-1**). Em ANALYTICAL SOLUTIONS (2000) não foram detectados HPAs no estrato amostrado a 250m de profundidade em nenhuma das estações.



**FIGURA II.6.1.2.2.9-1 – Concentrações máximas e mínimas de HPA na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte.**

#### II.6.1.2.2.10. Fenóis

Produtos do petróleo possuem fenóis, formados durante o processo de refino do petróleo, pela oxidação do hidrocarboneto, sua condensação e transformação em derivados de fenol e impurezas oxigenadas. GALCERAN & JAUREGUI (1995) afirmam que compostos fenólicos contaminam o meio ambiente por causa das aplicações industriais, empregados na produção de matérias-primas, como plásticos, corantes, drogas, pesticidas, antioxidantes, papel e petroquímicos. Condições adversas como manchas de petróleo em águas da costa marítima contêm grandes quantidades de compostos que, em virtude da intensa radiação solar (5% de UV-B, 280-315nm e 95% de UV-A, 315-400nm), promovem a foto-oxidação do óleo, produzindo compostos aromáticos oxigenados, como cetonas, fenóis, aldeídos, ácidos carboxílicos, sulfóxidos entre outros (LEE, 2003; McCOLLOM *et al.*, 2001).



A presença de fenóis na água do mar é um fator preocupante. Especial atenção tem sido dada às atividades de produção de petróleo em áreas *offshore* (costeiras) onde os processos de produção, por vezes, necessitam de grandes volumes de água para a manutenção da pressão do reservatório produtor. A consequência desse fato é a contaminação da água por compostos fenólicos. Portanto, o controle rigoroso dos descartes no meio ambiente marinho se faz necessário. (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 2000)

A Resolução CONAMA 357 de 2005 (alterada) define como valor máximo de referência para fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina) 60µg/L C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH.

Não foram identificados resultados de fenóis totais na literatura consultada, assim como também não o foram na campanha realizada no âmbito do Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas, considerando coletas realizadas em 21 estações e os estratos avaliados, sendo o limite de quantificação do método analítico utilizado de 0,009mg/L.

#### II.6.1.2.2.11. Pigmentos clorofilianos

O plâncton é constituído por organismos pelágicos cujo poder de deslocamento é insuficiente para vencer a dinâmica das massas de água e correntes no ambiente aquático. É possível classificar o plâncton de diversas maneiras. Com base no modo de nutrição, por exemplo, podemos classificar estes organismos em:

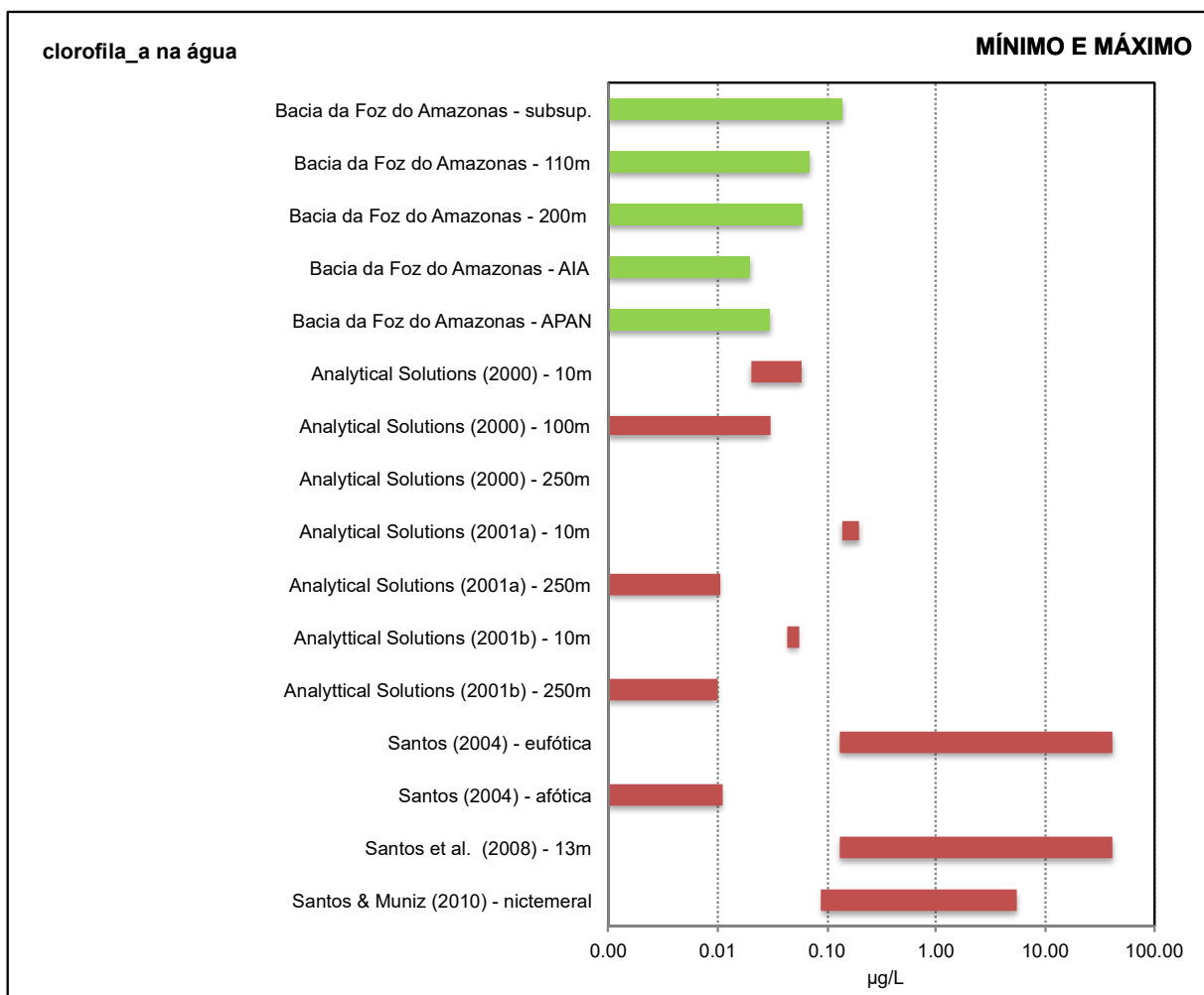
- Autótrofos, ou seja, capazes de sintetizar o próprio alimento – estes organismos incluem o grupo dos fotossintéticos, que apresentam clorofila, e quimiossintéticos, que sintetizam seu alimento a partir de substrato inorgânico e utilizando a energia de ligações químicas desses substratos;
- Heterótrofos, organismos que se alimentam de matéria orgânica produzida pelos autótrofos - estes organismos são constituídos, fundamentalmente pelo zooplâncton; e
- Mixotróficos, organismos que podem realizar fotossíntese (possuem pigmentos fotossintéticos) em determinadas condições, mas que, em condições especiais, podem sobreviver como heterótrofos.

O fitoplâncton, grupo planctônico capaz de realizar fotossíntese, inclui uma diversidade de organismos com distintas classificações taxonômicas, formas e funções ecológicas. Essa diversidade de formas e funções é condicionada por complexas interações entre o ambiente e os organismos. Portanto, a identificação de condições ambientais capazes de condicionar a dominância de grupos particulares do fitoplâncton é essencial em programas de monitoramento ambiental, especialmente em áreas costeiras submetidas a impactos antrópico. Em um determinado ambiente, a composição taxonômica do fitoplâncton é uma manifestação das estratégias ecológicas adaptativas e de seu modo de nutrição (autótrofo, mixotrófico), ambas funções do *status* físico e químico do ambiente (e.g. MARGALEF, 1997). Em zonas de ressurgência costeira, gradientes transitórios de mistura turbulenta e estratificação (BAEK *et al.* 2008) e a disponibilidade de nutrientes (HEIL *et al.* 2005; GLIBERT *et al.*, 2006), muitas vezes, dificultam a caracterização de grupos específicos fitoplanctônicos, demandando uma amostragem temporal detalhada.

A Clorofila *a* é um pigmento presente em todos os organismos fotoautotróficos, constituindo-se no parâmetro bioquímico mais frequentemente utilizado em oceanografia devido à sua função fotossintética, que o torna um indicador da biomassa fitoplanctônica. Análises sobre este parâmetro são apresentadas tanto aqui (no capítulo sobre qualidade da água e do sedimento) quanto no diagnóstico do meio biótico relacionado à biota fitoplanctônica, já que as concentrações deste pigmento podem ser indicadoras da produtividade primária realizada por esta.

Considerando tantos os dados secundários (literatura) e primários (Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas, as concentrações mínimas de Clorofila *a* variaram entre a não detecção e 0,136µg/L (média de 0,024 ± 0,04µg/L para os valores detectados), enquanto que as concentrações máximas variaram até 41,45µg/L (média de 5,53 ± 13,63 µg/L), conforme pode ser observado na **Figura II.6.1.2.2.11-1**. Maiores concentrações foram registradas próximo à costa, ou em menores lâminas d'água e menores em regiões oceânicas.

Quando comparados os resultados atuais (dados primários) com os dados da literatura obtidos através de outros monitoramentos prévios realizados em áreas da Margem Equatorial Brasileira, fica claro que resultados similares já tinham sido reportados e devem constituir as concentrações usuais e refletem, portanto, a existência de um background compatível com a região e o período de realização das coletas.



**FIGURA II.6.1.2.2.11-1 – Concentrações máximas e mínimas de clorofila *a* na água, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). AIA = Água Intermediária Antártica e APAN = Água Profunda do Atlântico Norte.**





### II.6.1.2.3. Qualidade dos sedimentos

Contaminantes em sedimentos podem causar efeitos adversos diretamente em organismos bentônicos através de bioacumulação e transferência ao longo da cadeia alimentar, atingindo finalmente seu topo: os seres humanos. Dados de campo indicam que testes de toxicidade em sedimentos são capazes de prever prejuízos na comunidade bentônica. Análises efetuadas em amostragem regional nos USA indicaram que a redução na sobrevivência de anfípodas possibilitou antever a degradação de toda a comunidade bentônica (SCOTT, 1998).

A avaliação da qualidade dos sedimentos é melhor formulada utilizando-se as evidências das concentrações nos sedimentos e estudos de laboratório sobre toxicidade e bioacumulação nos organismos, bem como a avaliação de comunidades bentônicas nos ambientes naturais, ou ainda estudos de resíduos de espécies metálicas em tecidos de peixes. Tais linhas de evidência compõem a estrutura para a avaliação de sedimentos através de guias de qualidade (LONG & CHAPMAN, 1985).

Em sistemas estuarinos, torna-se difícil distinguir fontes geogênicas das antropogênicas, em relação aos metais traço contidos em sedimentos, devido à alta variabilidade de suas concentrações na coluna de água. Todavia, estudos têm demonstrado que os sedimentos são úteis para entender o tipo de contribuição dos metais nestes ambientes. Assim, as concentrações de espécies metálicas em perfis sedimentares, comparadas com os teores de abundância crustal (WEDEPOHL, 1971), configuram-se como importantes para caracterizar o aporte das espécies antropogênicas, possibilitando compor a história dos influxos desses contaminantes no ambiente (POWELL & ALEXANDER, 2003).

Este item apresenta os resultados disponíveis na literatura e considerados para granulometria, teor de carbonatos, matéria orgânica, carbono total, nitrogênio total, fósforo total, metais (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V e Zn), hidrocarbonetos totais e aromáticos.

Os padrões de referência considerados neste diagnóstico são aqueles definidos pelas agências ambientais canadense (*Canadian Council of Ministers of the Environment* – CCME, 2015) e norte americana (NOAA – *National Oceanic and Atmosphere Administration* – BUCHMAN, 2008).

Os resultados disponíveis na literatura considerada mais próximos da área dos blocos (FZA-M-57, FZA-M-59, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-90, FZA-M-125, FZA-M-127) são aqueles de ANALYTICAL SOLUTIONS (2000; 2001a e 2001b) obtidos para a BP Brasil no Bloco BFZ-2, em 2000 e 2001, com amostragem entre 196 e 2.104m de profundidade.

No **Anexo B** são apresentados os valores máximos e mínimos considerados para a elaboração dos gráficos de barras comparativos das referências consideradas.



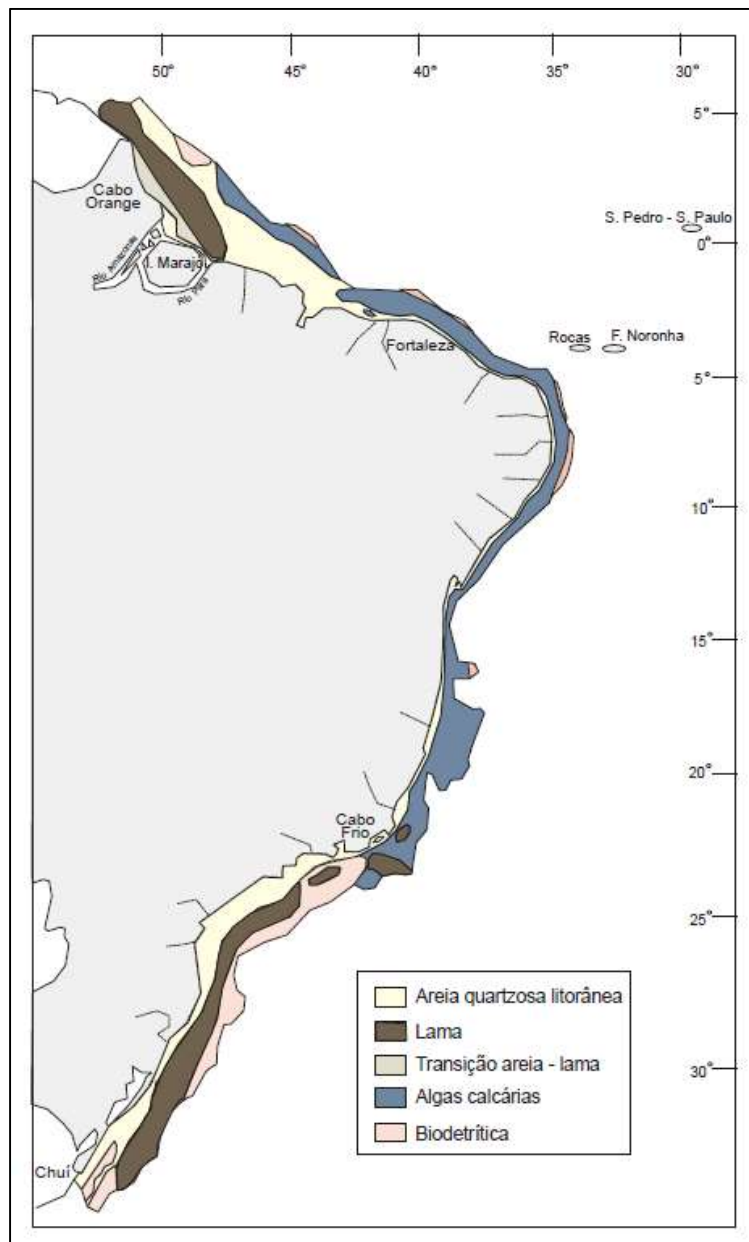
### II.6.1.2.3.1. Granulometria e teor de carbonatos

A composição granulométrica e o teor em carbonato de cálcio são os parâmetros mais utilizados na classificação dos sedimentos das plataformas continentais. A composição dos sedimentos das plataformas depende, em parte, do material fornecido pelo aporte continental, especialmente através dos rios, e da contribuição organógena. A distribuição granulométrica dessas partículas está inteiramente ligada à interação de vários fatores, principalmente, condições hidrodinâmicas, relevo de fundo e fatores físico-químicos. A determinação da composição textural dos sedimentos é de grande utilidade na descrição e interpretação das fácies sedimentares que ocorrem nas plataformas continentais (COUTINHO, 1995).

Em COUTINHO (1995), os sedimentos coletados na margem continental brasileira foram analisados em termos de cascalho, areia e lama (silte + argila), associada à composição biológica e aos valores de carbonato de cálcio. Posteriormente, foram classificados, segundo o diagrama triangular de SHEPARD (1954), que é o mais usado para representar graficamente os sedimentos. Os fundos da plataforma continental foram divididos em vários tipos de fácies sedimentares, baseados nas suas respectivas composições textural, biológica e valores de carbonato de cálcio. Podem-se distinguir as seguintes fácies, cuja distribuição simplificada é mostrada na **Figura II.6.1.2.3.1-1**.

Os resultados disponíveis mais próximos da área dos blocos (FZA-M-57, FZA-M-59, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-90, FZA-M-125, FZA-M-127), na literatura considerada, são aqueles de ANALYTICAL SOLUTIONS (2000; 2001a e 2001b) obtidos para a BP Brasil no Bloco BFZ-2 em 2000 e 2001, em profundidades que variaram de 196m a 2.104m.

Os resultados obtidos em ANALYTICAL SOLUTIONS (2000) indicaram pouca variação granulométrica para a maioria das amostras, indicando composição textural basicamente composta por lama a lama arenosa (comum em áreas com forte influência fluvial). Similarmente, os resultados do estudo da ANALYTICAL SOLUTIONS (2001a) e ANALYTICAL SOLUTIONS (2001b) indicam composição textural basicamente lamosa, para todos os resultados apresentados. Já LIMA *et al.* (2005) e SIQUEIRA *et al.* (2006) descrevem uma variação entre texturas argilosas e arenosas, mas estes consideram também amostras sobre a plataforma continental.



