

**Projeto de Monitoramento Ambiental  
Específico da Atividade de Perfuração na  
Área Geográfica da Bacia de Santos  
Poço Uruguá GH1**

**RTAA - Relatório Técnico de Avaliação Ambiental  
Campanha de Pós-Perfuração, 2º retorno**

**Volume Único**

**RTAA\_GH1\_C3\_BSD\_05052016-01**

**Revisão 01  
Junho/2016**



**E&P**



**CONTROLE DE REVISÕES – RTAA\_GH1\_C3\_BSD\_05052016-01**

REV.	DESCRIÇÃO	DATA
00	Documento Original	05/05/2016
01	Revisão alinhada com o documento “RTAA_GH1_C3_BSD_05052016-00_revBs.docx”	13/06/2016

	Original	Rev. 01	Rev. 02	Rev. 03	Rev. 04	Rev. 05	Rev. 06	Rev. 07	Rev. 08
Data	05/05/16	13/06/16							
Elaboração	Ana Carolina	Ana Carolina							
Verificação	Diego	Diego							
Aprovação	Fernanda	Fernanda							



## ÍNDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO .....	23/230
II - OBJETIVOS.....	25/230
III - ÁREA DE ESTUDO .....	26/230
III.1 - BACIA DE SANTOS.....	26/230
III.2 - CAMPO DE URUGUÁ.....	34/230
III.2.1 - Qualidade do Sedimento .....	36/230
III.2.2 - Macrofauna Bentônica.....	40/230
III.3 - HISTÓRICO DA ATIVIDADE .....	41/230
IV - MATERIAL E MÉTODOS .....	44/230
IV.1 - ATIVIDADE DE CAMPO .....	44/230
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO .....	53/230
IV.2.1 -Matéria Orgânica Total (MOT) e Carbono Orgânico Total (COT).....	53/230
IV.2.2 -Carbonatos.....	53/230
IV.2.3 -Granulometria.....	54/230
IV.2.4 -Nitrogênio Total .....	54/230
IV.2.5 -Fósforo Total .....	55/230
IV.2.6 -Metais.....	55/230
IV.2.7 -Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) .....	56/230
IV.2.8 -Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), n-alcanos e Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) .....	57/230
IV.2.9 -Macrofauna Bentônica.....	59/230
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS .....	60/230
IV.3.1 -Qualidade do Sedimento .....	60/230

---

IV.3.2 - Biota Aquática .....	63/230
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	65/230
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA .....	67/230
V - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	69/230
V.1 - QUALIDADE DO SEDIMENTO .....	69/230
V.1.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos .....	69/230
V.1.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total .....	81/230
V.1.3 - Metais .....	93/230
V.1.4 - Hidrocarbonetos .....	125/230
V.2 - MACROFAUNA BENTÔNICA .....	136/230
V.2.1 - Avaliação da Amostragem .....	137/230
V.2.2 - Análise Qualitativa .....	139/230
V.2.3 - Análise Quantitativa .....	142/230
V.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos .....	145/230
V.2.4.1 - MDS e Análise de Cluster .....	157/230
VI - ANÁLISE INTEGRADA .....	160/230
VI.1 - RELAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE MACROZOOBENTOS COM O AMBIENTE .....	160/230
VI.1.1 - Relações entre Granulometria, Matéria Orgânica e Nutrientes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos .....	160/230
VI.1.2 - Relações entre Contaminantes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos .....	164/230
VI.1.3 - Padrão de Relação das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas .....	167/230
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	171/230

---

VIII - BIBLIOGRAFIA.....	177/230
IX - ANEXOS.....	195/230
X - EQUIPE TÉCNICA .....	229/230





**FIGURAS**

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura III.1-1</b> – Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos.	27/230
<b>Figura III.1-2</b> - Seção geológica esquemática da Bacia de Santos.	29/230
<b>Figura III.1-3</b> – Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.	33/230
<b>Figura III.2-1</b> - Localização da área de estudo.	34/230
<b>Figura III.2-2</b> - Localização do poço GH1 e do Campo de Uruguá.	36/230
<b>Figura III.3-1</b> – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço GH1 e os poços interferentes, em um raio de 5 km.	43/230
<b>Figura IV.1-1</b> – Diagrama do MV Fugro Brasilis.	45/230
<b>Figura IV.1-2</b> – Mapa da malha amostral executada para coleta de sedimentos na 2ª campanha de pós-perfuração do poço Uruguá GH1.	47/230
<b>Figura IV.1-3</b> - Box-corer 30 x 30 x 50 cm utilizado na coleta das amostras de sedimento da presente campanha.	49/230
<b>Figura IV.1-4</b> - Esquema de distribuição dos corers no Box-corer (30 x 30 x 50 cm) para subamostragem dos parâmetros solicitados durante a 2ª campanha de pós-perfuração do poço Uruguá GH1.	51/230
<b>Figura V.1-1</b> – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	70/230
<b>Figura V.1-2</b> – Diagrama de Shepard para cada uma das 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos	75/230
<b>Figura V.1-3</b> – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	77/230
<b>Figura V.1-4</b> – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	79/230
<b>Figura V.1-5</b> – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	80/230

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-6</b> – Teores de carbonato (%) observados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	81/230
<b>Figura V.1-7</b> – Concentração média de carbono orgânico total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	84/230
<b>Figura V.1-8</b> – Concentração média de matéria orgânica total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	84/230
<b>Figura V.1-9</b> – Distribuição espacial das concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento de pós-perfuração do Poço GH1, Bacia de Santos.	85/230
<b>Figura V.1-10</b> – Concentrações de carbono orgânico total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	86/230
<b>Figura V.1-11</b> – Concentrações de matéria orgânica total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	87/230
<b>Figura V.1-12</b> – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	88/230
<b>Figura V.1-13</b> – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	90/230
<b>Figura V.1-14</b> – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos	91/230

FIGURA	PÁG.
<b>Figura V.1-15</b> – Concentrações de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	92/230
<b>Figura V.1-16</b> – Concentrações de fósforo total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	93/230
<b>Figura V.1-17</b> – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	95/230
<b>Figura V.1-18</b> – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	96/230
<b>Figura V.1-19</b> – Distribuição espacial das concentrações de alumínio e ferro (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	97/230
<b>Figura V.1-20</b> – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	98/230
<b>Figura V.1-21</b> – Concentrações de alumínio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	99/230
<b>Figura V.1-22</b> – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	100/230
<b>Figura V.1-23</b> – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	101/230

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-24</b> – Distribuição espacial das concentrações de manganês e bário (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos	102/230
<b>Figura V.1-25</b> – Concentrações de manganês (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	103/230
<b>Figura V.1-26</b> – Concentrações de bário (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	104/230
<b>Figura V.1-27</b> – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	105/230
<b>Figura V.1-28</b> – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	106/230
<b>Figura V.1-29</b> – Distribuição espacial das concentrações de zinco e vanádio (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	107/230
<b>Figura V.1-30</b> – Concentrações de zinco (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	108/230
<b>Figura V.1-31</b> – Concentrações de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	109/230
<b>Figura V.1-32</b> – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	110/230

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-33</b> – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	111/230
<b>Figura V.1-34</b> – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	112/230
<b>Figura V.1-35</b> – Distribuição espacial das concentrações de cromo, níquel e cobre (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos	113/230
<b>Figura V.1-36</b> – Concentrações de cromo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	114/230
<b>Figura V.1-37</b> – Concentrações de níquel (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	115/230
<b>Figura V.1-38</b> – Concentrações de cobre (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	116/230
<b>Figura V.1-39</b> – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	117/230
<b>Figura V.1-40</b> – Distribuição espacial das concentrações de chumbo (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos	118/230
<b>Figura V.1-41</b> – Concentrações de chumbo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	119/230