**FIGURA II.6.1.2.3.1-1 – Mapa simplificado da distribuição de fácies na plataforma continental, segundo COUTINHO (1995).**

Fonte: COUTINHO (1995)

A análise granulométrica do sedimento da Bacia da Foz do Amazonas realizada no âmbito do Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira revelou a predominância das frações mais finas do sedimento, com a areia misturada à lama constituindo a maior parte do sedimento em todas as estações amostradas (em lâminas d'água variando entre 285 a 3.069m). O percentual total de silte nas amostras coletadas variou de 22,73% a 74,28%, seguido pela areia, que variou de 2,38% a 70,34%, sendo que a argila nas estações mostrou sempre os menores percentuais, variando entre 6,91% e 28,98%. A análise granulométrica mostrou que as amostras de sedimento das estações eram muito pobremente selecionadas. Quanto aos demais parâmetros de classificação textural, as amostras coletadas foram classificadas como silte, na maioria das estações, ou, segundo Folk, como lama ou lama arenosa.



A partir do *baseline* realizado na Bacia da Foz do Amazonas, foi possível distinguir um padrão espacial diferenciado expressivo na característica sedimentar das estações, conforme explicitado a seguir. Na maioria das estações, as diferentes frações do sedimento contribuíram de forma mais ou menos similar, com um domínio das frações mais finas. Entretanto, nas estações mais rasas, uma contribuição expressiva de areias foi observada. Tais resultados estão em consonância com a área estudada, uma vez que as coletas foram realizadas em profundidades variadas (as lâminas d'água das estações avaliadas variaram de 285 a 3.069m) e eram localizadas em diferentes áreas da costa (quebra de plataforma e talude). A análise de variância não paramétrica mostrou que as amostras de sedimento mostraram diferenças espaciais significativas entre os blocos.

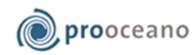
Os carbonatos apresentaram uma representatividade média de 10,34% nas amostras de sedimento coletadas nas estações. A composição carbonática variou de 0,2% a 35,1%. Ressalta-se que apesar de algumas diferenças observadas entre as estações, não foi possível distinguir um padrão espacial claro na representatividade dos carbonatos nas diferentes estações da malha analisada.

Esses resultados granulométricos refletem a fisiografia de fundo da Margem Equatorial Brasileira. Como os blocos situam-se a distâncias diferentes da costa e as estações avaliadas em profundidades variadas (285 a 3064m), os mesmos encontram-se em diferentes províncias geográficas, a quebra de plataforma, o talude continental e sua zona de transição (sopé continental).

#### **II.6.1.2.3.2. Teor de matéria orgânica, carbono, nitrogênio e fósforo**

A matéria orgânica presente no sedimento é composta por uma mistura de diferentes classes de materiais, que possuem uma vida média no sedimento, a qual pode variar de segundos a milhares de anos (MIDDELBURG, 1989). Desta maneira, o tempo de residência destas diferentes frações que compõem a matéria orgânica no sedimento são dependentes da qualidade de matéria que se deposita no substrato (SOETAERT *et al.*, 1996). Ademais, a relação matéria orgânica/sedimento/consumo não é verdadeira, já que este *pool* orgânico no sedimento representa mais o que não foi assimilado pelos organismos do que realmente o alimento disponível para ser consumido pelos organismos bentônicos. Desta maneira, a quantidade de matéria orgânica no sedimento não é um ideal indicador do alimento disponível e, assim sendo, muitas vezes, a biomassa ou densidade dos organismos bentônicos não está diretamente associada às concentrações de matéria orgânica no sedimento (SOETAERT *et al.*, 1996). Vale ressaltar a importância da qualidade e do tipo de matéria orgânica disponível no sedimento para a estruturação das comunidades bentônicas (FABIANO & DANOVARO, 1999), bem como para as estratégias tróficas dominantes em um determinado ambiente.

O termo matéria orgânica (MO) é usado para se referir, coletivamente, a todo e qualquer composto orgânico. Geralmente tem grande estrutura e peso molecular e contém, primariamente, os elementos carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre. Em ambiente marinho, a MO é identificada como a mais importante substância doadora de elétrons, proporcionando a energia necessária para mediar a maioria das reações biológicas (LIBES, 1992).



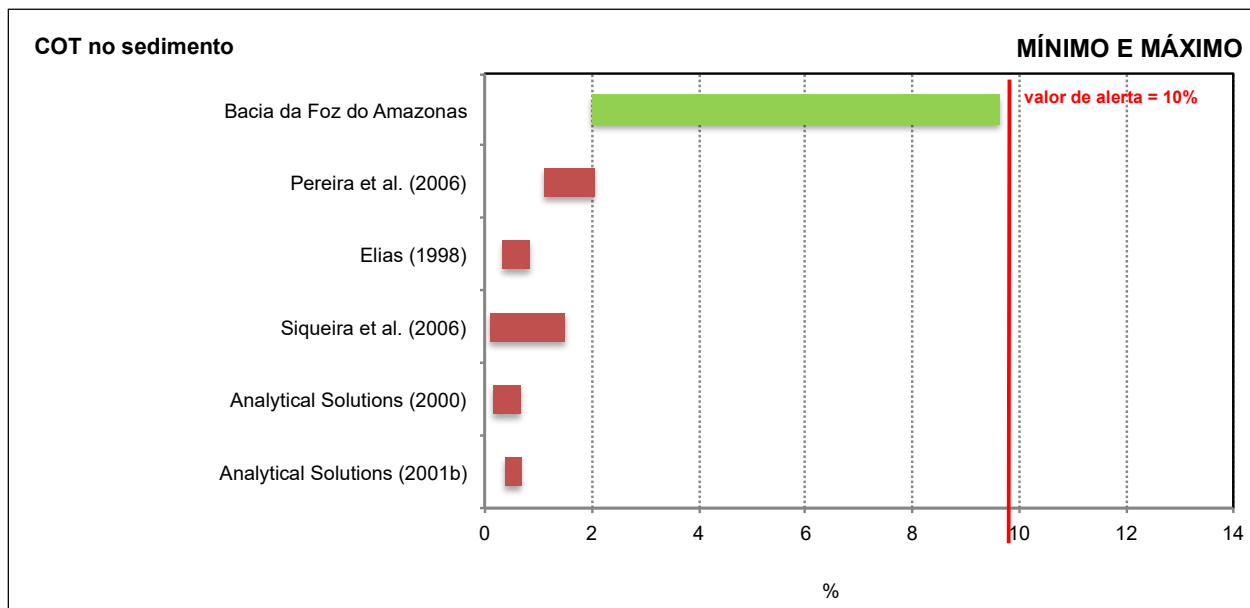
A distribuição de matéria orgânica em sedimentos marinhos depende de uma série de fatores, tais como taxas de sedimentação, profundidade da coluna d'água, fluxo de constituintes terrígenos, condições redox (influência na preservação), produção *in situ* por bactérias e fontes antropogênicas, no caso da presença de uma plataforma de produção (KENNICUTT, 1995 *apud* PETROBRÁS, 2001).

Em áreas estuarinas, a MO desempenha um importante papel, quer seja em compartimento aquático ou sedimentar. Ela apresenta propriedades singulares, como a complexação ou adsorção de íons traço, resultando na imobilização e redução de seus estados de valência, com mudanças nas suas propriedades químicas. Compostos organometálicos aí têm uma considerável importância na geoquímica ambiental, pois geralmente se associam aos argilominerais e atuam como registros dos níveis de poluição (LICHT, 2001).

Dentre os estudos avaliados, as concentrações mínimas para o Teor de Matéria Orgânica nos sedimentos variaram entre 0,2 e 2,5mg/L, sendo que apenas SIQUEIRA *et al.*, (2006) avaliou esse parâmetro. O teor de matéria orgânica no sedimento será analisado pelo Projeto Integrado de Caracterização Ambiental (*Baseline*) da Margem Equatorial Brasileira, gerando resultados para as 21 localizadas na área dos blocos.

Segundo PETROBRAS (2001), os elementos carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) são usados em proporções relativamente constantes pelos organismos fotossintetizantes, variando de acordo com as espécies envolvidas e o ambiente (terrestre ou marinho) em que a matéria orgânica é produzida. Mesmo após as transformações causadas pela diagênese inicial, é possível relacionar as razões entre C, N e P a processos específicos ou mesmo estimar a proporção relativa entre fontes terrestres e marinhas da matéria orgânica do sedimento. Neste sentido, ainda segundo PETROBRAS (2001), desvios significativos nestas razões típicas podem ser indicativos da presença de outras fontes de matéria orgânica, como por exemplo, a água de produção, que é rica em carbono e nitrogênio e empobrecida de fósforo. JENNERJAHN & ITTEKKOT (1997) obtiveram valores em torno de  $5,9 \pm 2,6$  para a razão  $C_{org}:N_{total}$  em sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira. REDFIELD *et al.*, (1967) indica que a razão molar entre  $C_{org}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{org}$  (C:N:P) é de 106:16:1.

As concentrações mínimas de carbono orgânico total (COT) variaram, considerando tanto os dados primários (Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira) como secundários (dados da literatura) entre 0,1 e 2,01% (média de  $0,68 \pm 0,75\%$ ), enquanto que as concentrações máximas variaram 0,67 e 9,62% (média de  $2,56 \pm 3,50\%$ ) dentre os trabalhos compilados, conforme pode ser observado na **Figura II.6.1.2.3.2-1**.

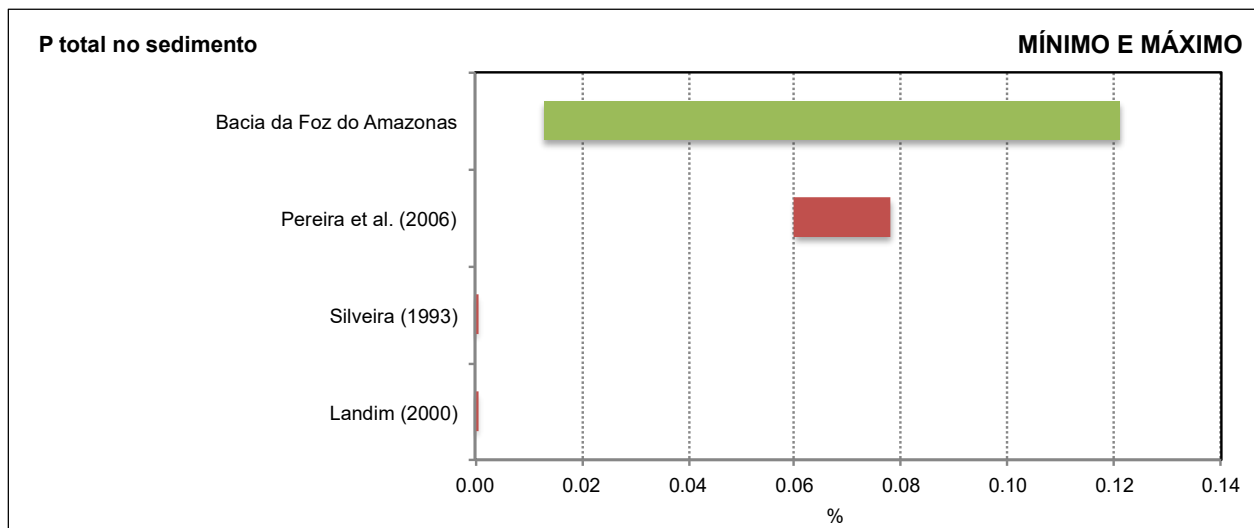


**FIGURA II.6.1.2.3.2-1 – Concentrações máximas e mínimas de carbono orgânico total (COT) no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). Linha em vermelho indica valor de alerta estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012, para o material a ser dragado.**

No intuito de verificar a qualidade do sedimento através desse parâmetro, o mesmo foi comparado com a Resolução CONAMA N°454/2012. Considerando todos os resultados obtidos foram encontradas concentrações de COT inferiores aos limites estabelecidos por essa resolução. Contudo, no Projeto de *Baseline* Integrado na Bacia da Foz do Amazonas, nos blocos situados numa área mais profunda, ocorreram concentrações ligeiramente inferiores ao valor de alerta estabelecido pela Resolução CONAMA N°454/2012 (10%) (Figura II.6.1.2.3.2-1). Devido à ausência de intervenção antrópica, estes resultados podem ser considerados como um background para a área.

As concentrações mínimas de fósforo total variaram entre 0,0002 e 0,06% (média de  $0,018 \pm 0,03\%$ ), enquanto que as concentrações máximas variaram entre 0,0002 e 0,12% (média de  $0,05 \pm 0,06\%$ ), dentre os trabalhos compilados e os dados primários obtidos, conforme pode ser observado na Figura II.6.1.2.3.2-2.

Todas as concentrações de fósforo obtidas na campanha de *baseline* realizada na Bacia da Foz do Amazonas encontram-se abaixo do valor de alerta estabelecido pela CONAMA N°454/2012 para níveis de classificação de material a ser dragado: 2.000mg/kg (0,2%) para fósforo total e, portanto, as mesmas devem corresponder a valores usuais de *background* da área. Tal fato mostra que o *background* nas áreas avaliadas para esse parâmetro é condizente com uma região onde ainda não existe qualquer contribuição de origem antrópica.



**FIGURA II.6.1.2.3.2-2 – Concentrações máximas e mínimas de fósforo total no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e Projeto de *Baseline Integrado* para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

### II.6.1.2.3.3. Metais

Os metais pesados encontram-se presentes em maiores ou menores concentrações em todas as matrizes geológicas. Com o desenvolvimento humano, tem sido observado um incremento nos teores de metais de algumas destas matrizes. O possível impacto sobre a saúde humana e biota do lançamento destes metais para o ambiente depende, basicamente, de sua forma de lançamento, seu comportamento neste ambiente e da capacidade de incorporação destes aos organismos vivos (PENNA-FRANCA *et al.*, 1984).

A plataforma continental da Bacia da Foz do Amazonas caracteriza-se por apresentar acumulação de sedimentos transportados, principalmente, pelos rios Amazonas e Pará (NITTROUER *et al.*, 1996, *apud* LIMA *et al.*, 2005). Esse transporte de sedimentos em suspensão para a plataforma está associado, primordialmente às apreciáveis descargas desses rios (MEADE *et al.*, 1985). Os sedimentos depositados na Plataforma Continental do Amazonas (PCA) são ricos em ferro e manganês, que carregam numerosos metais-traço (MELFI & CARVALHO, 1983 *apud* LIMA *et al.*, 2005).

Os metais traço são poluentes conservativos, isto é, poluentes que dificilmente sofrem degradação por ataque bacteriano. Esses contaminantes podem ter origem por meio de processos naturais, tais como vulcanismo terrestre e depósitos naturais, ou antropogênicos, como efluentes domésticos e industriais, emissões atmosféricas e processos industriais (SALOMONS & FORSTNER, 1984 *apud* SILVA, 2010).

Alguns metais, como por exemplo, Fe, Cu e Zn, possuem importância na fisiologia de organismos vivos, atuando como constituintes de pigmentos respiratórios, formação de metaloproteínas ou ativadores de complexos enzimáticos, dentre outras atuações (PHILLIPS, 1991 *apud* SILVA, 2010). Por outro lado, existem outros que não são requeridos em nenhuma atividade metabólica e que, por isso, são tóxicos para as células mesmo em pequenas concentrações, como por exemplo, Hg, Pb, Cd, Cr e Ni (CLARCK, 1997 *apud* SILVA, 2010).

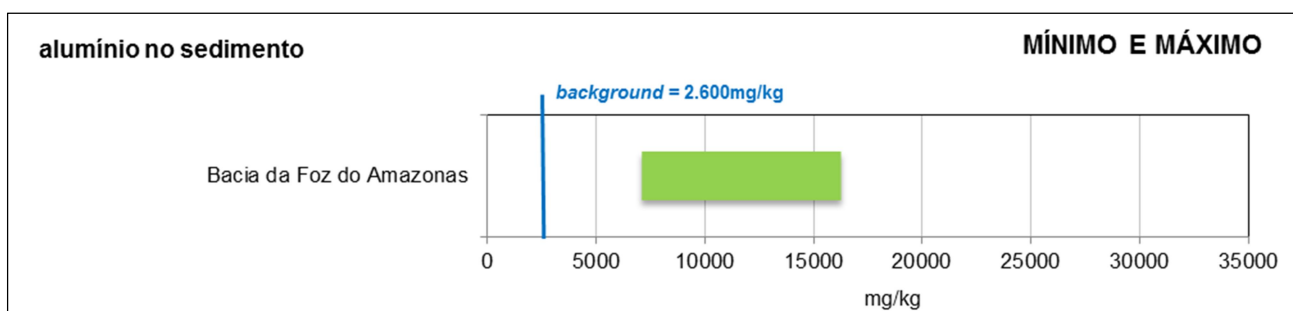
Para efeitos de análise da qualidade do sedimento na área dos blocos, as concentrações de metais encontrados pelo Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas foram comparadas com os valores de TEL (*Threshold Effect Level* - limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente) e PEL (limite acima do qual podem ser observados efeitos na biota) para o sedimento marinho estabelecidos pela NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Administration*; BUCHMAN, 2008) ou CEQG (*Canadian Environmental Quality Guidelines*, CCME, 2015) ou, ainda, aos níveis 1 (limite abaixo do qual não devem ser observados efeitos na biota) e 2 (limite acima do qual devem ser observados efeitos na biota) estipulados pela Resolução CONAMA N°454/2012 (material a ser dragado).

### II.6.1.2.3.3.a. Alumínio (Al)

O Alumínio é um elemento metálico que ocorre na natureza nos estados de oxidação +1 e +3. Depois do oxigênio e do silício, é o elemento mais importante nas rochas da crosta terrestre, com abundância média de 8%. Nas rochas, o alumínio está presente nos minerais silicatados combinado com metais alcalinos, alcalino-terrosos e ferro. Especialmente nos minerais máficos (minerais ricos em ferro e magnésio), ele pode ser substituído completa ou parcialmente dentro do retículo cristalino pelo ferro, titânio e cromo (KOLLONEN *et al.*, 1992).

Sua concentração nas rochas mostra as seguintes variações: 8,3% nos gabros, 7,3% nos granitos e 9,1% nas mica-xistos (KOLLONEN *et al.*, 1992). Os feldspatos e os minerais máficos que contém alumínio e cálcio são facilmente intemperizados, enquanto que os feldspatos potássicos e plagioclásio sódicos são resistentes. Os sedimentos residuais contêm, em média, cerca de 2,5% de alumínio. O alumínio dissolvido é enriquecido nos sedimentos, geralmente nas argilas, e por isso suas concentrações são altas nas rochas ricas em argilo-minerais, como os mica-xistos. Sob condições climáticas tropicais, o alumínio migra lentamente e forma a bauxita, que é sua principal fonte industrial. A concentração de alumínio considerada como *background* no sedimento por BUCHMAN (2008) é de 0,26% (=2.600mg/kg).

Considerando somente os dados primários (Projeto de *Baseline* Integrado na Bacia da Foz do Amazonas), As concentrações de alumínio (Al) variaram entre 7.128,8mg/kg (0,71%) e 16.300,7mg/kg (1,63%), média de 11.714,8mg/kg (1,17%)  $\pm$  6.485,5mg/kg (0,65%), conforme pode ser observado na **Figura II.6.1.2.3.3.a-1**.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.a-1 – Concentrações máximas e mínimas de alumínio (Al) no sedimento, registradas no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**





O ferro, o alumínio e o manganês são geralmente encontrados em grandes concentrações no sedimento, e isto não surpreende, uma vez que estão associados e compõem vários tipos de sedimento. As variações nas concentrações de alumínio observadas na campanha de *baseline* podem ser consideradas normais ao meio estudado e devem fazer parte do *background* regional, mesmo que mais elevadas que as definidas por BUCHMAN (2008), que considera uma média mundial.

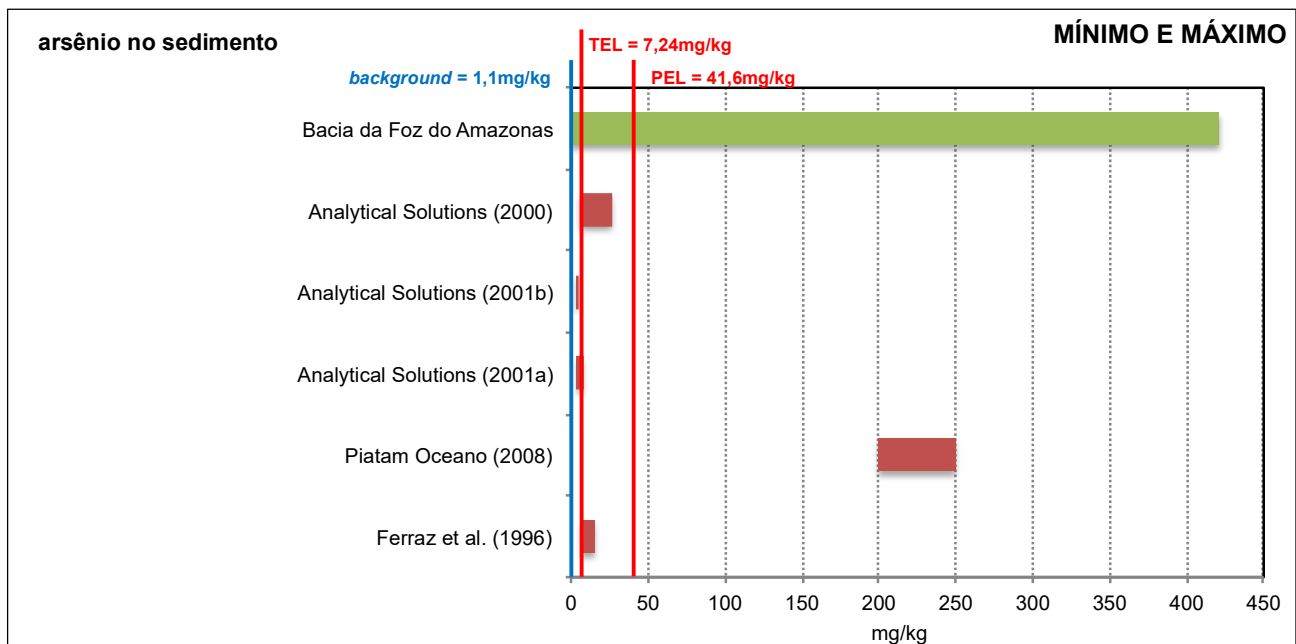
#### **II.6.1.2.3.3.b. Arsênio (As)**

A concentração de arsênio considerada como *background* no sedimento pela NOAA (BUCHMAN, 2008) é de  $1.100\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=1,1\text{mg}/\text{kg}$ ). O TEL (*Threshold Effect Level*), limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente, é considerado  $7.240\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=7,24\text{mg}/\text{kg}$ ) e o PEL (*Probable Effect Level*), concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota, é considerado  $41.600\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=41,6\text{mg}/\text{kg}$ ) (BUCHMAN, 2008; CCME, 2015).

As concentrações mínimas de arsênio no sedimento variaram de não detectado a  $200,0\text{mg}/\text{kg}$ , média de  $36,5 \pm 80,1\text{mg}/\text{kg}$ , enquanto que as concentrações máximas variaram de 2,6 a  $421,0\text{mg}/\text{kg}$ , com média de  $120,5 \pm 175,3\text{mg}/\text{kg}$  (**Figura II.6.1.2.3.3.b-1**). Na campanha de *baseline* realizada o arsênio foi encontrado em quatro estações, com concentrações de  $28,1\text{mg}/\text{kg}$  na estação 5 (Bloco FZA-M-86),  $5,03\text{mg}/\text{kg}$  na estação 14 (Bloco FZA-M-127) e  $72,12\text{mg}/\text{kg}$  e  $421\text{mg}/\text{kg}$  nas estações 12 e 10, respectivamente (Bloco FZA-M-125).

Dentre os resultados comparados, apenas os contidos no estudo da ANALYTICAL SOLUTIONS (2001b) apresentaram todo intervalo de concentração do Arsênio abaixo do valor de referência TEL ( $7,24\text{mg}/\text{kg}$ ). PIATAM OCEANO (2008) foi o único trabalho que apresentou intervalo de dados acima do valor de referência PEL ( $41,6\text{mg}/\text{kg}$ ), definido pelos critérios americano e canadense. Pode-se observar que a concentração máxima encontrada na Bacia da Foz do Amazonas foi também bastante superior aos limites da TEL e PEL definidos para o arsênio no sedimento.

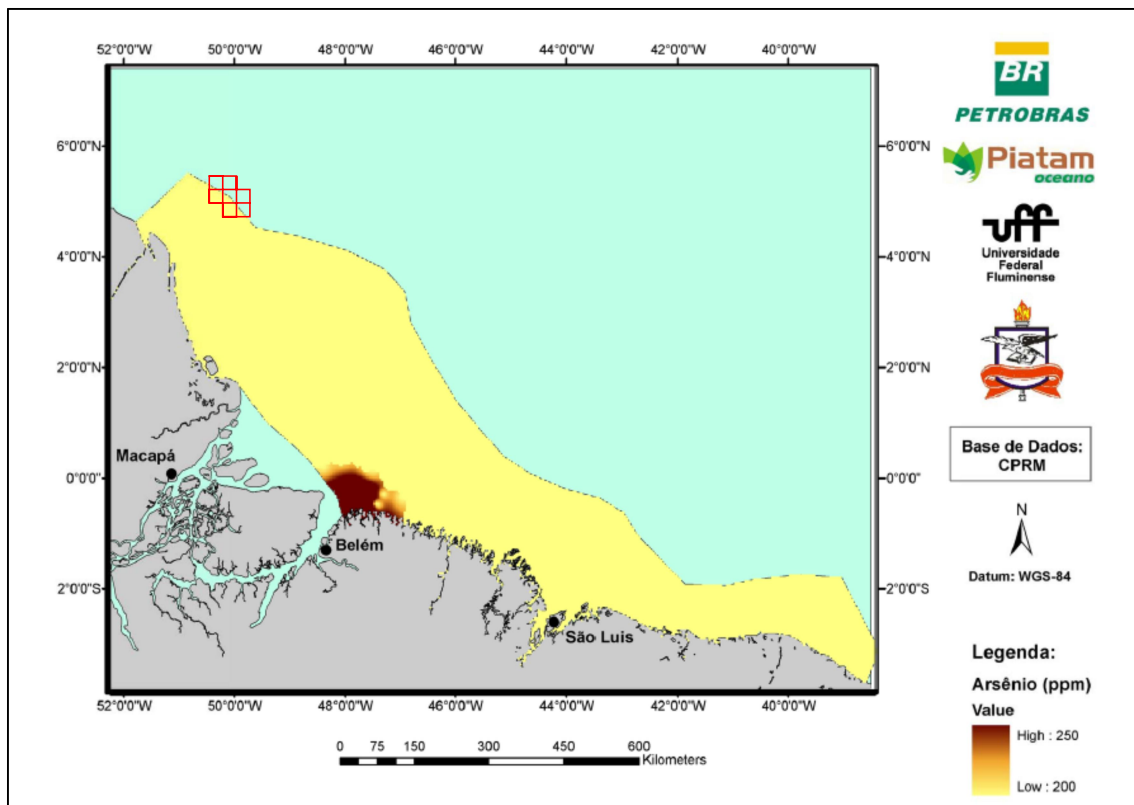
Deve-se considerar, no entanto, que as concentrações elevadas de arsênio no sedimento no mapa de distribuição espacial das concentrações deste metal ( $\text{ppm} = \text{mg}/\text{kg}$ ) no sedimento gerado pelo Projeto PIATAM OCEANO (2008), apresentado na **Figura II.6.1.2.3.3.b-2**, foram todas próximas a Belém e que, na área dos blocos objeto do presente diagnóstico, abrangida parcialmente pela nuvem de dados considerada nesta figura, as concentrações desse metal foram baixas. Os resultados do *baseline* mostraram, no entanto, que concentrações elevadas deste metal também podem ser encontradas na área dos blocos.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.b-1 – Concentrações máximas e mínimas de arsênio (As) no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline Integrado* para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de arsênio no sedimento, registradas na literatura considerada para a região.**

O arsênio é distribuído abundantemente na maior parte das rochas, apresentando concentrações entre 0,5mg/kg e 2,5mg/kg, embora em sedimentos argilosos a sua concentração possa atingir 13mg/kg. De fato, SCARPELLI (2005) através de uma compilação de estudos, mostra que valores elevados de arsênio são usuais na região da foz do Amazonas. Ressalta ainda que esse elemento possui sua principal origem nos Andes e é carregado através dos rios como Solimões até a Foz do Amazonas. Os estudos realizados pelo PIATAM Oceano, AmasSeds e Analytical Solutions, com algumas estações situadas na área próxima aos blocos, já tinham demonstrado que elevadas concentrações de arsênio e cádmio são esperadas na região.

Tais resultados mostram a influência continental para a origem provável dessas concentrações em áreas mais afastadas da região da Foz do Amazonas. LIMA *et al.* (2005) estudaram a associação dos metais com argilominerais e oxi-hidróxidos e óxidos hidratados de Fe e Mn na região da plataforma amazônica. No que se refere ao transporte de metais e acumulação de elementos-traço em minerais específicos, mostraram correlações positivas entre o Fe e Mn com vários metais traço, corroborando a influência do Rio Amazonas para o transporte de metais complexados para a plataforma mesmo além dela.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.b-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de arsênio (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

#### **II.6.1.2.3.4.c. Bário (Ba)**

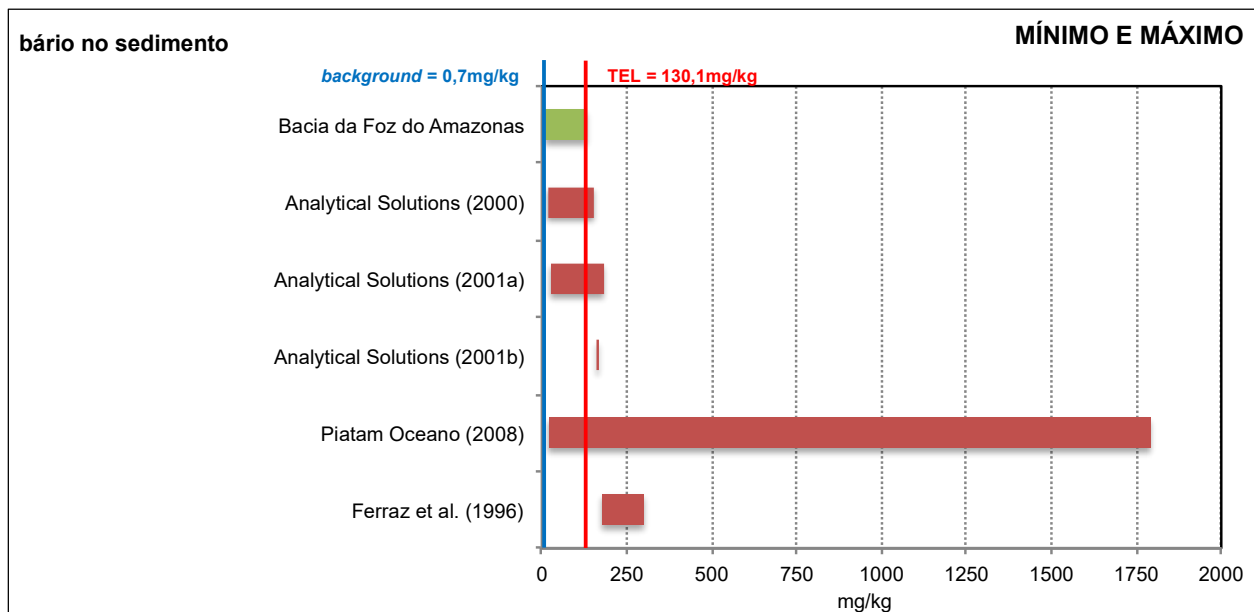
Concentrações de  $130.100\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=130,1\text{mg}/\text{kg}$ ) de bário no sedimento são consideradas como TEL (*Threshold Effect Level*) de acordo com o critério norte americano (BUCHMAN, 2008), com concentrações de  $700\mu\text{g}/\text{mg}$  ( $=0,7\text{mg}/\text{kg}$ ) sendo consideradas concentrações de *background*, não havendo valor de referência para PEL (*Probable Effect Level*). O critério canadense não cita limites norteadores para este metal.

A abundância média de bário na crosta terrestre é de  $500\text{mg}/\text{kg}$  ( $=500.000\mu\text{g}/\text{kg}$ ). O mineral mais importante do Ba, a barita, associa-se frequentemente aos depósitos de minerais metálicos. Nas rochas sedimentares, as concentrações de Ba refletem a abundância dos feldspatos potássicos, dos minerais argilosos e dos óxidos hidratados de Fe e Mn (que podem adsorver este elemento). O teor médio de Ba nas rochas sedimentares é de  $538\text{mg}/\text{kg}$ , com os valores mais baixos nas carbonatadas (em torno de  $90\text{mg}/\text{kg}$ ) e os maiores nos arcósios e folhelhos ( $> 800\text{mg}/\text{kg}$ ). (URE & BARROW, 1982).

Nota-se, portanto, que existem divergências quanto aos valores de *background* a serem considerados para o bário (entre  $0,7\text{mg}/\text{kg}$  e  $500\text{mg}/\text{kg}$ ) no sedimento. Isso, somado ao fato de a agência canadense, conhecida por ser muito criteriosa, não definir concentrações norteadoras para este metal no sedimento, faz com que

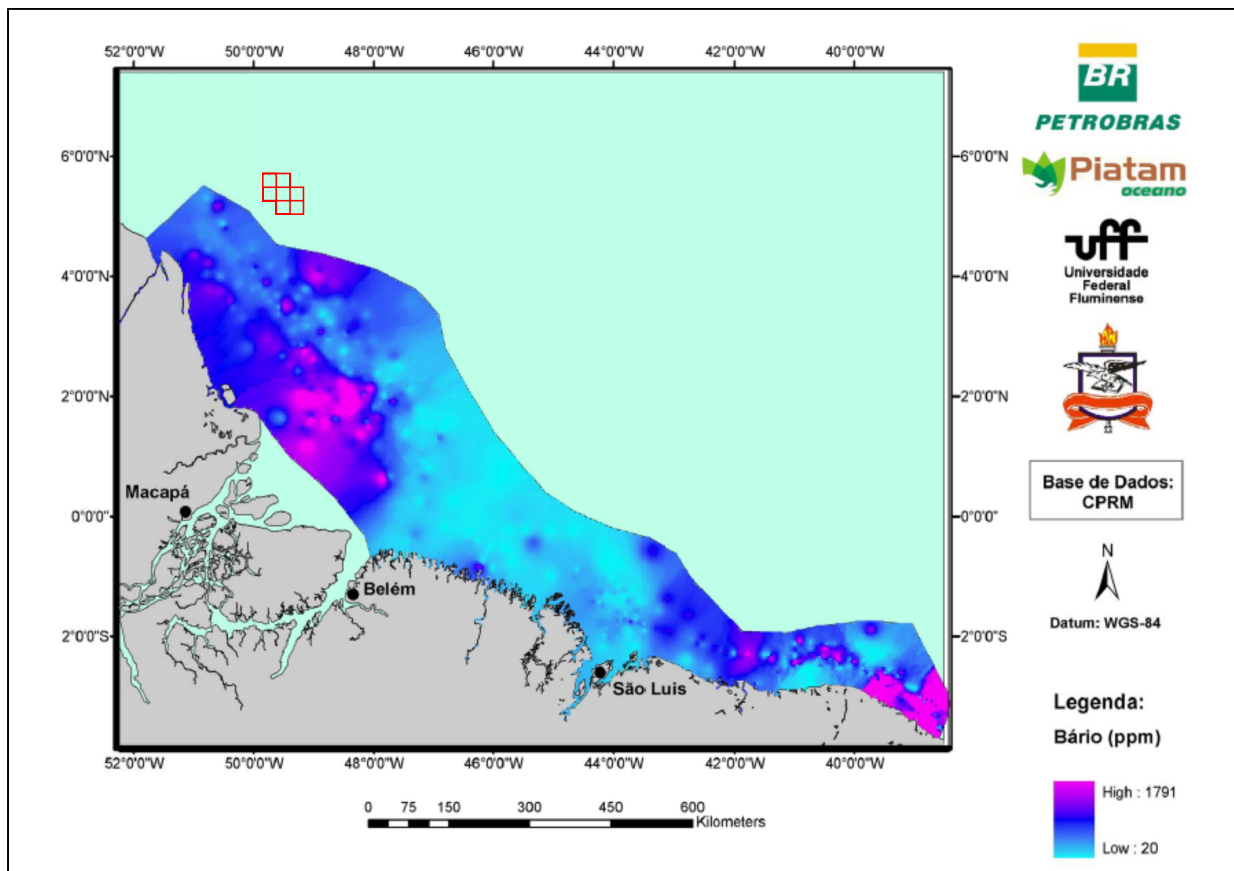
não devamos nos orientar, apenas, pelas concentrações mais restritivas de BUCHMAN (2008), critério norte americano.