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-42</b> – Concentração média (mg/kg) de HTP's nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento do poço GH1.	127/230
<b>Figura V.1-43</b> – Concentração média (mg/kg) de MCNR nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento do poço GH1.	128/230
<b>Figura V.1-44</b> – Distribuição espacial dos HTP's e MCNR (mg/kg) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento do Poço GH1.	129/230
<b>Figura V.1-45</b> – Concentrações de HTP's (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	130/230
<b>Figura V.1-46</b> – Concentrações de MCNR (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	131/230
<b>Figura V.1-47</b> – Concentração média (mg/kg) de n-alcanos nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento do poço GH1.	132/230
<b>Figura V.1-48</b> – Distribuição espacial dos n-alcanos (mg/kg) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento do Poço GH1.	133/230
<b>Figura V.1-49</b> – Concentrações de n-alcanos (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	134/230
<b>Figura V.2-1</b> – Número cumulativo de taxa por área amostrada encontrado ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	138/230

FIGURA	PÁG.
<b>Figura V.2-2</b> – Box plots representativos dos valores de riqueza (n° de taxa) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	140/230
<b>Figura V.2-3</b> – Porcentagem de riqueza de taxa dos filós bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	141/230
<b>Figura V.2-4</b> – Box plots representativos da densidade (ind./m <sup>2</sup> ) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	144/230
<b>Figura V.2-5</b> – Densidade de organismos (ind./m <sup>2</sup> ) dos filós bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. A barra representa a média das 12 estações ± desvio-padrão.	145/230
<b>Figura V.2-6</b> – Número de taxa dos filós bentônicos nas doze estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase de pós-perfuração). A linha cinza representa a média das estações.	146/230
<b>Figura V.2-7</b> – Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na terceira campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase de pós-perfuração).	147/230
<b>Figura V.2-8</b> – Densidade de organismos (ind./m <sup>2</sup> ) dos filós bentônicos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. A barra representa o total das 3 réplicas.	149/230
<b>Figura V.2-9</b> – Distribuição espacial da densidade total (ind./m <sup>2</sup> ) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase de pós-perfuração).	150/230
<b>Figura V.2-10</b> – Índices ecológicos da comunidade bentônica nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	152/230

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.2-11</b> – Distribuição espacial da diversidade (bits/ind.) da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos	153/230
<b>Figura V.2-12</b> – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	154/230
<b>Figura V.2-13</b> - Box plots representativos da diversidade (bits/ind) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	155/230
<b>Figura V.2-14</b> - Box plots representativos da equitabilidade das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.	156/230
<b>Figura V.2-15</b> – Distâncias obtidas através da matriz de semelhança entre as densidades das 12 estações amostrais geradas pela análise de ordenamento multidimensional para a comunidade bentônica amostrada durante a atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	158/230
<b>Figura V.2-16</b> – Dendrograma da matriz de distâncias comparando as densidades de organismos da comunidade bentônica, observadas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.	159/230
<b>Figura VI.1-1</b> - Análise de componentes principais dos indicadores biológicos de macrozoobentos, sobrepondo-se as variáveis ambientais (granulometria, nutrientes e matéria orgânica) sobre o plano da ACP. Coleta de sedimento da 3ª campanha monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.	163/230
<b>Figura VI.1-2</b> - Análise de componentes principais entre os contaminantes e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.	166/230
<b>Figura VI.1-3</b> - Análise de agrupamento, das 12 estações de amostragem de sedimento da terceira campanha de monitoramento do poço GH1, com base nos dados ambientais e biológicos.	167/230



<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.1-4</b> - Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas dos sedimentos coletados nas estações da terceira campanha monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.	168/230



**TABELAS E QUADROS**

<b>TABELA OU QUADRO</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela III.2-1</b> – Concentrações de COT, MOT, N e P totais encontrados em campanhas anteriores na Bacia de Santos.	38/230
<b>Tabela III.2-2</b> – Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em campanhas anteriores na Bacia de Santos.	38/230
<b>Tabela IV.1-1</b> – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das estações amostrais previstas e reposicionadas da 2ª campanha de pós-perfuração do poço Uruguá GH1.	48/230
<b>Tabela IV.1-2</b> – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das réplicas (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem da 2ª campanha de pós-perfuração do poço GH1.	48/230
<b>Quadro IV.1-1</b> – Parâmetros, frações coletadas, forma de acondicionamento e preservação das amostras no compartimento sedimento e macrofauna bentônica, conforme procedimentos realizados durante a 2ª campanha de pós-perfuração do poço GH1.	52/230
<b>Tabela IV.2-1</b> - Escala de Wentworth utilizada para classificação dos grãos.	54/230
<b>Tabela IV.2-2</b> – Resumo dos métodos utilizados, com os respectivos limites de quantificação e detecção, para os parâmetros analisados nas amostras de sedimento.	58/230
<b>Tabela V.1-1</b> – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas 12 estações de amostragem no entorno do poço GH1, Bacia de Santos.	71/230
<b>Tabela V.1-2</b> – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 12 estações de amostragem no entorno do poço GH1, Bacia de Santos.	72/230
<b>Tabela V.1-3</b> – Análise de variância das frações granulométricas das 12 estações de coleta durante a atual campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase pós-perfuração, 2º retorno). $p < 0,05$ .	77/230
<b>Tabela V.1-4</b> – Concentrações médias de carbonato (%) nas diferentes estações da atual campanha monitoramento ambiental.	78/230
<b>Tabela V.1-5</b> – Concentrações médias de carbono orgânico total e matéria orgânica total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento do Poço GH1.	83/230
<b>Tabela V.1-6</b> – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento.	89/230

<b>TABELA OU QUADRO</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela V.1-7</b> – Concentração média de metais (mg/kg) em cada estação da atual campanha de monitoramento ambiental e valores de referência TEL e PEL	122/230
<b>Tabela V.1-8</b> – Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação.	123/230
<b>Tabela V.1-9</b> - Concentrações de metais pesados (mg/kg) no sedimento amostrado em campanhas anteriores do poço GH1 e do Campo de Uruguá, Bacia de Santos.	124/230
<b>Tabela V.1-10</b> – Concentração média de hidrocarbonetos (mg/kg) e razão MCNR/HRP em cada estação da atual campanha de monitoramento ambiental do poço GH1.	135/230
<b>Tabela VI.1-1</b> - Correlações de Spearman entre dados de granulometria e matéria orgânica e nutrientes e dados de diversidade, equitatividade, riqueza e densidade total de macrozoobentos das amostras de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos. Correlações significativas estão destacadas em vermelho p <0,05	161/230
<b>Tabela VI.1-2</b> - Correlação de Spearman (rho) entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos coletados durante a 3ª campanha de monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.	164/230

---

## ANEXOS

<b>Anexo IX-1 – Cartas de Destinação de Resíduos</b>
<b>Anexo IX-2 – Cartas de Recusa e Aceite de Tombamento</b>
<b>Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos</b>
<b>Anexo IX-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica</b>



## **I - INTRODUÇÃO**

A expansão da exploração de petróleo e gás no Brasil, principalmente após a descoberta das reservas do pré-sal, tem se configurado uma das principais metas de desenvolvimento, por ser essencial para a conquista da autossuficiência energética.

Desta forma, o bom desempenho das atividades petrolíferas em bacias marítimas deve ser induzido e fomentado, garantindo que tais atividades não prejudiquem a disponibilidade e conservação dos recursos ambientais que possuem enorme valor ecológico e econômico. Assim, o monitoramento ambiental de tais áreas produtoras se torna fundamental para garantir a harmonia entre exploração de recursos naturais e preservação ambiental.

Devido ao fato da perfuração de poços produtores de petróleo ser uma fonte potencial de impactos ambientais, e com a finalidade de avaliar e monitorar a qualidade ambiental na região ao redor dos poços perfurados, foi proposta a execução de um Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração (PMAEper), cuja origem se deu no licenciamento ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS).