As concentrações mínimas de bário, dentre os resultados compilados e os dados primários, variaram de 8,7 a 177,0mg/kg (média de  $67,4 \pm 78,4$ mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 132,0 a 1.791,0mg/kg, (média de  $453,3 \pm 658,0$ mg/kg) (Figura II.6.1.2.3.3.c-1). Todos os estudos apresentaram intervalo de dados, para a concentração de bário (total ou parcialmente) acima do valor de referência TEL - *Threshold Effect Level*, definido por BUCHMAN (2008).



**FIGURA II.6.1.2.3.3.c-1 – Concentrações máximas, mínimas e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de bário no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline Integrado* para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Nota-se que o *baseline* realizado pela BP no Bloco BFZ-2 (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2000), área próxima a dos 7 blocos, já apresentou resultados, que variaram de 15 a 153mg/kg, e que o Projeto PIATAM OCEANO (2008) gerou um mapa de distribuição espacial das concentrações de bário (ppm = mg/kg) no sedimento. Neste mapa, apresentado na Figura II.6.1.2.3.3.c-2 observa-se que, próximo aos blocos, foram registradas, por CPRM (1985 *apud* PIATAM OCEANO, 2008), concentrações médias de bário no sedimento. As concentrações que ampliaram a variação de dados deste projeto, apresentadas anteriormente na Figura II.6.1.2.3.3.c-1, foram encontradas em frente à foz do rio Amazonas e próximo à costa, no Estado do Ceará.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.c-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de bário (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

Apesar de um pouco elevadas, concentrações similares e/ou superiores de bário também foram encontradas em outros estudos realizados na Foz do Amazonas, indicando assim que essas concentrações encontradas durante o presente *baseline* devem ser usuais para a região analisada.

De fato, comparando-se o limite da TEL (NOAA, BUCHMAN, 2008) estabelecido para o bário (130,1mg/kg), fica claro que em vários trabalhos esse limite foi ultrapassado. O bário tem sido utilizado frequentemente em estudos *offshore* como um dos indicadores de atividades de E&P em áreas marinhas, pela sua presença em vários tipos de fluidos de perfuração na forma de barita (TOLDO JR., 2004; PETROBRAS, 2001 e 2002; REZENDE *et al.*, 2002). LACERDA & MARINS (2006) comentam que esse elemento pode ser também utilizado como descritor da origem dos sedimentos da plataforma. Na forma de barita biogênica, o bário tem sido utilizado como um excelente descritor de processos paleo-oceanográficos devido ao seu elevado tempo de residência em sedimentos da plataforma. A correlação de suas concentrações com carbonatos e a fração lamosa, e também com Al e Fe, pode separar o Ba de origem autóctone (formado no local) e alóctone ou geogênico (aquele transportado e depositado no local).

As correlações realizadas entre os metais e as variáveis granulométricas (MO, argila, lama, silte, areia e carbonatos), com os dados obtidos durante a campanha realizada no âmbito do Projeto de Baseline da Margem Equatorial Brasileira, corroboraram a influência continental para as concentrações de bário encontradas no sedimento. Sua correlação positiva e significativa ( $p < 0,05$ ) com os metais Mn e Al, que são argilo-minerais de origem continental, e com as frações mais finas do sedimento indicam que os mesmos possuem uma origem alóctone e não de origem local. Sua falta de correlação com os carbonatos presentes no sedimento reforça a influência continental de suas concentrações, uma vez que os carbonatos presentes possuem uma origem autóctone, através de processos de precipitação.

#### II.6.1.2.3.3.d. Cádmio (Cd)

Concentrações de  $680\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=0,68\text{mg}/\text{kg}$ ) de cádmio são consideradas como TEL (*Threshold Effect Level*) e de  $4.210\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=4,21\text{mg}/\text{kg}$ ) como PEL (*Probable Effect Level*) nos critérios norte americano (BUCHMAN, 2008) e canadense (CCME, 2015), ocorrendo entre  $100$  e  $300\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $0,1$  e  $0,3\text{mg}/\text{kg}$ ) em áreas pristinas (*background*) (BUCHMAN, 2008).

As concentrações mínimas de cádmio na região de estudo variaram de não detectado a  $2,47\text{mg}/\text{kg}$ , com média de  $0,94 \pm 1,17\text{mg}/\text{kg}$ , enquanto que as concentrações máximas variaram de  $0,20$  a  $3,12\text{mg}/\text{kg}$ , com média de  $1,91 \pm 1,36\text{mg}/\text{kg}$  (Figura II.6.1.2.3.3.d-1). Dentre os resultados considerados, apenas os obtidos no estudo da ANALYTICAL SOLUTIONS (2000) apresentaram concentração do elemento cádmio abaixo do valor de referência TEL- *Threshold Effect Level*, definido pelos critérios americano e canadense. Todos os demais intervalos de dados ultrapassaram o valor de referência TEL ( $0,68\text{mg}/\text{kg}$ ), porém, não alcançaram o valor de referência PEL ( $4,21\text{mg}/\text{kg}$ ) a partir do qual provavelmente serão observados efeitos na biota.

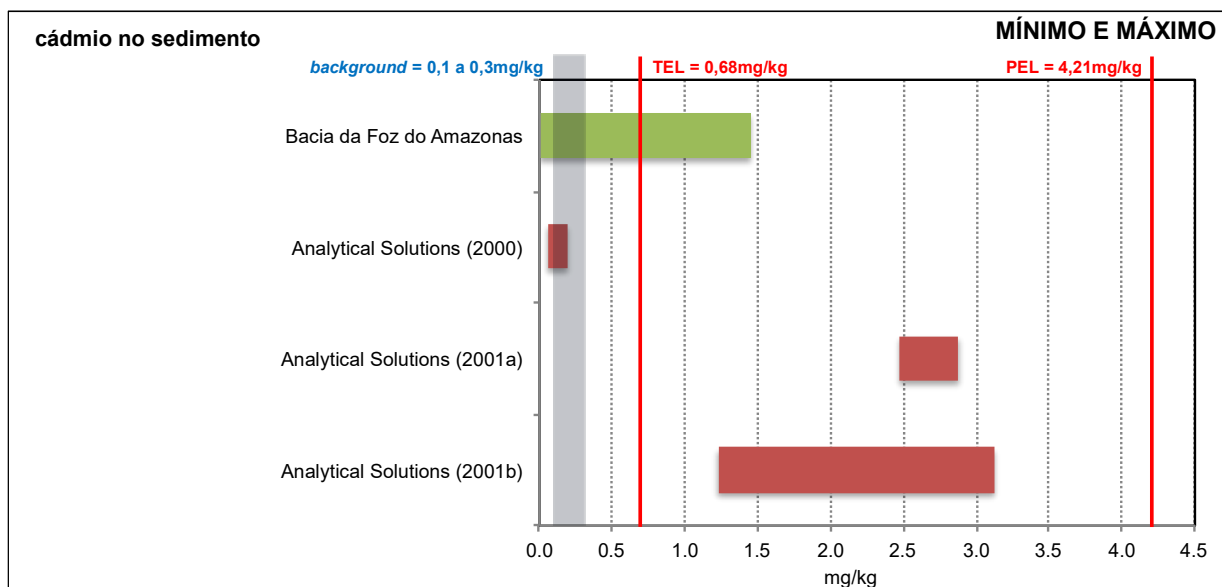
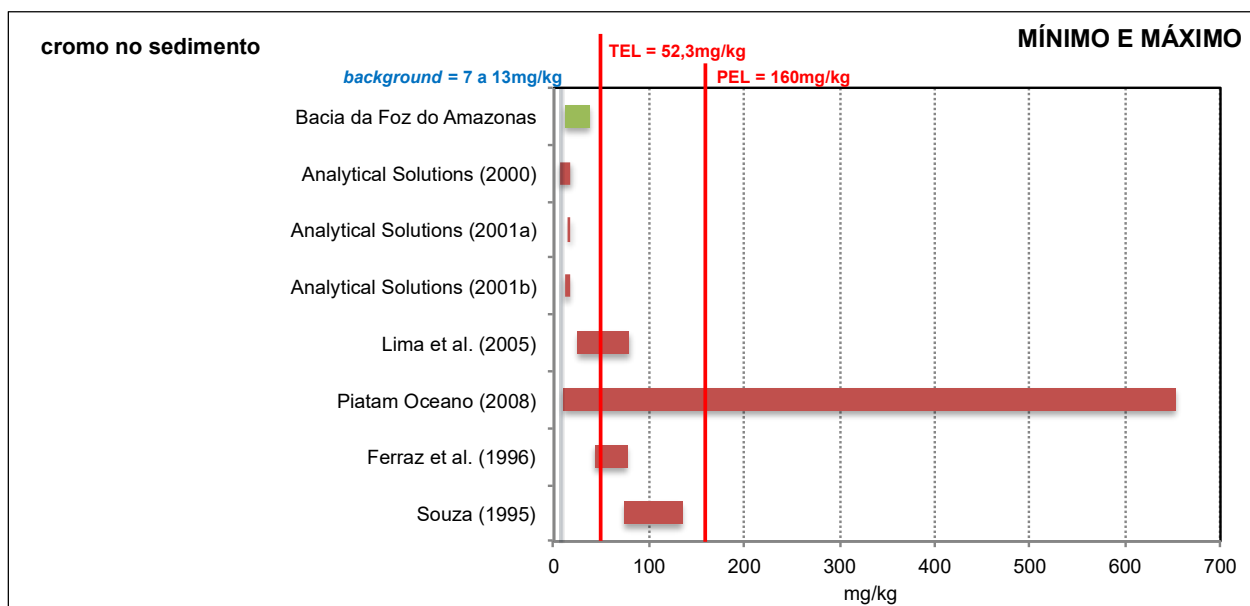


FIGURA II.6.1.2.3.3.d-1 – Concentrações máximas, mínimas, PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de cádmio no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).

### II.6.1.2.3.3.e. Cromo (Cr)

A abundância média de Cromo nas rochas da crosta é de 70mg/kg, nas rochas ultramáficas de 2.300mg/kg, nos gebros de 250mg/kg e nos granitos de 10mg/kg (KOLJONEN *et al.*, 1992). Os minérios de cromo associados com o magnetismo inicial são os óxidos diferenciados. A NOAA (BUCHMAN, 2008) considera valores de Cromo no sedimento entre 7.000 e 13.000µg/kg (= 7 a 13mg/kg) como concentrações de *background*. Os critérios canadense (CCME, 2015) e americano (BUCHMAN, 2008) concordam e definem que o TEL (*Threshold Effect Level*) é de 52.300µg/kg (=52,3mg/kg) e o PEL (*Probable Effect Level*) é de 160.000µg/kg (=160mg/kg).

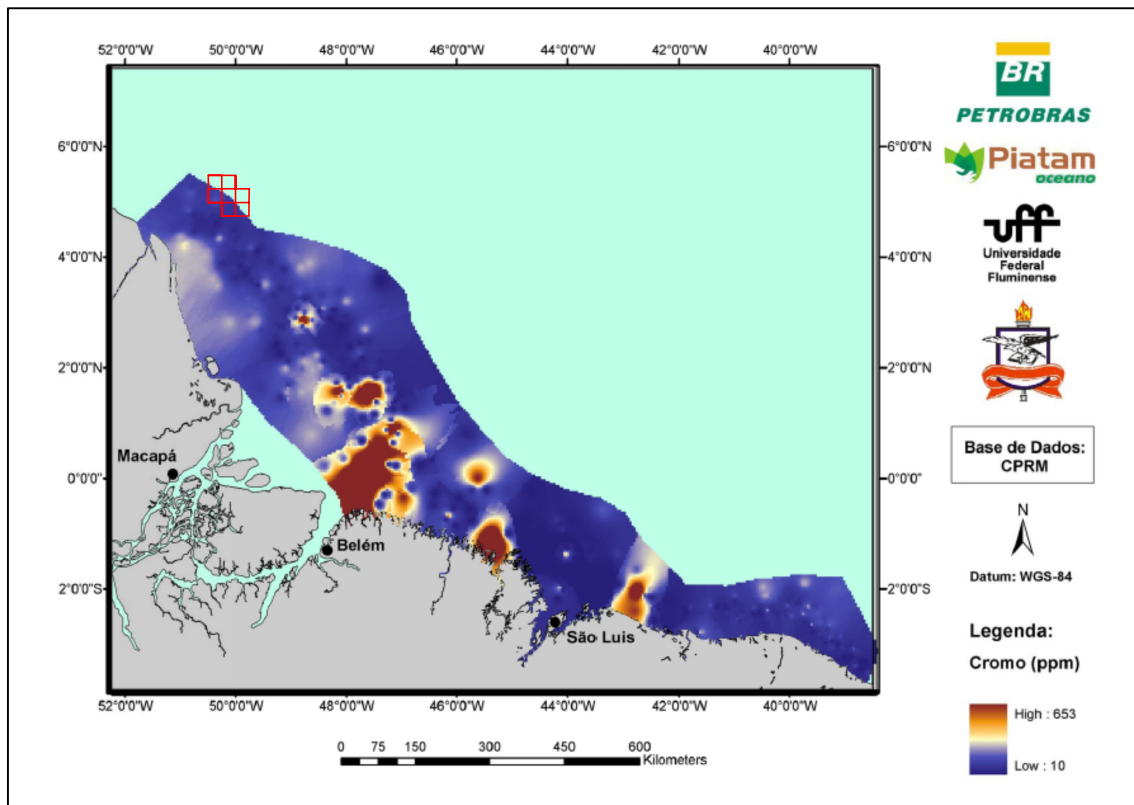
As concentrações mínimas de cromo encontradas na área dos blocos na Bacia da Foz do Amazonas (*baseline*) variaram de 6,0 a 74,0mg/kg, com média de  $24,5 \pm 23,2$ mg/kg, enquanto que as concentrações máximas variaram de 16,3 a 653,0mg/kg, com média de  $129,1 \pm 215,7$ mg/kg (Figura II.6.1.2.3.3.e-1).



**FIGURA II.6.1.2.3.3.e-1 – Concentrações máximas, mínimas, PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de cromo no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Dentre os resultados considerados, os estudos de SOUZA (1995), FERRAZ *et al.* (1996), PIATAM OCEANO (2008) e LIMA *et al.* (2005) apresentaram intervalo de concentração do elemento cromo, totalmente, ou parcialmente, acima do valor de referência TEL (52,3mg/kg). Dentre estes, apenas os resultados do projeto PIATAM OCEANO (2008), baseados no relatório da CPRM (CPRM, 1985 *apud* PIATAM OCEANO, 2008) ultrapassaram o valor de referência PEL (160,0mg/kg), definido pelos critérios americano e canadense. Conforme pode ser observado na Figura II.6.1.2.3.3.e-2, que apresenta o mapa de

distribuição espacial das concentrações de cromo (ppm = mg/kg) no sedimento gerado pelo Projeto PIATAM OCEANO (2008), as concentrações mais elevadas ocorreram próximas à costa. A nuvem de dados considerada abrange parcialmente a área dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico e nessa área as concentrações de cromo no sedimento foram baixas.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.e-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de cromo (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

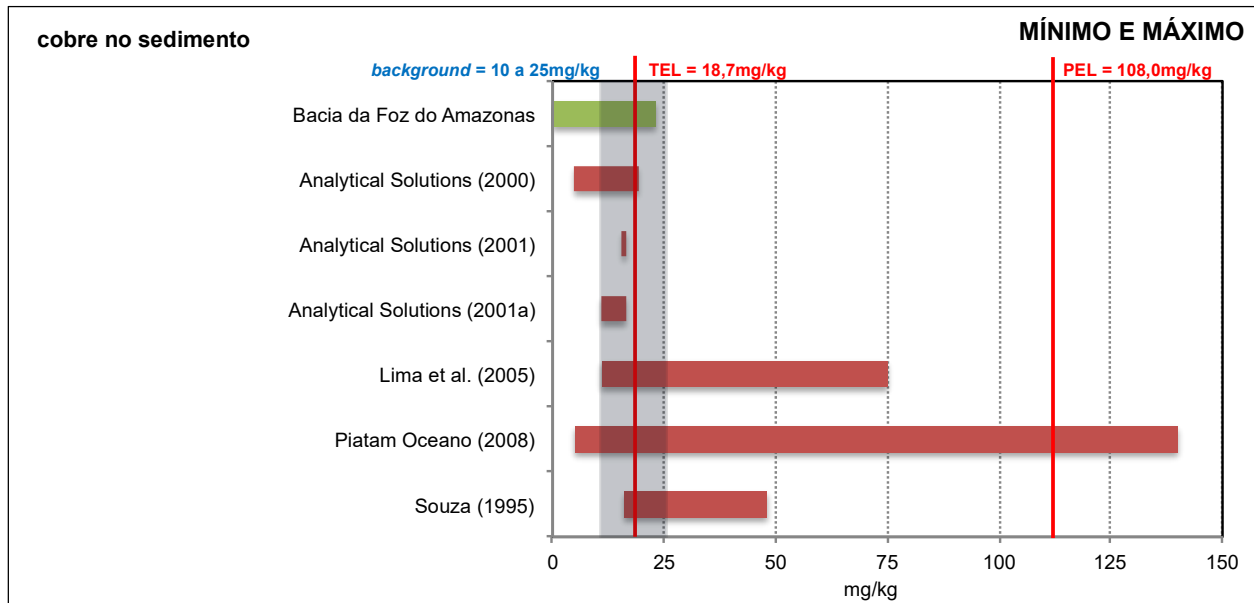
FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

#### **II.6.1.2.3.3.f. Cobre (Cu)**

De maneira geral, o Cu é menos solúvel em ambientes redutores do que em ambientes oxidantes. Desta forma, uma pequena variação no pH e a presença de sulfato fazem com que esse metal traço seja depositado no sedimento de fundo (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983 *apud* LIMA *et al.*, 2006). Segundo BUCHMAN (2008), nos sedimentos de áreas onde ainda não existam impactos provocados pelas ações humanas, as concentrações de cobre variam entre 10.000 e 25.000µg/kg (10 e 25mg/kg). Efeitos tóxicos das concentrações de cobre no sedimento deverão ocorrer raramente abaixo de 18.700µg/kg (TEL=18,7mg/kg) e concentrações acima de 108.000µg/kg (PEL=108mg/kg) provavelmente ocasionarão efeito na biota, segundo os critérios norte americano (BUCHMAN, 2008) e canadense (CCME, 2015).