O projeto consiste na avaliação da qualidade ambiental no entorno de poços representativos, em três momentos: uma campanha anteriormente a perfuração do poço, uma segunda campanha aproximadamente um mês após o término da perfuração e a terceira campanha aproximadamente 6 meses após a segunda. A avaliação ambiental da região é realizada com base em parâmetros físico-químicos do sedimento e parâmetros biológicos da macrofauna bentônica.

O presente documento relata as atividades desenvolvidas durante a realização da 3ª campanha (campanha pós-perfuração, 2º retorno) do poço Uruguá GH1, sendo descritos os procedimentos técnicos realizados em campo, as metodologias de análise e os resultados obtidos para parâmetros físicos e químicos do sedimento e para a macrofauna bentônica. A campanha foi realizada no período de 26 a 29 de dezembro de 2014, a bordo do navio *MV Fugro Brasilis*, para avaliar a região após a perfuração do poço. Seus resultados servirão como

---

dados de base para a comparação dos resultados obtidos anteriormente (campanha de pré-perfuração e campanha de pós-perfuração, 1º retorno).



## **II - OBJETIVOS**

O Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração (PMAEper) da Área Geográfica da Bacia de Santos tem por objetivo avaliar e monitorar a qualidade ambiental da região de entorno de poços de petróleo na AGBS.

O objetivo da campanha em questão foi caracterizar a área no entorno do poço Uruguá GH1, posteriormente a sua perfuração, a fim de se estabelecer um diagnóstico ambiental, considerando um período de médio a longo prazo após o início da atividade.

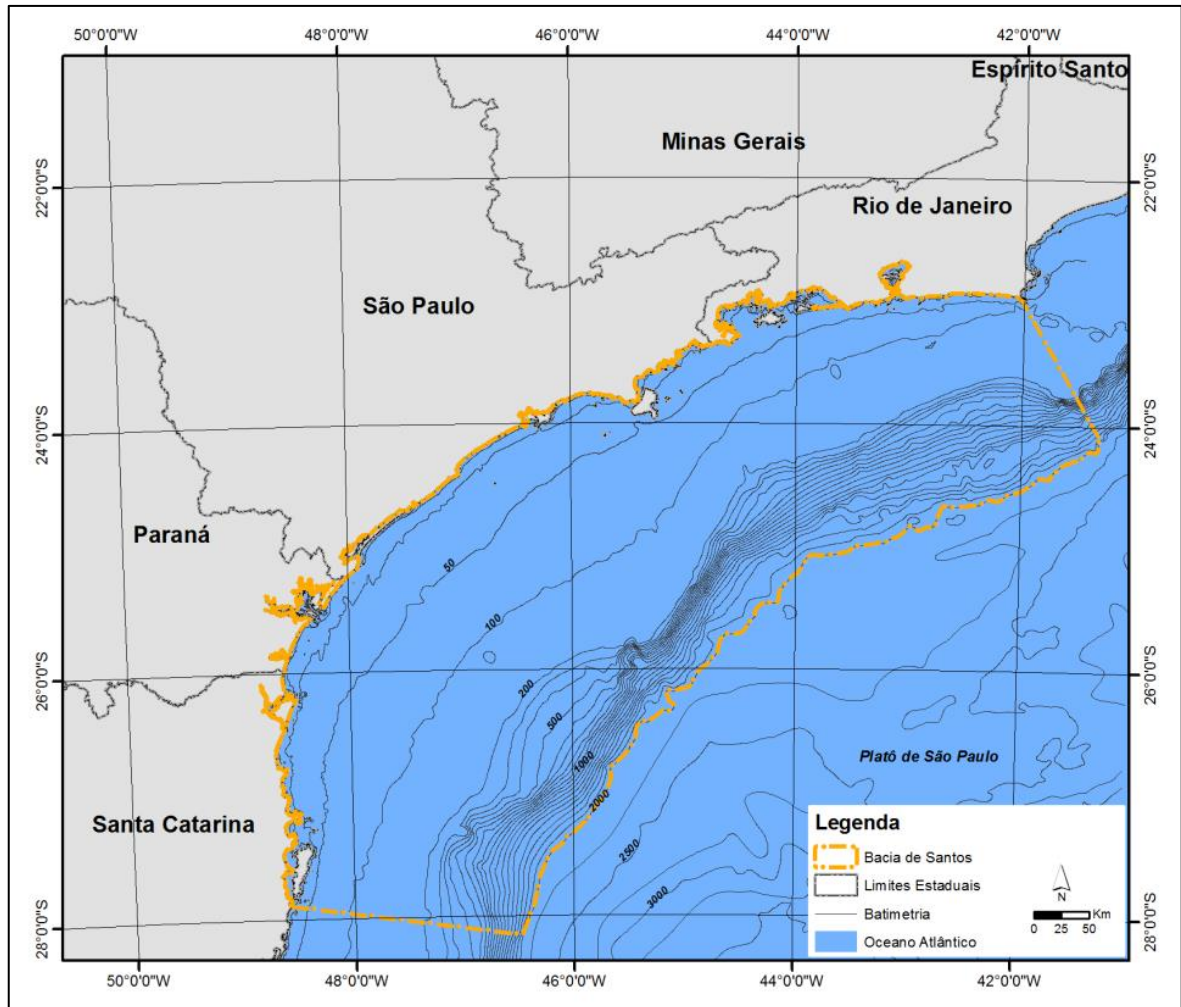
Os objetivos específicos desta campanha de pós-perfuração foram:

- Avaliar as características físico-químicas do sedimento;
- Caracterizar quali-quantitativamente as comunidades bentônicas da região;
- Identificar, descrever e avaliar os impactos oriundos da perfuração do poço, através do acompanhamento e comparação entre os resultados obtidos nas campanhas anteriores.

### **III - ÁREA DE ESTUDO**

#### **III.1 - BACIA DE SANTOS**

A Bacia de Santos (BS) localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 352.000 km<sup>2</sup>, entre os paralelos 23° e 28° Sul. Limita-se ao norte com a Bacia de Campos ao Alto de Cabo Frio, e ao sul com a Bacia de Pelotas ao alto de Florianópolis. A oeste, seu limite é dado pelas serras do Mar, da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca Leste, enquanto que a leste, a Bacia de Santos está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (PORTILHO-RAMOS *et al.*, 2006). A BS tem um formato de lua crescente, ou seja, a plataforma continental é mais estreita nas proximidades de Cabo Frio (50 km) e Cabo de Santa Marta (70 km), onde a isóbata de 200 m, próxima à quebra da plataforma continental, aproxima-se da costa, e mais larga na parte central (230 km), em frente ao litoral de São Paulo, onde aquela isóbata encontra-se mais afastada da linha costeira (SOUZA, 2000) (Figura III.1-1).



**Figura III.1-1** – Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos.

A Bacia de Santos formou-se a partir de processos de rifteamento quando da separação afroamericana, na Era Mesozóico. A deposição de sedimentos ocorreu inicialmente em condições flúvio-lacustres, passando posteriormente pelo estágio de bacia evaporítica e evoluindo até se consolidar como bacia de margem passiva (CHANG *et al.*, 2008).

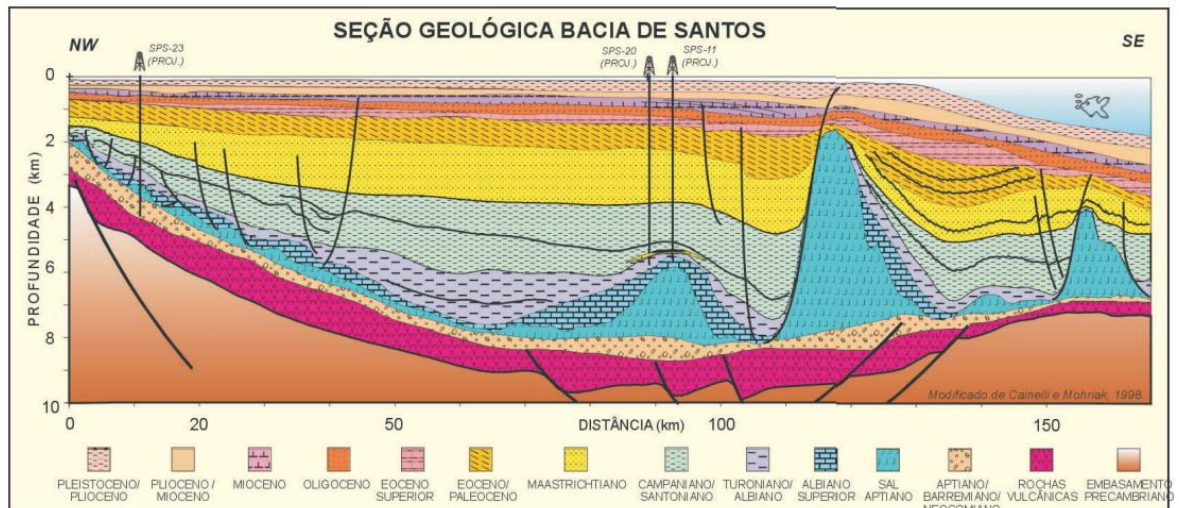
A margem continental sudeste brasileira é caracterizada por feições típicas de uma margem passiva, mas também por estruturas transversais, cujas implicações tectônicas ainda não são completamente conhecidas e por um magmatismo intensificado, relacionado aos inúmeros eventos desde o Mesozóico (STANTON, 2009).

A principal feição fisiográfica da margem sudeste brasileira é o Platô de São Paulo, onde se localiza a Bacia de Santos (BIZZI *et al.*, 2003). Esta feição

apresenta largura entre 125 e 500 km e se estende até a isóbata de 3.000 m, cujas características magnéticas e topográficas representam uma crosta intermediária, constituída por diques basálticos intrudidos em crosta continental distendida (ASMUS, 1984). O limite sul desta feição é a Zona de Fratura de Rio Grande, que coincide com o limite sul da Bacia de Santos (KUMAR e GAMBOA, 1979) enquanto que o limite norte desse platô localiza-se junto à Cadeia Vitória-Trindade, na latitude de 20°S (BIZZI *et al.*, 2003).

De acordo com Bizzi *et al.* (2003), o desenvolvimento de arcabouço tectono-estratigráfico da Bacia de Santos envolveu três megassequências sísmicas. A megassequência sinrifte ou continental, de idade neocomiana/barremiana, registrando-se siliciclásticos grosseiros (Formação Guaratiba) assentados discordantemente sobre rochas vulcânicas, de idade aproximada de 130–120 Ma (PEREIRA E FEIJÓ, 1994 *apud* BIZZI *et al.*, 2003), englobados na Formação Camboriú. A megassequência transicional caracteriza-se pela deposição de siliciclásticos e evaporitos aptianos, depositados acima da discordância *break-up*, em ambiente marinho restrito, registrando-se carbonatos, anidrita e halita na Formação Ariri. A terceira fase tectônica corresponde à megassequência pósrifte ou marinha, associada à subsidência térmica durante a deriva dos continentes, caracteriza-se por depósitos siliciclásticos (Formação Florianópolis) e carbonáticos (Formação Guarujá) de idade eo/meso-albiana, que posteriormente foram recobertas por sistemas transgressivos clástico/carbonáticos (Formação Itanhaém) do Neo-Albiano ao Eo/Cenomaniano (PEREIRA *et al.*, 1986).

A Figura III.1-2 apresenta uma seção geosísmica esquemática da Bacia de Santos, na região do campo de Merluza, situado a cerca de 180 km da costa do município de Santos, no litoral de São Paulo, mostrando sequências estratigráficas sinrifte e pós-rifte e diápiros de sal próximos da quebra da plataforma continental.



Fonte: Bizzi et al. (2003).

**Figura III.1-2 - Seção geológica esquemática da Bacia de Santos.**

Análises sismo-estratigráficas para interpretação de sistemas deposicionais, com ênfase à exploração de petróleo, foram feitas por Brown & Fischer (1977). Essa análise foi complementada por técnicos da Petrobras, com a integração de dados geofísicos e geoquímicos para um modelo geológico da plataforma sul, visando objetivos favoráveis à prospecção de hidrocarbonetos. Trabalhos similares também foram feitos na tentativa de elucidar a evolução tecno-sedimentar da plataforma continental sul-brasileira, por meio de dados sísmicos e de poços. A halocinese foi o principal agente causador das estruturas adiastróficas que modelaram a seção pós-rifte da Bacia de Santos. Essas estruturas apresentam importante influência nas acumulações de petróleo, especialmente com relação à migração e à geração de trapas (GONÇALVES *et al.*, 1979).

Pereira & Macedo (1990) apresentaram um panorama geral da Bacia de Santos e destacaram a Formação Guaratiba como a principal rocha geradora de hidrocarbonetos. Posteriormente o trabalho de Chang *et al.* (2008), mostrou que na Bacia de Santos ocorrem dois intervalos geradores de hidrocarbonetos: a porção superior da Formação Guaratiba e a porção inferior da Formação Itajaí-Açu. Segundo estes autores, na formação Guaratiba os óleos de origem salina foram gerados a partir de rochas depositadas em ambiente lacustre salino (Formação Guaratiba), durante o Aptiano (andar Alagoas), no estágio final da fase rifte (sin-rifte III), quando o sistema de lagos passou a receber influência de águas

salinas provindas do sul, tornando-se salinizado em função do incremento de aridez no final do Cretáceo Inferior. Enquanto que na porção inferior da Formação Itajaí-Açu a deposição ocorreu em ambiente marinho anóxico, durante o Cenomaniano/Meso-Turoniano, período correlacionável ao segundo evento anóxico do Cretáceo.

Tratando-se da granulometria, há um predomínio das frações sedimentares mais finas e as frações lamosas estão associadas às variações batimétricas (da quebra do talude ao assoalho oceânico). Silte e argila predominam em 90% da Bacia e as areias predominam nos 10% restantes. Existem também, na plataforma externa se estendendo até o talude, faixas recobertas por sedimentos carbonáticos biogênicos (biolitoclásticos, litobioclásticos e bioclásticos), sendo, portanto, os teores de carbonato muito variáveis (0,1 – 97%) (PETROBRAS/ICF, 2010).

No Oceano Atlântico Sudoeste, a circulação geral é caracterizada pelo fluxo da Corrente do Brasil, de origem tropical, com sentido para sul, e pelo fluxo oposto da Corrente das Malvinas, de origem subantártica.

A Corrente do Brasil (CB) é a corrente de contorno oeste do Giro Subtropical do Atlântico Sul. Ela se origina próximo aos 10°S, a partir da bifurcação do ramo mais setentrional da Corrente Sul Equatorial (CSE) e carrega águas quentes e oligotróficas em direção às altas latitudes. Imediatamente ao sul de Cabo Frio, a mudança na orientação da linha da costa de NE-SW para E-W, faz com que a CB gire ciclonicamente para oeste, aproximando-se da quebra da plataforma continental, como consequência da conservação da vorticidade potencial (SOUZA, 2000). Nesta região, a CB penetra na plataforma continental cruzando as isóbatas quase perpendicularmente e após isso, gira anticlonicamente para sudoeste (TCHERNIA, 1980). Influenciada pelo sistema de ventos prevalecente e pela rotação da Terra, a CB tende a defletir para leste, à medida que a corrente segue para o sul, acompanhando a linha de quebra da plataforma. Essa tendência é acentuada e ao redor de 35-38°S, onde se encontra com a Corrente das Malvinas, criando uma região com fortes gradientes térmicos, conhecida como Convergência Subtropical (LEGECKIS & GORDON, 1982; OLSON *et al.*, 1988) e sua componente na direção leste se torna mais e mais marcante, até a CB se separar da costa e formar a Corrente do Atlântico Sul (TCHERNIA, 1980).