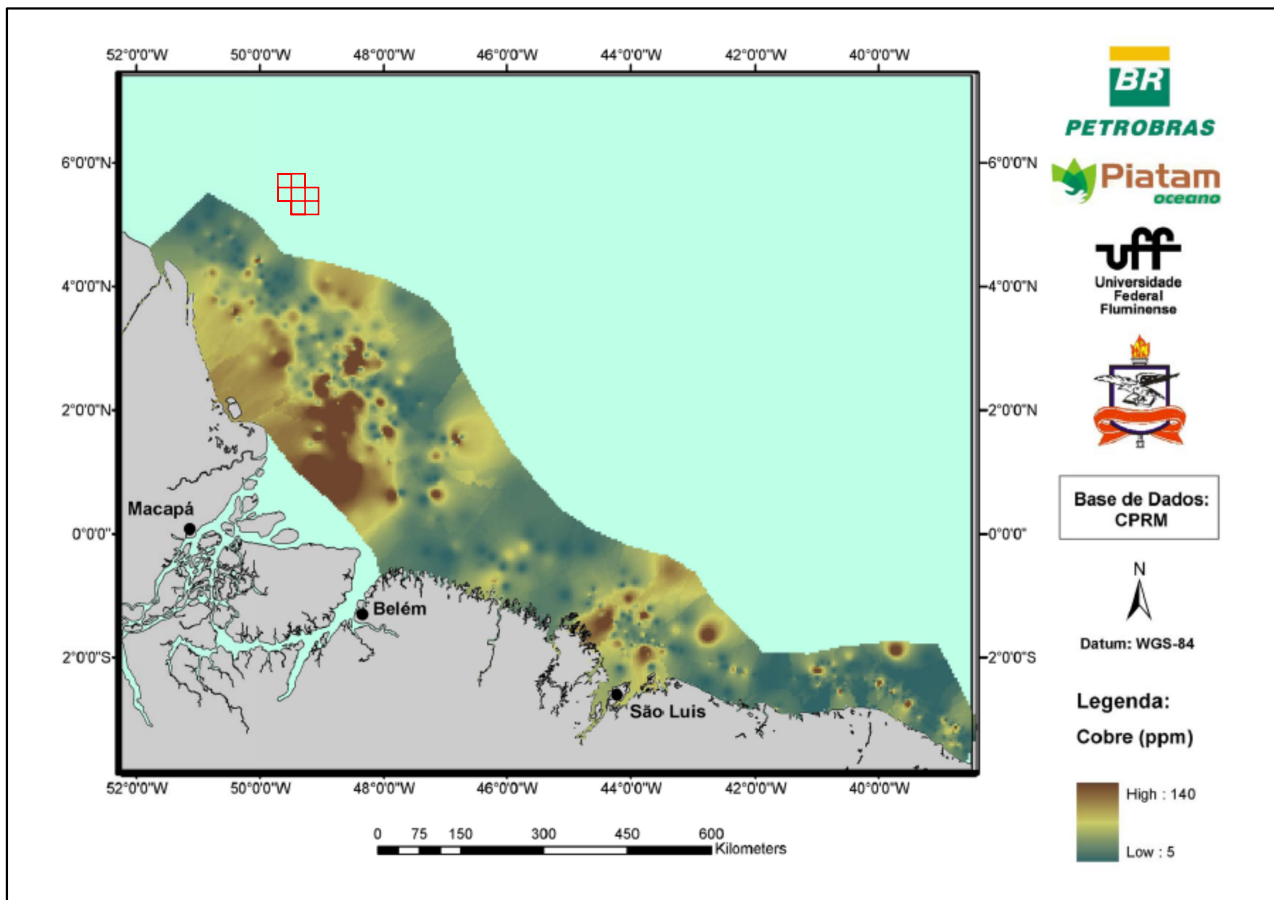
As concentrações mínimas de cobre observadas nos esforços de baseline na área dos blocos variaram de não detectado a 16,0mg/kg (média de  $9,03 \pm 5,95\text{mg/kg}$ ) e máximas de 16,35 a 140,0mg/kg (média de  $48,27 \pm 45,92\text{mg/kg}$ ) (Figura II.6.1.2.3.3.f-1).



**FIGURA II.6.1.2.3.3.f-1 – Concentrações máximas, mínimas, PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de cobre no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Considerando o Projeto de *Baseline* realizado na Bacia da Foz do Amazonas, as concentrações de cobre no sedimento ultrapassaram os limites aceitáveis estipulados pelas agências internacionais que adotam um limite da TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente) de 18,7mg/kg de Cu. Porém, encontraram-se bem abaixo dos limites da PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota), que estabelece como limite de 108,2mg/kg de Cu (Figura II.6.1.2.3.3.f-1). Esses resultados devem ser considerados como background para a área dos blocos na Bacia da Foz do Amazonas.

Dentre os resultados considerados, aqueles obtidos nas atividades de monitoramento dos dois poços perfurados pela BP no Bloco BFZ-2 (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2001a; ANALYTICAL SOLUTIONS, 2001b) apresentaram intervalo de concentração do elemento cobre abaixo do valor de referência TEL (18,7mg/kg). Já os dados obtidos em PIATAM OCEANO (2008) ultrapassaram o valor de referência PEL (108,0mg/kg), definido pelos critérios americano e canadense, embora, mais uma vez, (considerando a Figura II.6.1.2.3.3.f-2) na área próxima aos blocos as concentrações se mostraram bem próximo do limite mínimo de variação, abaixo do TEL.

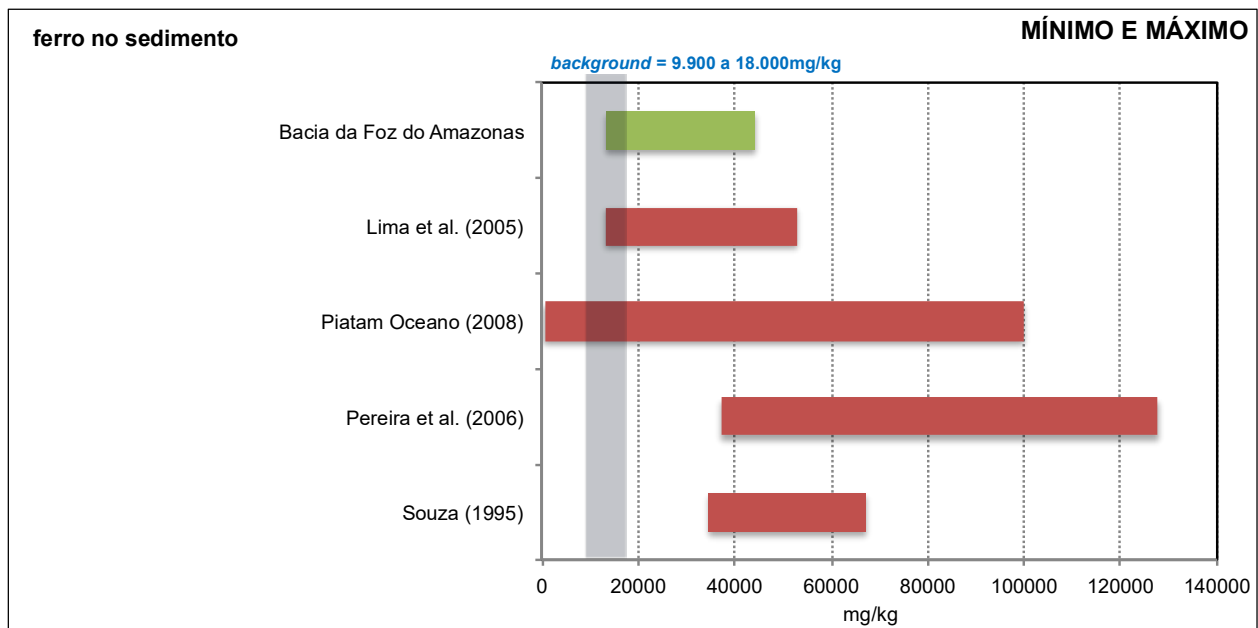


**FIGURA II.6.1.2.3.3.f-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de cobre (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

### **II.6.1.2.3.3.g. Ferro (Fe)**

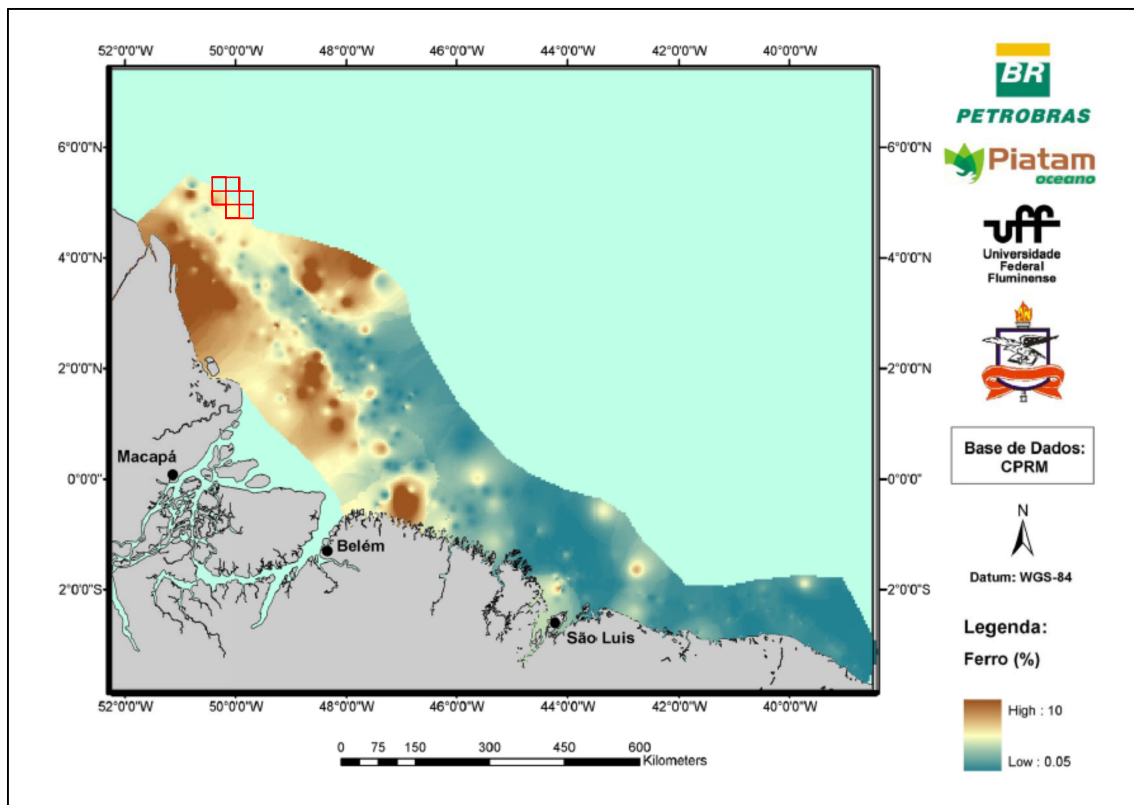
A concentração de ferro considerada como *background* no sedimento por BUCHMAN (2008) é de 0,99 a 1,8% (=990 a 1.800mg/kg). As concentrações mínimas de ferro, dentre os resultados compilados, variaram de 500,0 a 37.200,0mg/kg (média de 19.786,4 ± 15.637,6mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 44.268,3 a 127.800,0mg/kg (média de 78.454,7 ± 34.790,5mg/kg) (Figura II.6.1.2.3.3.g-1).



**FIGURA II.6.1.2.3.3.g-1 – Concentrações máximas e mínimas de ferro no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

O ferro, o alumínio e o manganês são geralmente encontrados em grandes concentrações no sedimento, e isto não surpreende, uma vez que estão associados e compõem vários tipos de sedimento (SOUZA, 1995). As variações nas concentrações de ferro observadas na campanha de *baseline* podem ser consideradas normais ao meio estudado. Comparando-se os resultados de ferro encontrados com outros estudos realizados em diferentes bacias da Margem Equatorial Brasileira, fica claro que os resultados encontrados durante a campanha do Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas fazem parte do *background* regional e já tinham sido descritos em outros estudos realizados na região

Conforme pode ser visto no mapa de distribuição espacial das concentrações de ferro ( $\% = \text{g/kg} = 1.000\text{mg/kg}$ ) no sedimento, gerado pelo Projeto PIATAM OCEANO (2008) e apresentado na **Figura II.6.1.2.3.3.g-2**, a nuvem de dados considerada abrange parcialmente a área dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.g-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de ferro (%) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

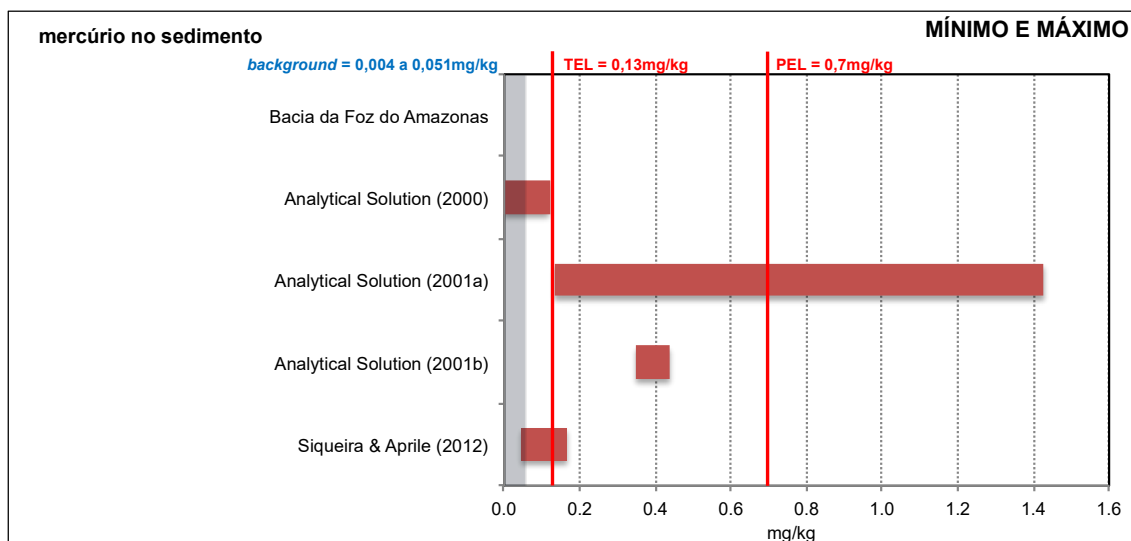
FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

#### **II.6.1.2.3.3.h. Mercúrio (Hg)**

Reconhecem-se duas fontes principais de mercúrio para os ecossistemas aquáticos na Amazônia: as fontes naturais e as antrópicas (SIQUEIRA & APRILE, 2012). A análise dos teores de mercúrio no sedimento é uma das formas mais utilizadas para se avaliar o grau de contaminação de um sistema aquático (MARINS *et al.*, 1998 *apud* SIQUEIRA & APRILE, 2012). Devido a sua alta toxicidade e capacidade de sofrer biomagnificação em quase todas as cadeias tróficas, a exposição ambiental do Hg via cadeia alimentar aumenta, significativamente, a exposição, principalmente em consumidores de nível trófico mais elevado (AGUSA *et al.*, 2007).

A NOAA considera concentrações de mercúrio no sedimento marinho entre 4 e 51µg/kg (=0,004 e 0,051mg/kg) como *background* e que concentrações inferiores a 130µg/kg (0,13mg/kg) provavelmente não provocarão efeitos tóxicos (ou raramente os provocarão), enquanto que concentrações acima de 700µg/kg (=0,7mg/kg) provavelmente ocasionarão efeito na biota, estes dois últimos dados de acordo tanto com a agência norte americana (*op cit*) quanto com a agência canadense (CCME, 2015).