Campos *et al.* (1995) forneceram estimativas de transporte para a CB dentro da Bacia de Santos, através de dados hidrográficos com alta resolução horizontal e estimaram o transporte da CB em 7,5 Sv. A CB dentro da Bacia de Santos se estende em média até 750 m de profundidade.

O fluxo da Corrente do Brasil ocorre na direção SW ao longo da Bacia de Santos durante todo o ano. Entretanto, no verão a CB se apresenta mais intensa, e contínua, com velocidades médias de até 0,8 m/s no norte da BS, enquanto que no inverno a CB encontra-se mais afastada da costa, com velocidades médias abaixo de 0,5 m/s (PETROBRAS/ICF, 2010).

Com relação às massas d'água, cinco delas podem ser observadas na região:

- Água Costeira (AC): origina-se da mistura entre águas costeiras de origem continental e as águas de plataforma. É caracterizada por valores de salinidade baixos (REZENDE, 2003);
- Água Tropical (AT): flui para S/SW na camada superficial da Corrente do Brasil (0-200 m), ao longo do talude continental e próximo à quebra da plataforma continental. Apresenta baixas concentrações de nutrientes e oxigênio dissolvido. A AT é definida por temperatura e salinidade superiores a 20 °C e 36,4, respectivamente (MIRANDA, 1982);
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS): subjacente a AT, é também transportada para S/SW pela Corrente do Brasil entre 200 e 500 m de profundidade, ao longo do talude continental e próximo à quebra da plataforma continental. É uma massa d'água rica em nutrientes inorgânicos com maiores concentrações de oxigênio. A ACAS é definida por temperatura e salinidade inferiores a 20 °C e 36,4, respectivamente (MIRANDA, 1982, REZENDE, 2003).
- Água Intermediária Antártica (AIA): Os estudos de Müller *et al.* (1998) fornecem o padrão em mesoescala da bifurcação do fluxo da AIA ocorrendo dentro da Bacia de Santos, onde move-se em direção ao equador ao norte de 25°S, enquanto apresenta-se como uma corrente de contorno oeste bem definida, em níveis subpicnoclínicos, fluindo para o sul em 28°S. Boebel *et al.* (1999) observaram que o eixo da bifurcação da AIA ocorre à longitude de Santos, mas com o eixo da divergência ocorrendo

praticamente paralelo ao talude em torno de 28°S. O escoamento associado à AIA, denominada de Corrente de Contorno Oeste Intermediária pelos autores, fluiria praticamente para o norte no interior da Bacia de Santos. Os limites termohalinos da AIA são 3° - 6°C para temperatura e 34,2 - 34,6 para salinidade, sendo demarcada pelo mínimo de salinidade no diagrama T-S (MÜLLER *et al.*, 1998).

- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN): Subjacente à AIA, a APAN apresenta temperaturas entre 3°C - 4°C e salinidades entre 34,6 - 35, ocupando níveis entre 1500 e 3000 m, fluindo para o sul ao longo do contorno oeste, ao largo do sudeste brasileiro, até cerca de 32°S. É formada no Hemisfério Norte na junção das Correntes da Groelândia e Labrador (SILVEIRA *et al.*, 2000).

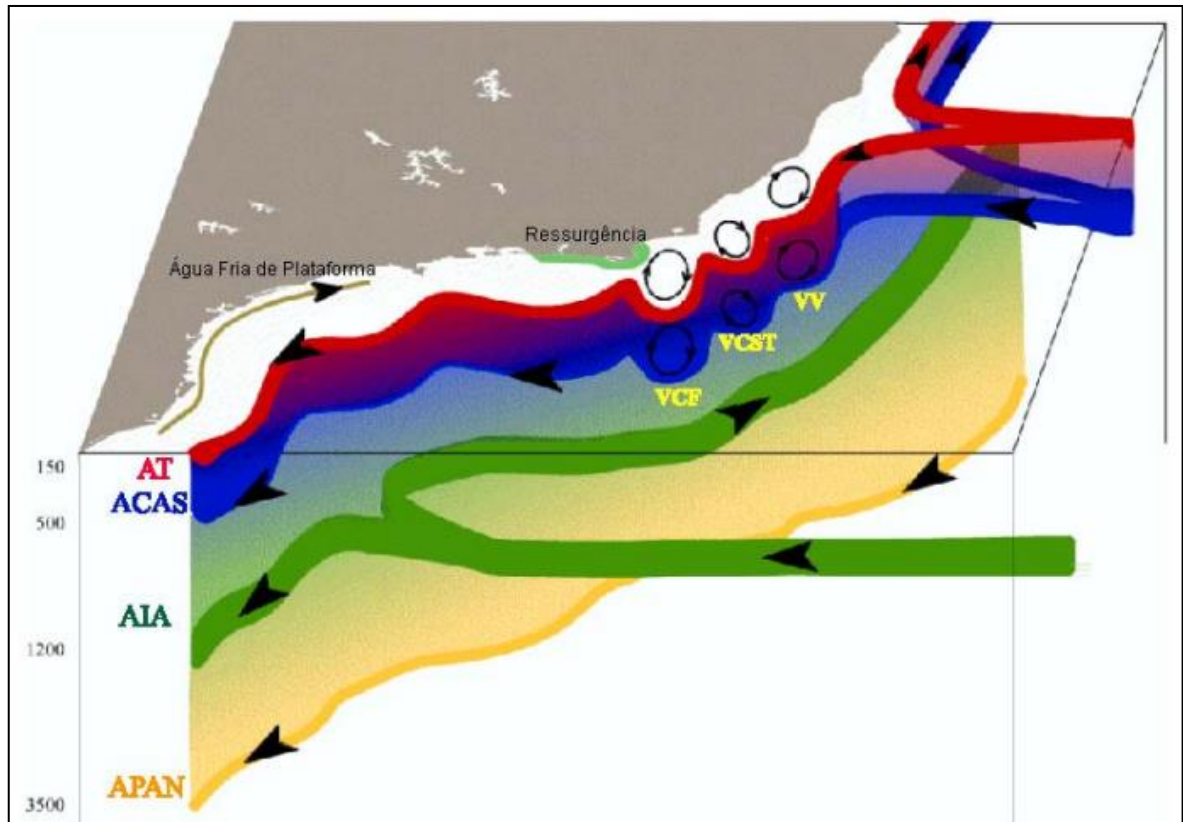
Na Figura III.1-3 é apresentada uma representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil. Observam-se as correntes de contorno, sua atividade de mesoescala e as massas d'água transportadas por elas. Em vermelho está a Água Tropical (AT), ocupando a camada mais superficial, indo até 150 m de profundidade. Logo abaixo encontra-se a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), em azul, ocupando a lâmina d'água até aproximadamente 500 m. Em seguida encontra-se a Água Intermediária Antártica (AIA), em verde, até aproximadamente 1.200 m. A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), em amarelo, é a massa d'água mais profunda, encontrada a 3.500 m de profundidade (GODOI, 2005).

A análise do regime de ondas na BS mostra que a direção média se concentra entre E, SE e S. Enquanto que as ondulações de *swell* tem origem predominante de leste (entre 45 e 135°), ondas de sul são, também, frequentes. Para o *wind sea*, percebe-se uma inversão na importância das direções principais, sendo sul a que possui maior ocorrência, seguida de leste (PETROBRAS/ICF, 2010).

Petrobras/ICF (2010) verificaram que existem duas direções predominantes para as maiores ondas, ENE e SSW. A altura significativa é, em média, de 1,5 m, mas alturas de até 3,5 m são observadas com frequência, sendo que as maiores alturas estão associadas ao quadrante SE. A maioria dos registros para ondas do tipo *swell* são provenientes de E (45,5 %), com alturas entre 0 a 1 m (67,8 %) e períodos entre 7 e 10s (73,3%). De maneira geral, as ondas do tipo *wind sea*



apresentaram maiores alturas, associadas a menores períodos de ondas, entre 0,5 e 1,5 m (52,8 %), provenientes de S (38,6 %), e entre 5 e 8 s (79,6 %).



Fonte: Godoi (2005).

**Figura III.1-3** – Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.

Com relação à caracterização meteorológica, a Bacia de Santos está localizada em uma região tropical e subtropical, onde as temperaturas oscilam entre 1 e 20 °C no inverno e mantêm uma média de 25 °C durante o verão. Em geral, as águas sobre a Corrente do Brasil apresentam temperaturas cerca de 1 a 3 °C mais elevadas em relação à costa. A pressão de vapor varia de 15 a 27 mb ao longo do ano e a umidade relativa gira em torno de 83%. A direção do vento predominante é NE, com tempestades raras ao longo do ano e com cobertura média de nuvens de 55%. A frequência média de precipitação é de 5%, com a quantidade de chuva variando de 50 a 200 mm/mês. Além disso, a Bacia de Santos está suscetível aos sistemas meteorológicos frontais do Sul, que influenciam diretamente as correntes superficiais (PETROBRAS/ICF, 2010).

### III.2 - CAMPO DE URUGUÁ

O campo de Uruguá localiza-se na região sul da Bacia de Santos, aproximadamente 80 milhas náuticas ao sul da cidade do Rio de Janeiro/RJ e foi descoberto em junho de 2003, com a perfuração do poço 1-RJS-587 em lâmina d'água de 1.391 m, no antigo bloco exploratório BS-500 (Figura III.2-1).

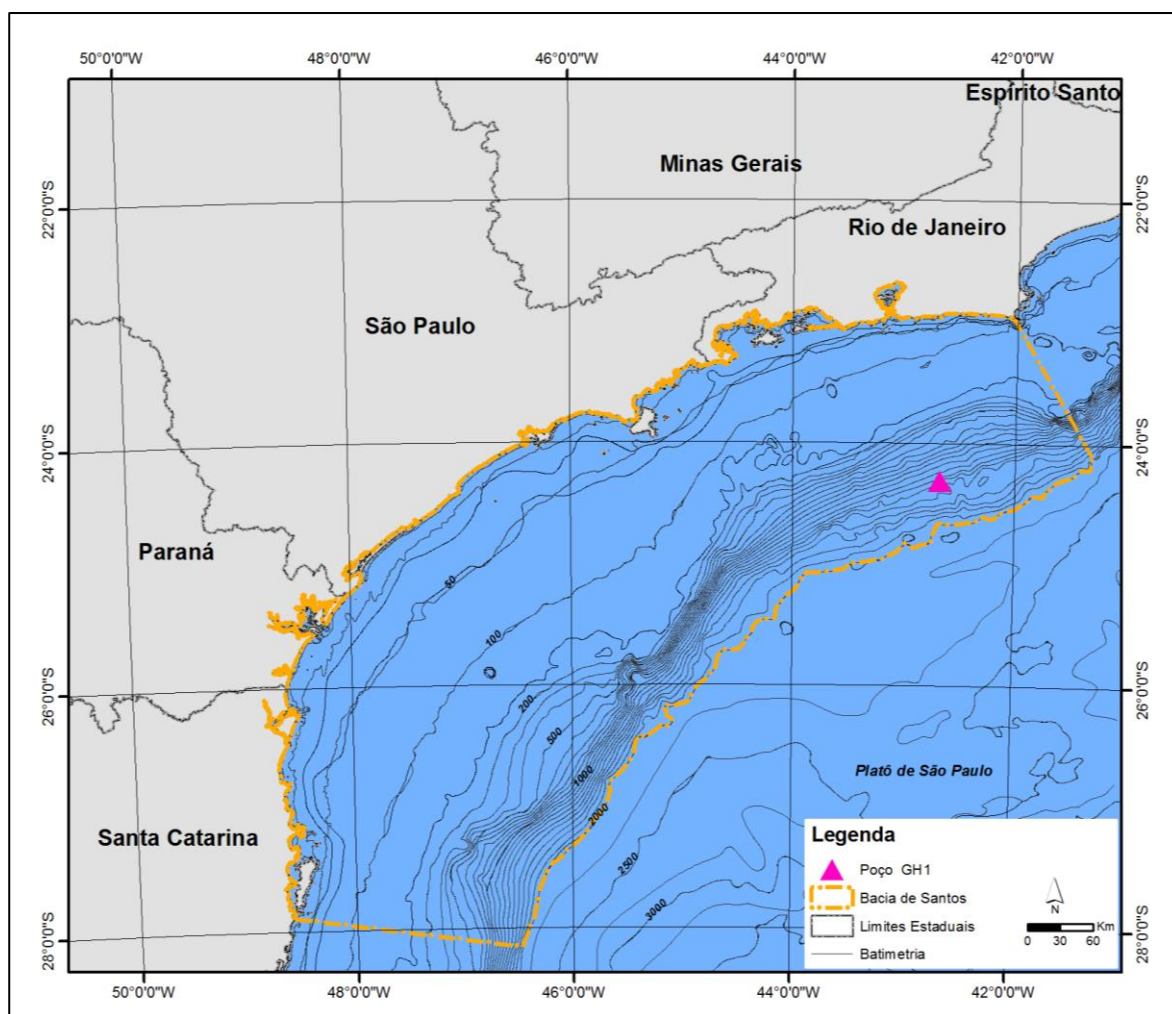


Figura III.2-1 - Localização da área de estudo.

Considerando que este relatório se refere à campanha de pós-perfuração do poço GH1, apresenta-se a seguir uma sucinta caracterização ambiental da área de estudo baseada em bibliografia disponível para a região. Esta caracterização objetiva descrever os padrões de *background* para fins de comparação com os resultados apresentados neste relatório. Os dez principais estudos utilizados

nesta caracterização foram o Estudo de Impacto Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo elaborado para a implantação do empreendimento no Polo BS-500, Bacia de Santos (PETROBRAS/ENSR-AECOM, 2007), os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das sete primeiras campanhas de monitoramento (setembro/2009, janeiro/2010, dezembro/2010 e janeiro/2011, novembro/2011, dezembro/2012, janeiro/2014, fevereiro/2015) do Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2015a, 2016), os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental da primeira (janeiro/2013) e da segunda campanha (janeiro/2014) de monitoramento do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (campanha de pré-perfuração e campanha de pós-perfuração, 1º retorno) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b) e o Relatório Ambiental da Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). Para a caracterização deste relatório foram utilizados somente os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das três primeiras campanhas de monitoramento, pois somente nessas campanhas houve amostragem de sedimento e de bentos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012). Importante destacar que o monitoramento do Campo de Uruguá é realizado a partir de dados primários coletados a cerca de 4,1 km a noroeste da área onde será perfurado o poço GH1 (Figura III.2-2). Também é importante ressaltar que as cinco últimas campanhas de monitoramento do Campo de Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2015a, 2016) foram realizadas quando já havia um empreendimento instalado e operando na área, portanto, já havia uma fonte de impacto e os dados não podem ser considerados como representativos de um meio prístino.