Considerando os dados compilados, as concentrações mínimas de mercúrio variaram de 0,05 a 0,35mg/kg, (média de  $0,15 \pm 0,14$ mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,12 a 1,43mg/kg (média de  $0,54 \pm 0,61$ mg/kg). Dentre os resultados considerados, apenas os obtidos no estudo da ANALYTICAL SOLUTIONS (2000) apresentaram concentração de mercúrio no sedimento abaixo do valor de referência TEL (0,13mg/kg). Dentre os demais, os resultados obtidos no monitoramento do poço 1-BP-2A-APS (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2001a) do projeto PIATAM OCEANO (2008) ultrapassaram o valor de referência PEL (0,7mg/kg), definido pelos critérios americano e canadense. O universo de dados deste esforço foi de 6 amostras, sendo que as concentrações em cinco delas variaram entre 0,135 e 0,690mg/kg (abaixo do PEL) e apenas em uma amostra foi registrada concentração de mercúrio de 1,428mg/kg de sedimento. **Em nenhuma das amostras avaliadas na Bacia da Foz do Amazonas pelo Projeto de *Baseline* Integrado foi detectado mercúrio no sedimento.** Os resultados compilados para o mercúrio estão representados **Figura II.6.1.2.3.3.h-1**.

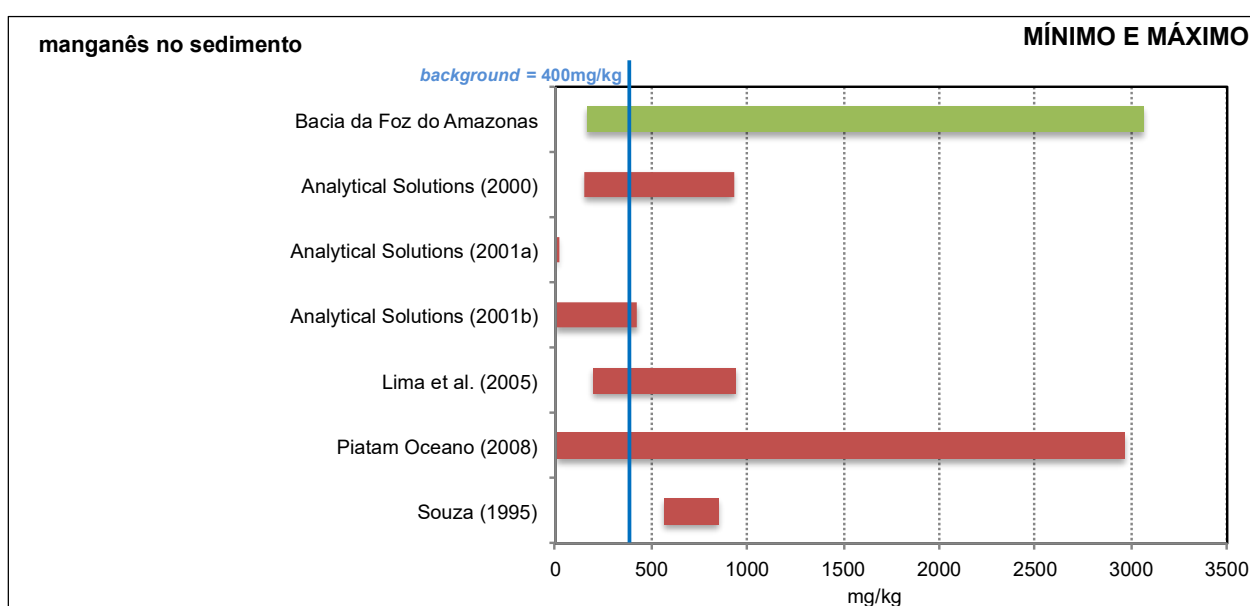


**FIGURA II.6.1.2.3.3.h-1 – Concentrações máximas, mínimas, PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de mercúrio no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

#### **II.6.1.2.3.3.i. Manganês (Mn)**

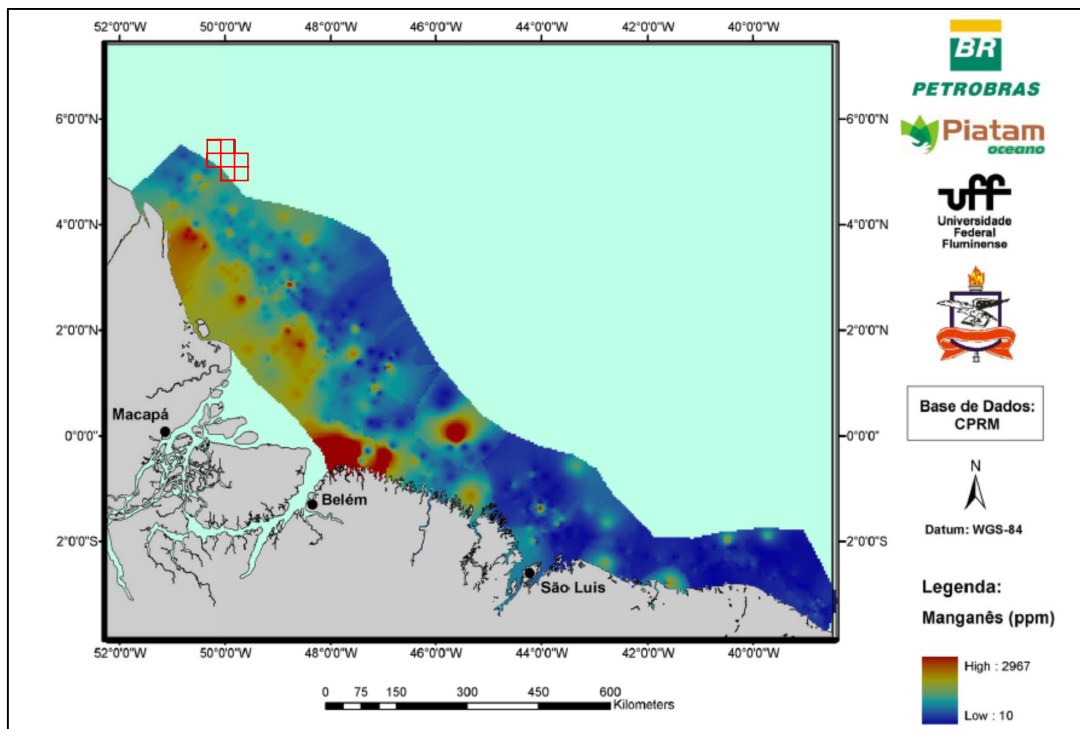
O manganês encontra-se, muitas vezes, incorporado em certos minerais, nas posições de outros elementos de mesma carga e de tamanho semelhante, como o ferro (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984 *apud* LIMA *et al.*, 2006). Segundo PATCHINEELAM (1999 *apud* LIMA *et al.*, 2006), os oxi-hidróxidos de ferro e manganês são carreadores importantes de numerosos elementos-traço, uma vez que seus ciclos podem influenciar decisivamente a química da sedimentação marinha durante os processos diagenéticos. Segundo BUCHMAN (2008) a concentração de  $400.000\mu\text{g/kg}$  ( $400\text{mg/kg}$ ) de manganês no sedimento pode ser considerada *background*.

As concentrações mínimas de manganês no sedimento na região da Bacia da Foz do Amazonas variaram de 2,47 a 568,0mg/kg, média de  $156,65 \pm 200,0\text{mg/kg}$ , enquanto que as concentrações máximas variaram de 2,60 a 3.064,5mg/kg, com média de  $1.311,23 \pm 1.211,42\text{mg/kg}$ , considerando os resultados obtidos disponíveis na literatura compilada e os dados primários obtidos pelo Projeto de *Baseline* na Bacia da Foz do Amazonas (Figura II.6.1.2.3.3.i-1). As variações de manganês encontradas na Bacia da Foz do Amazonas, através dos dados primários obtidos foram, principalmente, atribuídas ao Bloco FZA-M-90, onde as concentrações de manganês no sedimento foram as mais elevadas e similares às encontradas pelo Projeto PIATAM Oceano.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.i-1 – Concentrações máximas e mínimas de manganês no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Conforme pode ser visto no mapa de distribuição espacial das concentrações de manganês (ppm = mg/kg) no sedimento gerados pelo Projeto PIATAM OCEANO (2008), apresentado na Figura II.6.1.2.3.3.i-2, as maiores concentrações de manganês foram registradas próximo à costa.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.i-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de manganês (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

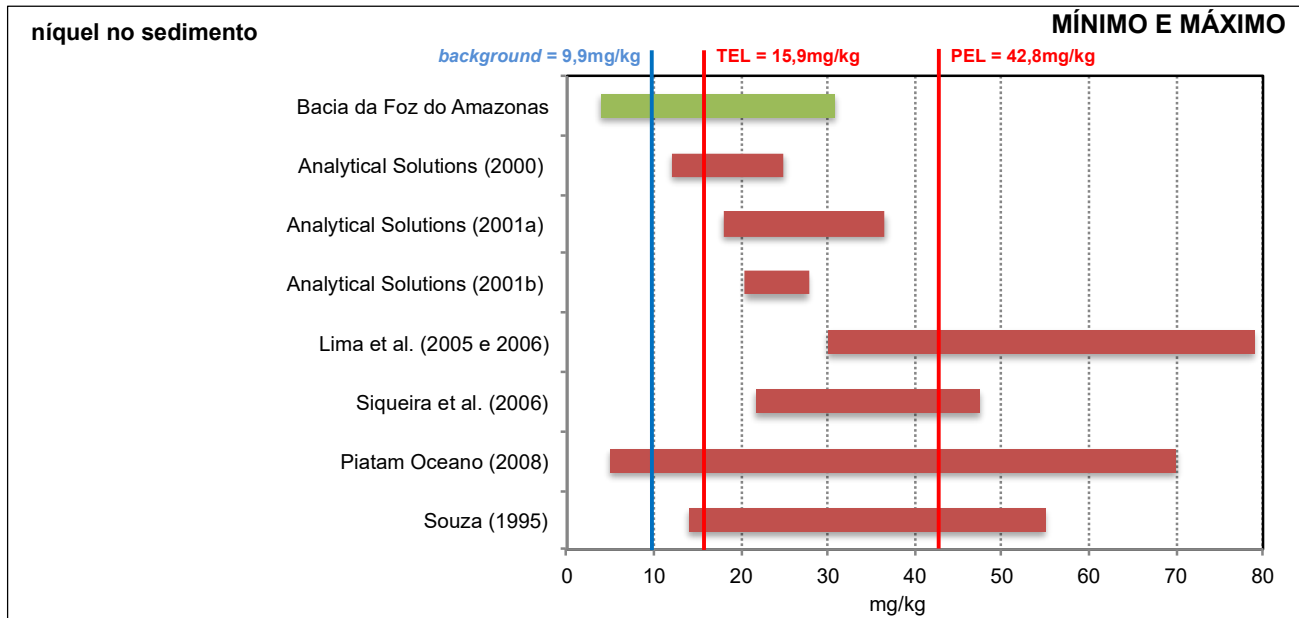
FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

#### **II.6.1.2.3.3.j. Níquel (Ni)**

O níquel ocorre naturalmente na crosta terrestre (IRWIN *et al.*, 1997). Segundo BUCHMAN (2008), a concentração de *background* de níquel em sedimentos marinhos é de  $9.900\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=9,9\text{mg}/\text{kg}$ ). Considerando a saúde humana, altas concentrações de níquel podem ser altamente tóxicas e perigosas (IRWIN *et al.*, 1997). A concentração de  $15.900\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=15,9\text{mg}/\text{kg}$ ) é considerada como TEL (*Threshold Effect Level*) e  $42.800\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=42,8\text{mg}/\text{kg}$ ) como PEL (*Probable Effect Level*) pelos critérios americano (BUCHMAN, 2008) e canadense (CCME, 2015).

As concentrações mínimas de níquel no sedimento registradas, através dos dados primários e secundários, variaram de 3,9 a 30,0mg/kg (média de  $15,6 \pm 8,8\text{mg}/\text{kg}$ ), enquanto que as concentrações máximas variaram de 25,0 a 79,0mg/kg (média de  $46,4 \pm 20,1\text{mg}/\text{kg}$ ). No Projeto de *Baseline*, o níquel foi encontrado em concentrações elevadas na Bacia da Foz do Amazonas, com uma concentração máxima de 30,8mg/kg. Os resultados de apenas 5 (cinco) das 21 estações ultrapassaram o limite estabelecido para o TEL pelas agências internacionais (NOAA e CEQG), que é de 15,9mg/kg de níquel, estações 8 do Bloco FZA-M-88, estações 10 e 12 do Bloco FZA-M-125 e estações 19 e 20 do Bloco FZA-M-90. Contudo, concentrações similares ou ainda superiores também foram encontradas em outros estudos realizados na Foz do Amazonas (PIATAM Oceano, 2008; ANALYTICAL SOLUTIONS, 2000, 2001a e 2001b; LIMA *et al.*, 2005 e 2006), indicando assim que essas concentrações encontradas no *Baseline* devem ser usuais para a região analisada.

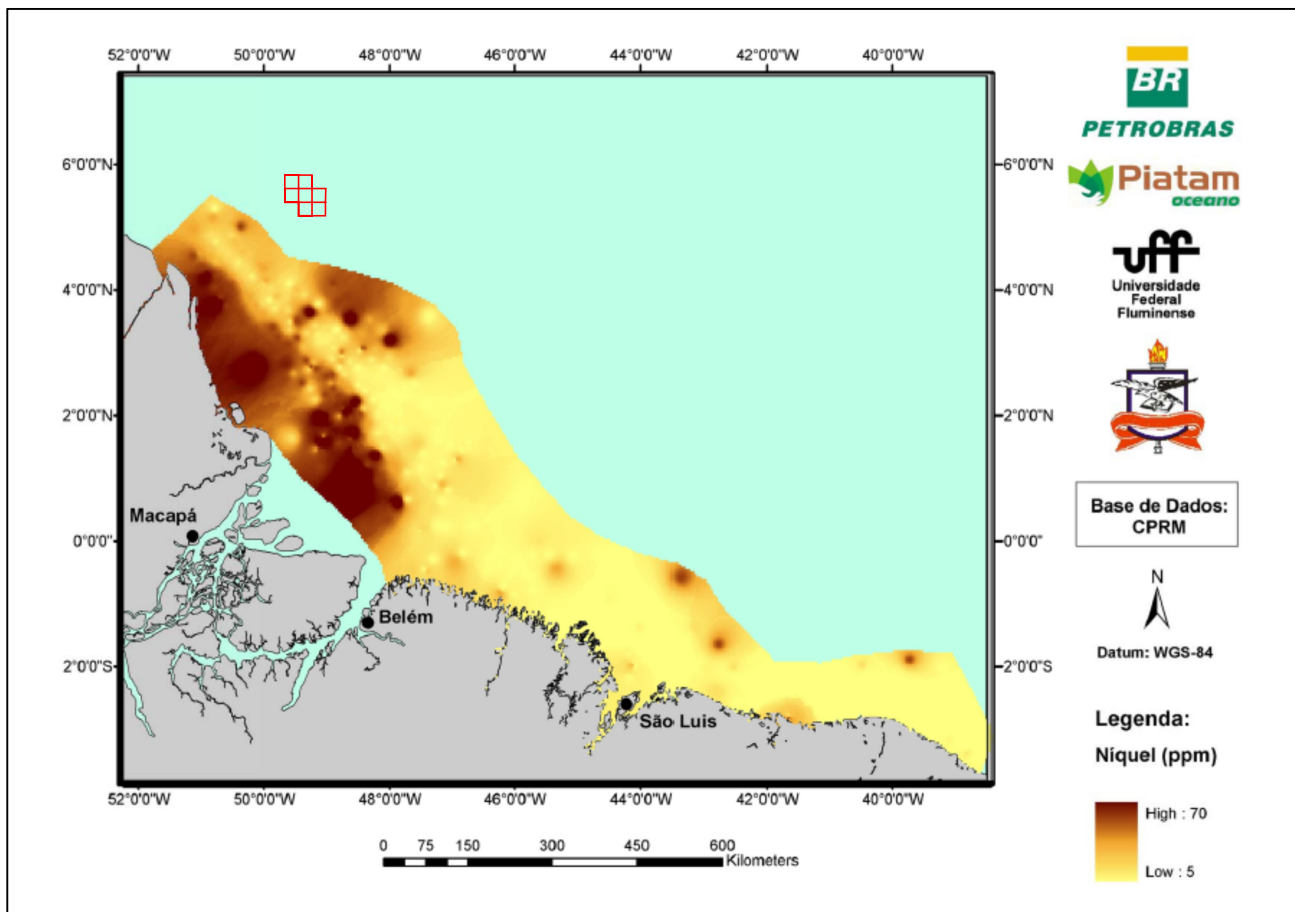
Todos os resultados apresentaram parte do intervalo (ou sua totalidade) acima do valor de referência TEL (15,9mg/kg). Dentre estes, os resultados do projeto PIATAM OCEANO (2008), SOUZA (1995), SIQUEIRA *et al.* (2006) e LIMA *et al.* (2005; 2006) ultrapassaram também o valor de referência PEL (42,8mg/kg), definido pelos critérios americano e canadense (**Figura II.6.1.2.3.3.j-1**).



**FIGURA II.6.1.2.3.3.j-1 – Concentrações máximas, mínimas, PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de níquel no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Conforme pode ser visto no mapa de distribuição espacial das concentrações de níquel (ppm = mg/kg) no sedimento gerado pelo Projeto PIATAM OCEANO (2008), apresentado na **Figura II.6.1.2.3.3.j-2**, a nuvem de dados considerada abrange parcialmente a área dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico.