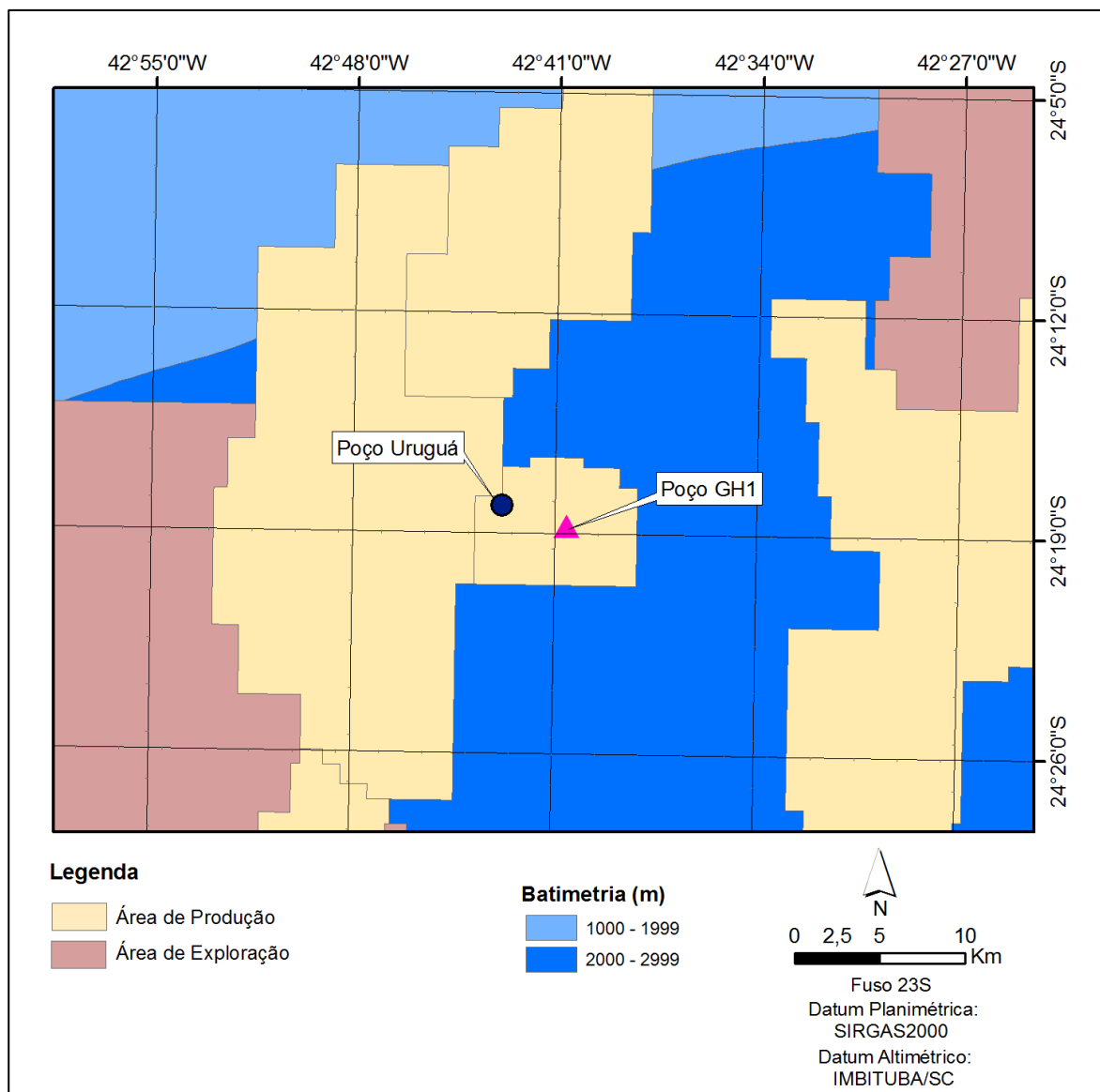


Figura III.2-2 - Localização do poço GH1 e do Campo de Uruguá.

### III.2.1 - Qualidade do Sedimento

As variações dos sedimentos que compõem o fundo marinho são produto de processos geológicos e físicos, químicos e biológicos. Estas variações ocorrem de forma espacial e temporal, em escalas distintas. Com isso, os tipos de grãos encontrados, seu grau de selecionamento, teor de carbonato, diâmetro médio e outras características sedimentares são produto dos múltiplos processos atuantes no meio (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

A BS apresenta, de forma geral, predominância de sedimentos de granulometria fina, onde a fração lamosa está diretamente associada a alterações batimétricas. No entanto, na plataforma interna observa-se uma tendência de aumento da granulometria do sedimento (PETROBRAS/ICF, 2010). O estudo de caracterização da Bacia de Santos mostrou um predomínio de silte e argila (90,1% das amostras), sendo 89,2%, compostas por silte e 0,9% de argila (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

Nas campanhas de monitoramento do Polo de Uruguá, observa-se que a fração granulométrica predominante nas três primeiras campanhas foi silte na maioria das estações amostradas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012). Já na primeira campanha de monitoramento do poço GH1, a fração dominante foi areia muito fina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b), enquanto que na segunda campanha, a predominância foi de silte (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). De forma geral, observa-se que os sedimentos na região de estudo apresentam um pobre selecionamento granulométrico, característica comum em ambientes de pouca energia tais como regiões oceânicas, com maior participação das frações mais finas, sugerindo a inexistência de um mecanismo de transporte eficiente, resultando numa tendência deposicional dos grãos.

Os teores de carbonatos ao contrário, apresentaram significativa variação entre as campanhas de monitoramento já realizadas no Polo de Uruguá. Na primeira campanha de monitoramento em 2009 os valores de carbonato estiveram entre 6,54% e 65,81%, na segunda entre 7,52% e 38,43% e na terceira campanha, o teor de carbonatos variou entre 12,88% e 77,10%. Já na primeira campanha de monitoramento do poço GH1, os resultados variaram entre 14,13% e 17,00% e na segunda campanha variaram entre 16,80% e 20,13%.

A Tabela III.2-1 apresenta a síntese dos resultados obtidos para carbono orgânico total (COT), matéria orgânica total (MOT), nitrogênio total e fósforo total nas três campanhas de monitoramento realizadas no Polo de Uruguá e para as duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1. As concentrações de MOT e COT variaram entre 0,17 e 3,90% e 0,05 e 1,93%, respectivamente. Já as concentrações de nitrogênio total e fósforo total variaram entre 232,90 e 5.430,88 mg/kg e 71,70 e 1.882,38, respectivamente. De maneira geral, as menores

concentrações foram encontradas nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1 e de Uruguá e as maiores na terceira campanha de Uruguá.

**Tabela III.2-1** – Concentrações de COT, MOT, N e P totais encontrados em campanhas anteriores na Bacia de Santos.

Campanha	MOT		COT		Nitrogênio total		Fósforo total	
	(%)		(%)		(mg/kg)		(mg/kg)	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
<b>C1 URG<sup>1</sup></b>	0,65	1,69	0,38	0,98	1.220,82	3.143,34	303,28	942,52
<b>C2 URG<sup>2</sup></b>	0,73	1,99	0,42	1,15	243,88	5.430,88	479,87	1.526,52
<b>C3 URG<sup>3</sup></b>	1,22	3,33	0,71	1,93	1.112,88	3.609,30	280,50	1.882,38
<b>C1 GH1<sup>4</sup></b>	0,17	0,94	0,05	0,23	376,87	968,27	210,00	443,67
<b>C2 GH1<sup>5</sup></b>	2,61	3,90	0,10	1,21	232,90	407,43	71,70	87,17

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010a); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2010b), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2012), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014b) e 5 = Petrobras/Bourscheid (2015b).

Com relação aos metais, observa-se que, de forma geral, as concentrações destes parâmetros seguem a distribuição esperada para ambientes naturais (LACERDA; MARINS, 2006), obedecendo a seguinte classificação: Fe > Al > Mn > Ba > Zn > V > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd > Hg (Tabela III.2-2).