**FIGURA II.6.1.2.3.3.j-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de níquel (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

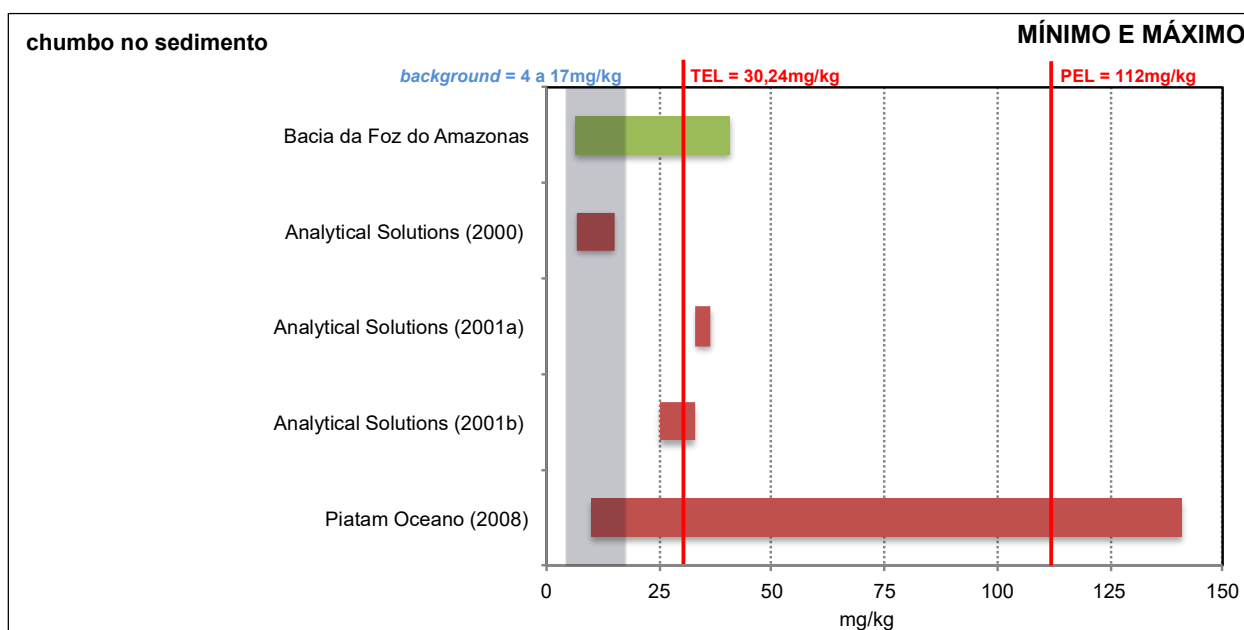
FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

#### **II.6.1.2.3.3.k. Chumbo (Pb)**

Todos os efeitos medidos de chumbo sobre os organismos vivos são adversos, incluindo os relacionados com a sobrevivência, crescimento, aprendizagem, reprodução, desenvolvimento, comportamento e metabolismo. O chumbo não tem função biológica essencial conhecida e todos os seus compostos são potencialmente nocivos ou tóxicos e tendem a ser bioacumulados. É um metal pesado muito tóxico para organismos aquáticos, especialmente peixes. (IRWIN *et al.*,1997).

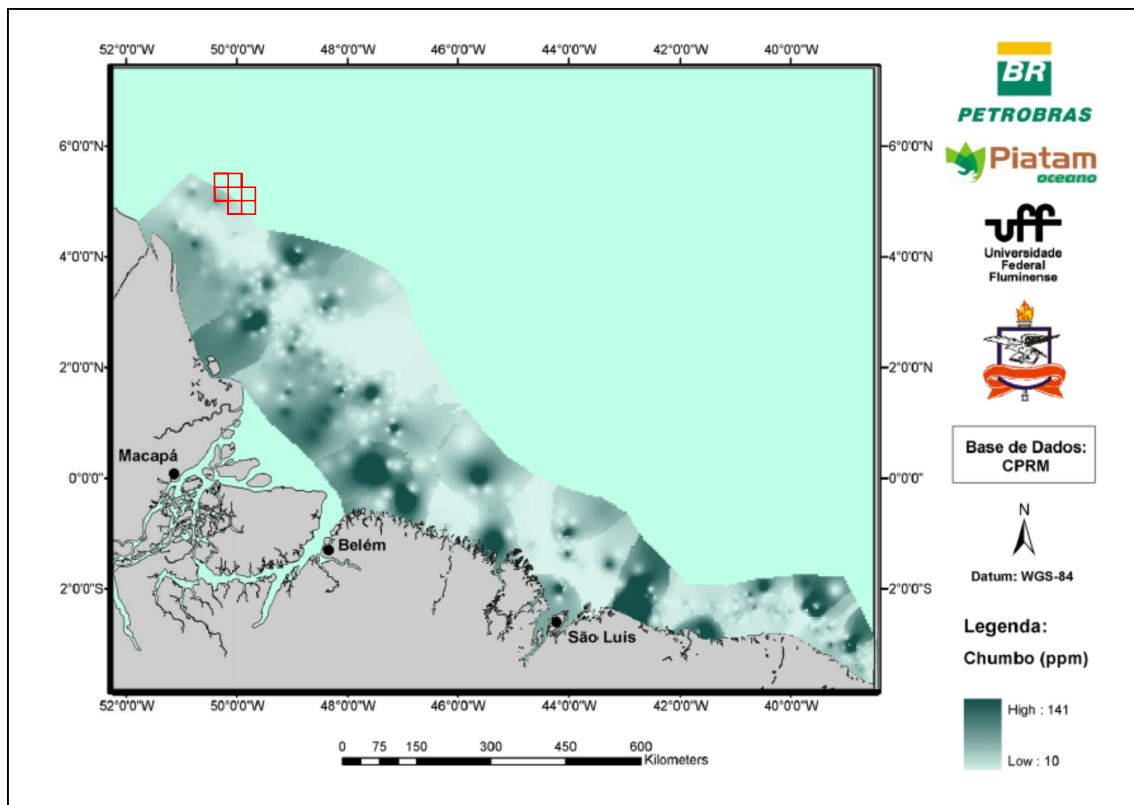
A concentração considerada *background* para sedimentos marinhos é de 4.000 a 17.000 $\mu\text{g}/\text{kg}$  (4 a 17 $\text{mg}/\text{kg}$ ) segundo BUCHMAN (2008), com TEL e PEL correspondendo, respectivamente, a 30.240 $\mu\text{g}/\text{kg}$  (=30,24 $\text{mg}/\text{kg}$ ) e 112.000 $\mu\text{g}/\text{kg}$  (=112 $\text{mg}/\text{kg}$ ).

As concentrações mínimas de chumbo observadas nos estudos analisados, variaram de 6,36 a 33,11mg/kg (média de  $16,30 \pm 12,12$ mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 15,0 a 141,0mg/kg (média de  $53,15 \pm 50,07$ mg/kg) (**Figura II.6.1.2.3.3.k-1**). Apenas as concentrações obtidas no estudo da ANALYTICAL SOLUTIONS (2000) apresentaram intervalo de dados abaixo do valor de referência TEL (30,24mg/kg). PIATAM OCEANO (2008) e o Projeto de *Baseline*, na Bacia da Foz do Amazonas, apresentaram parte do seu intervalo de dados acima do valor de referência TEL (112,0mg/kg). Nota-se, na **Figura II.6.1.2.3.3.k-2** que próximo à área dos blocos as concentrações de chumbo foram menos elevadas.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.k-1 – Concentrações máximas, mínimas, PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de chumbo no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Concentrações de chumbo similares ou superiores também foram encontradas em outros estudos realizados na Foz do Amazonas (PIATAM Oceano, 2008; ANALYTICAL SOLUTIONS, 2001a), indicando assim que, provavelmente, estas concentrações encontradas no *baseline* são usuais para a regiões analisadas da Margem Equatorial Brasileira



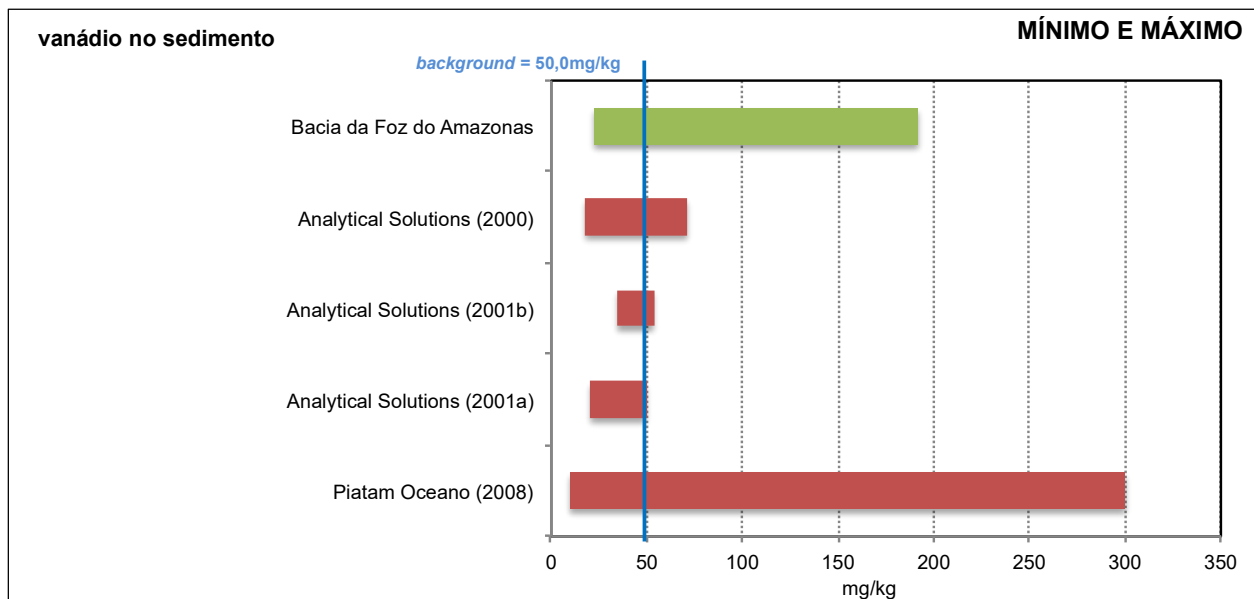
**FIGURA II.6.1.2.3.3.k-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de chumbo (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

### **II.6.1.2.3.3.I. Vanádio (V)**

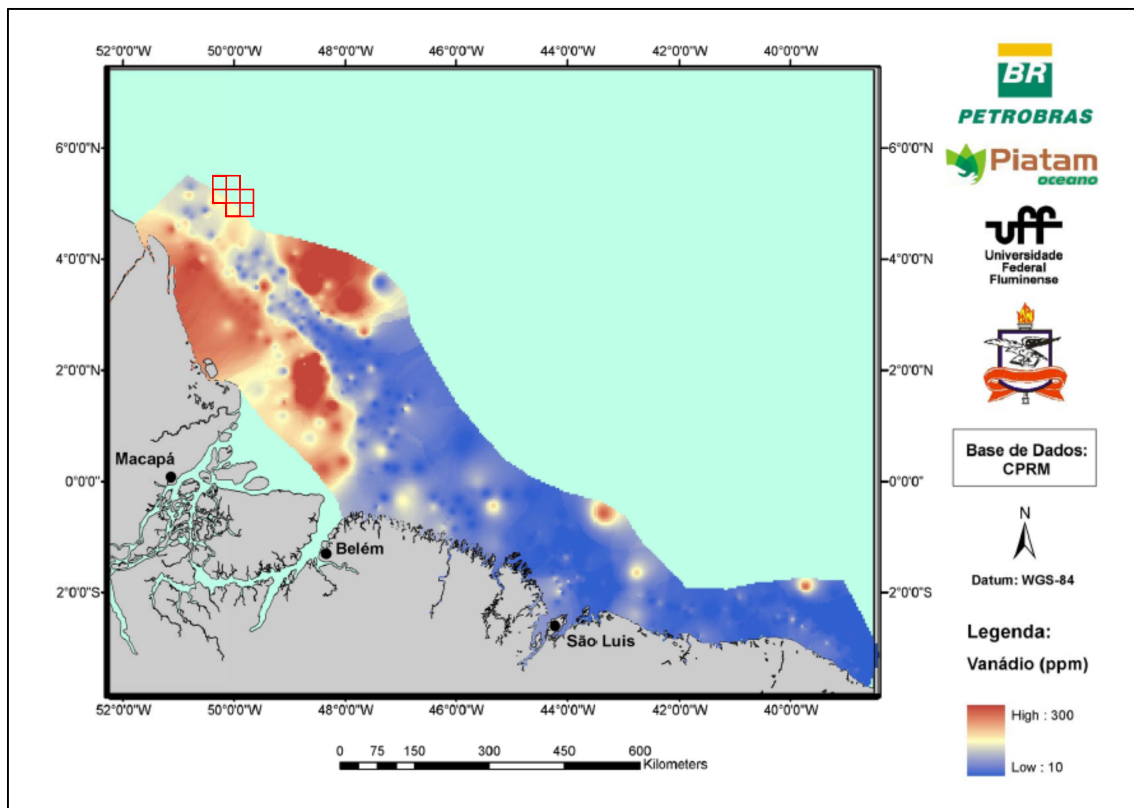
O vanádio é um elemento encontrado normalmente combinado com outros elementos como oxigênio, sódio, enxofre e cloro (IRWIN *et al.*, 1997). É onipresente na biosfera, resultando em níveis de traços detectáveis em praticamente todos os organismos vivos. No entanto, dependendo da concentração, esse elemento e seus compostos são tóxicos. Tal toxicidade depende de sua valência (maior toxicidade quanto maior a valência, sendo o pentavalente o mais tóxico) (IRWIN *et al.*, 1997).

As concentrações mínimas na Bacia da Foz do Amazonas variaram de 10,0 a 34,7mg/kg, média de  $21,2 \pm 8,9$ mg/kg, enquanto que as concentrações máximas variaram de 49,6 a 300,0mg/kg, com média de  $133,1 \pm 110,1$ mg/kg (Figura II.6.1.2.3.3.I-1). Vale ressaltar que todos os resultados obtidos orbitaram em torno do valor de *background* definido para os sedimentos marinhos (=50mg/kg) (BUCHMAN, 2008).



**FIGURA II.6.1.2.3.3.I-1 – Concentrações máximas e mínimas de vanádio no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline Integrado* para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Conforme pode ser visto no mapa de distribuição espacial das concentrações de vanádio (ppm = mg/kg) no sedimento, gerado pelo Projeto PIATAM OCEANO (2008) e apresentado na **Figura II.6.1.2.3.3.I-2**, a nuvem de dados considerada abrange parcialmente a área dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.I-2 – Mapa de distribuição espacial das concentrações de vanádio (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

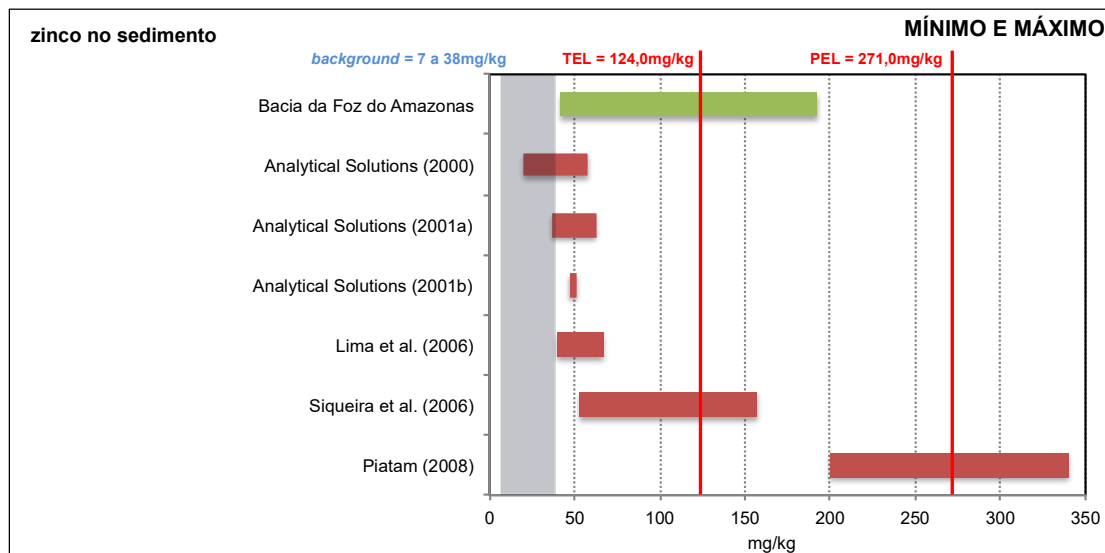
Não existem limites estipulados pelas agências internacionais para o Vanádio. Comparando-se os resultados obtidos com outros estudos realizados em diferentes áreas localizadas nas costas norte e nordeste e brasileiras, fica claro que os resultados fazem parte do *background* regional e já tinham sido descritos em outros estudos.

#### **II.6.1.2.3.3.m. Zinco (Zn)**

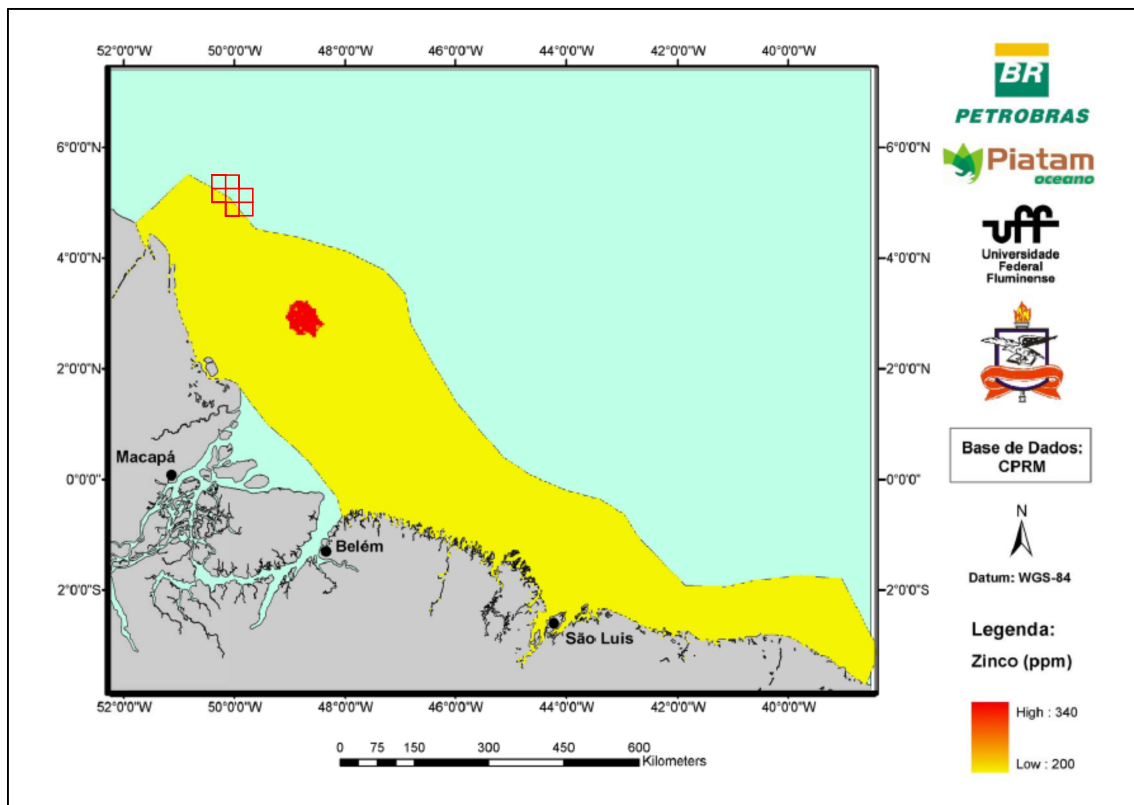
O zinco é encontrado no sedimento como sulfeto, muitas vezes associado a outros elementos metálicos como chumbo (Pb), cádmio (Cd) e cobre (Cu) (SIQUEIRA, 2006). Para FORSTNER & WITTMANN (1983 *apud* SIQUEIRA *et al.*, 2006) os compostos de ZnS (sulfeto de zinco) e ZnCO<sub>3</sub> (carbonato de zinco) são as formas predominantes de zinco no sedimento marinho. A concentração de zinco no sedimento (considerada *background*) é de 7 a 38mg/kg (BUCHMAN, 2008). Os critérios norte americano (BUCHMAN, 2008) e canadense (CCME, 2015) consideram 124mg/kg a concentração limite abaixo da qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente (TEL = *Threshold Effect Level*) e 271mg/kg a concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota (PEL = *Probable Effect Level*).

Na plataforma continental amazônica LIMA *et al.* (2006) reportou que o zinco encontra-se em maior proporção ligado à fração móvel e em menor escala à estrutura de minerais mais resistentes (silicatos e outros minerais refratários) indicando, assim, que esse elemento sofre ação dos fenômenos de adsorção e precipita nas formas convencionais de oxi-hidróxido com ferro e manganês.

As concentrações mínimas de zinco no sedimento variaram de 20,0 a 200,0mg/kg (média de  $62,6 \pm 61,5$ mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 51,4 a 340,0mg/kg (média de  $132,7 \pm 106,9$ mg/kg) (Figura II.6.1.2.3.3.m-1). PIATAM OCEANO (2008) e SIQUEIRA *et al.*, (2006) apresentaram parte (ou totalidade) do intervalo de dados acima do valor de referência TEL (124,0mg/kg). Porém, apenas os resultados apresentados em PIATAM OCEANO (2008) ultrapassaram o valor de referência PEL (271,0mg/kg), embora seja possível observar, na Figura II.6.1.2.3.3.m-2 (mapa de distribuição espacial deste elemento na Bacia da Foz do Amazonas) que próximo à área dos blocos as concentrações foram baixas.



**FIGURA II.6.1.2.3.3.m-1 – Concentrações máximas, mínimas, PEL (Probable Effect Level – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota) e TEL (Threshold Effect Level – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), de zinco no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**



**FIGURA 6.1.2.3.3.m-2 - Mapa de distribuição espacial das concentrações de zinco (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM. Os limites dos blocos exploratórios considerados no presente diagnóstico (localização aproximada) foram inseridos em vermelho.**

FONTE: modificado de PIATAM OCEANO (2008)

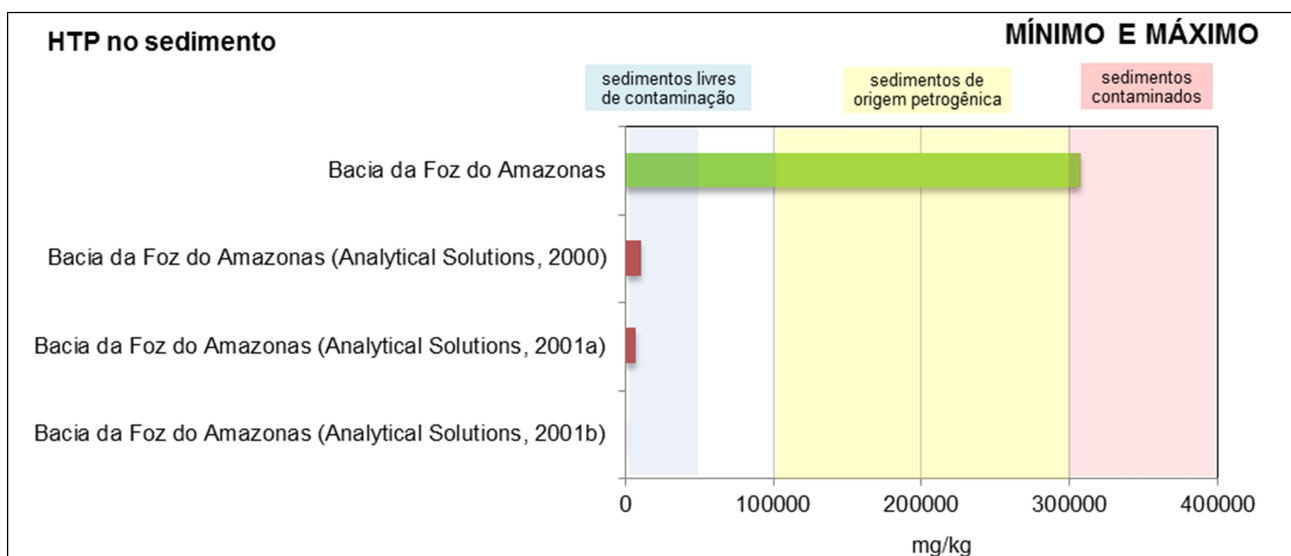
As concentrações de zinco encontradas durante o Projeto de *Baseline* ultrapassaram o TEL (*Threshold Effect Level* – limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente) definido pelas agências internacionais, porém, encontraram-se bem abaixo dos limites da PEL (*Probable Effect Level* – concentração acima da qual provavelmente será observado efeito na biota), na Bacia da Foz do Amazonas (**Figura II.6.1.2.3.3.m-1**). Quando comparados os resultados de zinco do *baseline* na Bacia da Foz do Amazonas, com os dados da literatura e com os projetos já realizados na região, pode-se observar que as concentrações encontradas foram similares e/ou inferiores aos demais estudos, indicando, portanto, concentrações que devem fazer parte do *background* regional.

#### II.6.1.2.3.4. Hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP)

A avaliação da contaminação ambiental por hidrocarbonetos de petróleo através dos sedimentos é de especial interesse, pois sendo este o compartimento de destino final de contaminantes, produz um quadro integrado dos eventos que ocorrem na coluna d'água (BOULOUBASSI & SALIOT, 1993). Contribui para isto a relativa persistência à decomposição bacteriana de alguns compostos e o caráter lipofílico dos hidrocarbonetos, que favorece a associação ao material particulado em suspensão e à matéria orgânica. Isto leva ao aumento na sua taxa de deposição nos sedimentos (READMAN *et al.*, 1986).

As concentrações mínimas variaram de 0,0 (não detectado – N.D.) a 1.314,0mg/kg (média de 534,0 ± 648,5mg/kg dos resultados detectados), enquanto que as concentrações máximas variaram de 302,0 a 308.000,0mg/kg (com média de 81.600,5 ± 150.995,3mg/kg).

Os resultados obtidos para o HTP estão representados **Figura II.6.1.2.3.4-1**. Como se pode observar, foram considerados apenas os resultados obtidos por ANALYTICAL SOLUTIONS (2000; 2001a; 2001b) na área do Bloco BFZ-2, pois a análise deste parâmetro (assim como HPA) foi realizada apenas nestes esforços, dentre os considerados, além dos obtidos pelo Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas.



**FIGURA II.6.1.2.3.4-1 – Concentrações máximas e mínimas de HTP no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde).**

Não existem limites estabelecidos pelas agências internacionais para os índices de HTP, n-alcanos ou MCNR. Segundo VOLKMAN *et al.* (1992), porém, concentrações de HTP inferiores a 50.000µg/kg (ppb) são consideradas oriundas de sedimentos não poluídos; aqueles sedimentos cujas concentrações de HTP são superiores a 100.000µg/kg (ppb) são considerados como de origem petrogênica (VOLKMAN *et al.*, 1994; READMAN *et al.*, 2002) e os com concentrações acima de 300.000µg/kg (ppb) como contaminados (ZHENG *et al.*, 2000).





Comparando-se os resultados de hidrocarbonetos totais (HTPs) da campanha de *baseline* na área dos blocos da Bacia da Foz do Amazonas com dados da literatura dos mais diversos ambientes e regiões, fica evidente que os resultados encontrados devem ser considerados usuais, uma vez que as concentrações de hidrocarbonetos totais encontradas situaram-se, na sua maioria, bem abaixo das demais. A única exceção foi nas estações dos blocos mais costeiros (FZA-M-57 e FZA-M-86), que apresentaram concentrações mais elevadas e típicas de áreas onde existem atividades de E&P. Essas concentrações de hidrocarbonetos totais (HTP) refletem, portanto, a existência de um *background* mais elevado nos blocos mais costeiros, não ligado a alguma atividade anteriormente executada.

Como em muitas das estações não foram detectados n-alcanos nas amostras analisadas, pode-se supor que não há, nas áreas avaliadas, acréscimos recentes de hidrocarbonetos de origem antrópica ao sedimento. Além disso, frações mais difíceis de serem degradadas, como a fração MCNR, também foram encontradas no referido *baseline*, indicando a existência de frações dos hidrocarbonetos mais complexas e resistentes à biodegradação (GOUGH & ROWLAND, 1990). Portanto, os resultados das concentrações de mistura complexa não resolvida (MCNR) encontradas nas estações corroboram tal fato e mostram hidrocarbonetos altamente intemperizados e de origem mais antiga e não um incremento recente ao sedimento. Como são frações mais difíceis de serem metabolizadas, espera-se a mesma tendência de permanência dessas frações ainda por um longo tempo no ambiente.

#### II.6.1.2.3.5. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)

As relações entre concentrações de certos HPAs podem ser utilizadas na avaliação da origem dos hidrocarbonetos encontrados em amostras naturais e dos processos de transformação destes compostos no ambiente. Porém, há incertezas inerentes à aplicação destes procedimentos em amostras ambientais, geradas pela combinação de diversos eventos, tais como degradação, volatilização, adsorção e solubilização diferenciada dos HPAs e a presença no ambiente de materiais e óleos provenientes de diversas fontes (YOUNGBLOOD & BLUMER, 1975).

As concentrações mínimas variaram de 0,0 (não detectado – N.D.) a 2,30mg/kg (média de  $0,77 \pm 1,33$ mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,11 a 73,0mg/kg (média de  $26,37 \pm 40,49$ mg/kg).

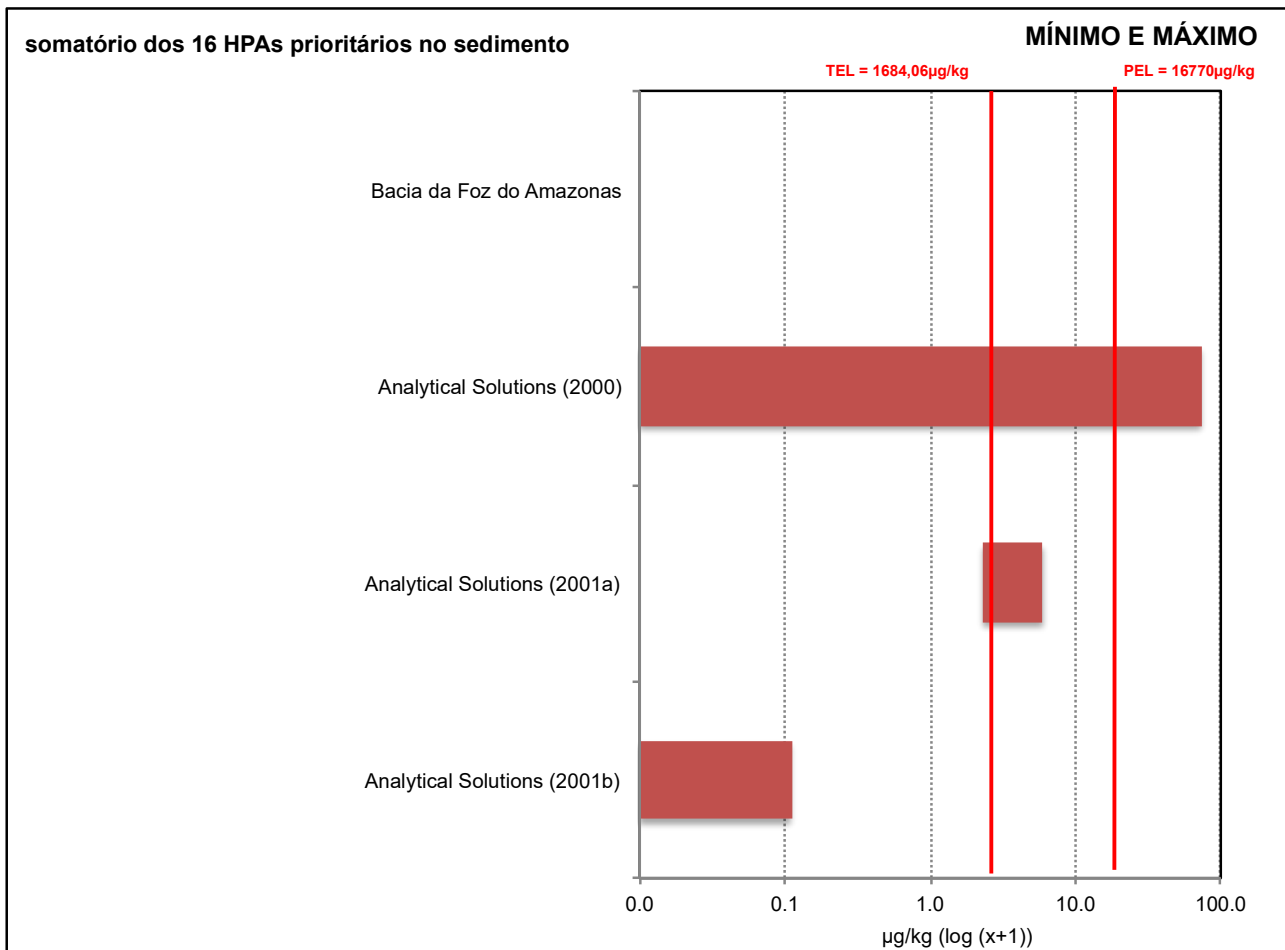
Os limites de TEL e PEL para o total de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em sedimento marinho segundo a NOAA (BUCHMAN, 2008) são  $1.684\mu\text{g}/\text{kg}$  (= 1,684mg/kg) e  $16.770\mu\text{g}/\text{kg}$  (= 16,77mg/kg), respectivamente.

Os resultados obtidos para os HPAs prioritários estão representados na **Figura II.6.1.2.3.5-1**. Como se pode observar, foram considerados apenas os resultados obtidos por ANALYTICAL SOLUTIONS (2000; 2001a; 2001b) para HPAs na área do Bloco BFZ-2 no presente diagnóstico.

No *baseline* realizado no Bloco BFZ-2 (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2000) a concentração máxima do somatório dos 16 HPAs prioritários no sedimento variou da não detecção até  $73,0\mu\text{g}/\text{kg}$ . Quando do monitoramento da perfuração do poço 1-BP-1A-APS (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2001b) as concentrações deste somatório variaram de 2,3 a  $6,0\mu\text{g}/\text{kg}$ . No monitoramento da perfuração do poço 1-BP-2A-APS (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2001a) não foram detectados HPAs no sedimento.

Estes são os únicos resultados disponíveis para o somatório dos 16 HPAs prioritários dentre os compilados para o presente diagnóstico, sendo que no Projeto de *Baseline* Integrado não foram encontradas concentrações detectáveis de HPAs totais no sedimento em nenhuma das estações localizadas na área dos blocos avaliados da Bacia da Foz do Amazonas (Figura II.6.1.2.3.5-1).

A não detecção de HPAs (concentrações inferiores ao LQ=11,3µg/kg ou ppb) representa a inexistência desses compostos no ambiente. Comparando-se os resultados da campanha de *baseline* com dados da literatura obtidos para a área, fica evidente que os resultados encontrados devem ser considerados normais, uma vez que apenas em regiões mais costeiras e onde existem atividades humanas intensas, concentrações mais expressivas desses compostos podem ser detectadas. Os resultados encontrados refletiram, portanto, a existência de um *background* baixo na área, como esperado para uma área *offshore* onde não existem atividades de E&P.



**FIGURA II.6.1.2.3.5-1 – Concentrações máximas e mínimas de HPA no sedimento, registradas na literatura considerada para a região (em vermelho) e no Projeto de *Baseline* Integrado para a Margem Equatorial Brasileira na Bacia da Foz do Amazonas (em verde). Escala logarítmica devido à amplitude da variação dos resultados considerados.**