**Tabela III.2-2** – Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em campanhas anteriores na Bacia de Santos.

Metal	Bacia de Santos <sup>1</sup>		C1 URG <sup>2</sup>		C2 URG <sup>3</sup>	
	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)
<b>Al</b>	850,00	58.860,00	6.861,00	34.500,00	9.957,00	20.023,00
<b>Ba</b>	11,50	291,22	26,00	225,00	18,95	156,88
<b>Cd</b>	0,00	0,00	0,11	1,96	n.d.	0,22
<b>Cr</b>	4,12	48,39	8,00	26,00	13,84	27,53
<b>Cu</b>	0,00	28,40	6,00	17,00	3,55	18,71
<b>Fe</b>	1.300,00	243.510,00	143,00	23.595,00	11.477,00	29.263,00
<b>Hg</b>	nd	nd	0,04	1,08	n.d.	0,19
<b>Mn</b>	30,30	4.317,00	131,00	686,00	161,36	1.059,00
<b>Ni</b>	0,00	36,24	4,00	15,00	8,57	19,79
<b>Pb</b>	0,00	146,67	5,00	21,00	6,01	10,53
<b>V</b>	0,00	188,51	12,00	71,00	20,18	51,12
<b>Zn</b>	0,00	435,69	14,00	42,00	9,98	35,65

(Continua)

(Continuação Tabela III.2-2)

Metal	C3 URG <sup>4</sup>		C1 GH1 <sup>5</sup>		C2 GH1 <sup>6</sup>	
	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)
Al	11.969,33	35.073,77	6.496,67	20.566,67	4.996,67	6.170,00
Ba	12,72	176,30	146,00	723,33	240,33	1.337,00
Cd	nd	0,29	nd	nd	nd	nd
Cr	13,94	38,80	9,72	22,20	13,10	17,57
Cu	4,05	26,88	9,10	12,43	8,86	9,87
Fe	15.398,11	49.147,36	8.610,00	16.166,67	9.230,00	10.573,33
Hg	nd	0,81	nd	Nd	nd	nd
Mn	106,58	1.133,94	480,67	630,00	418,67	546,67
Ni	6,66	23,16	11,07	16,77	11,43	13,57
Pb	4,09	11,67	0,83	4,01	nd	1,25
V	22,98	53,28	21,90	40,27	20,30	25,43
Zn	18,49	63,05	25,53	42,87	29,33	54,23

Fonte: 1. Petrobras, 2002 / 2. Petrobras/Analytical Solutions, 2010a / 3. Petrobras/Analytical Solutions, 2010b / 4. Petrobras/Analytical Solutions, 2012 / 5. Petrobras/Bourscheid, 2014b / 6. Petrobras/Bourscheid (2015b).

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos apresentam concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) que variam entre 0,07 e 284,61 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). O estudo realizado por Petrobras/Analytical Solutions (2002), na Bacia de Santos, encontrou concentrações de HTP's entre 2,27 mg/kg a 10,83 mg/kg. PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS (2002) também mostraram um aumento nos níveis de HTP's nos sedimentos mais próximos à costa, onde as concentrações variam de 0,40 até 127,60 mg/kg (média de 6,76 mg/kg  $\pm$ 14,16 mg/kg).

As concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) observadas em campanhas na região apresentaram valores entre 0,0002 e 0,13 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002) e 0,0008 mg/kg e 1,0215 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012). No entanto, também há registros em que na maioria dos pontos amostrados a concentração de HPA's não superou o limite de detecção do método de análise (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). Já para os parâmetros de mistura complexa não resolvida (MCNR) e n-alcanos, todas as concentrações estiveram abaixo do limite de

detecção dos métodos de análise em laboratório, exceto nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1. Nessas campanhas foram encontradas concentrações de MCNR variando entre não detectado e 247,47 mg/kg e de n-alcenos variando entre não detectado a 58,94 mg/kg.

### **III.2.2 - Macrofauna Bentônica**

A comunidade bentônica da primeira campanha de monitoramento do Polo Uruguá foi composta por 101 taxa, distribuídos em diversos grupos: Aciculata, Canalipalata, Cumacea, Decapoda, Dentallida, Dorvilleida, Golfingiformes, Heterostropha, Isopoda, Myoidea, Mytiloidea, Neogastropoda, Neotaenioglossa, Nuculoloida, Ophiurida, Palpata, Pantopoda, Phascolosomatiformes, Pholadomyoidea, Polychaeta, Tanaidacea e Veneroidea. A riqueza específica variou entre 14 e 39 taxa. Em geral, a ordem Aciculata foi responsável pelo maior número de taxa, seguida pela ordem Canalipalata e pela classe Polychaeta (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a).

A densidade variou entre 41,33 e 302,33 ind./m<sup>2</sup>, com evidente dominância numérica de Canalipalata, seguido por Aciculata e Amphipoda. O índice de diversidade variou de 2,32 a 3,24 bits/ind, enquanto que a equitabilidade variou de 0,78 a 0,95 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a).

Em relação à segunda campanha de monitoramento do Polo Uruguá, foram encontrados 64 taxa, pertencentes a sete filos: Nematoda, Annelida, Mollusca, Bryozoa, Sipuncula, Crustacea e Echinodermata. A riqueza específica apresentou valor mínimo igual a 14 taxa e máximo de 50 taxa. O filo Mollusca e Annelida foram os que contribuíram com o maior número de taxa, sendo assim os que apresentam a maior riqueza. O filo Sipuncula foi o que apresentou menor contribuição (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010b).

A densidade de organismos variou entre 135 e 1.508 ind./m<sup>2</sup>. Os filos com maior densidade foram Annelida e Mollusca. O índice de diversidade variou entre 3,2 e 5,9 bits/ind e a equitabilidade variou entre 0,7 a 1,0 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010b).

Na terceira campanha de monitoramento do Polo Uruguá foram registrados 106 taxa, os quais se distribuíram nos seguintes sete filos: Annelida, Arthropoda,



Bryozoa, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca e Sipuncula. Em relação à riqueza, essa obteve valor mínimo igual a 21 taxa e máximo igual a 43 taxa. O filo Annelida, Mollusca e Arthropoda foram os que contribuíram com o maior número de espécies, enquanto os filios Bryozoa, Cnidaria, Echinodermata e Sipuncula apresentaram menor contribuição (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012).

A densidade variou entre 1.400 e 3.100 ind./m<sup>2</sup>, com maior contribuição dos filios Mollusca e Annelida. A diversidade variou entre 0,90 e 1,25 bits/ind e a equitabilidade entre 0,90 e 0,97 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012).

Na primeira campanha de monitoramento do poço GH1 foram registrados 31 taxa, distribuídos em seis filios: Annelida, Arthropoda, Nematoda, Nematomorpha, Nemertini e Sipuncula. A riqueza variou entre 4 e 14 taxa. Os filios Annelida e Arthropoda foram os que contribuíram com o maior número de taxa (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b).

A densidade variou entre 309 e 1.594 ind./m<sup>2</sup>, com maiores densidades para os filios Annelida, Nematoda e Nemertini. O índice de diversidade variou entre 0,58 e 1,65 bits/ind e a equitabilidade entre 0,57 e 0,97 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b).

Na segunda campanha de monitoramento do poço GH1 foram registrados 30 taxa, distribuídos em sete filios: Mollusca, Sipuncula, Platyhelminthes, Nemertini, Arthropoda, Annelida e Nematoda. A riqueza variou entre 4 e 12 taxa. Os filios Annelida e Arthropoda foram os que contribuíram com o maior número de taxa (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).

A densidade variou entre 88,33 e 324 ind./m<sup>2</sup>, com maiores densidades para os filios Annelida, Arthropoda e Nematoda. O índice de diversidade variou entre 0,19 e 1,46 bits/ind e a equitabilidade entre 0,26 e 1,00 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).

### **III.3 - HISTÓRICO DA ATIVIDADE**

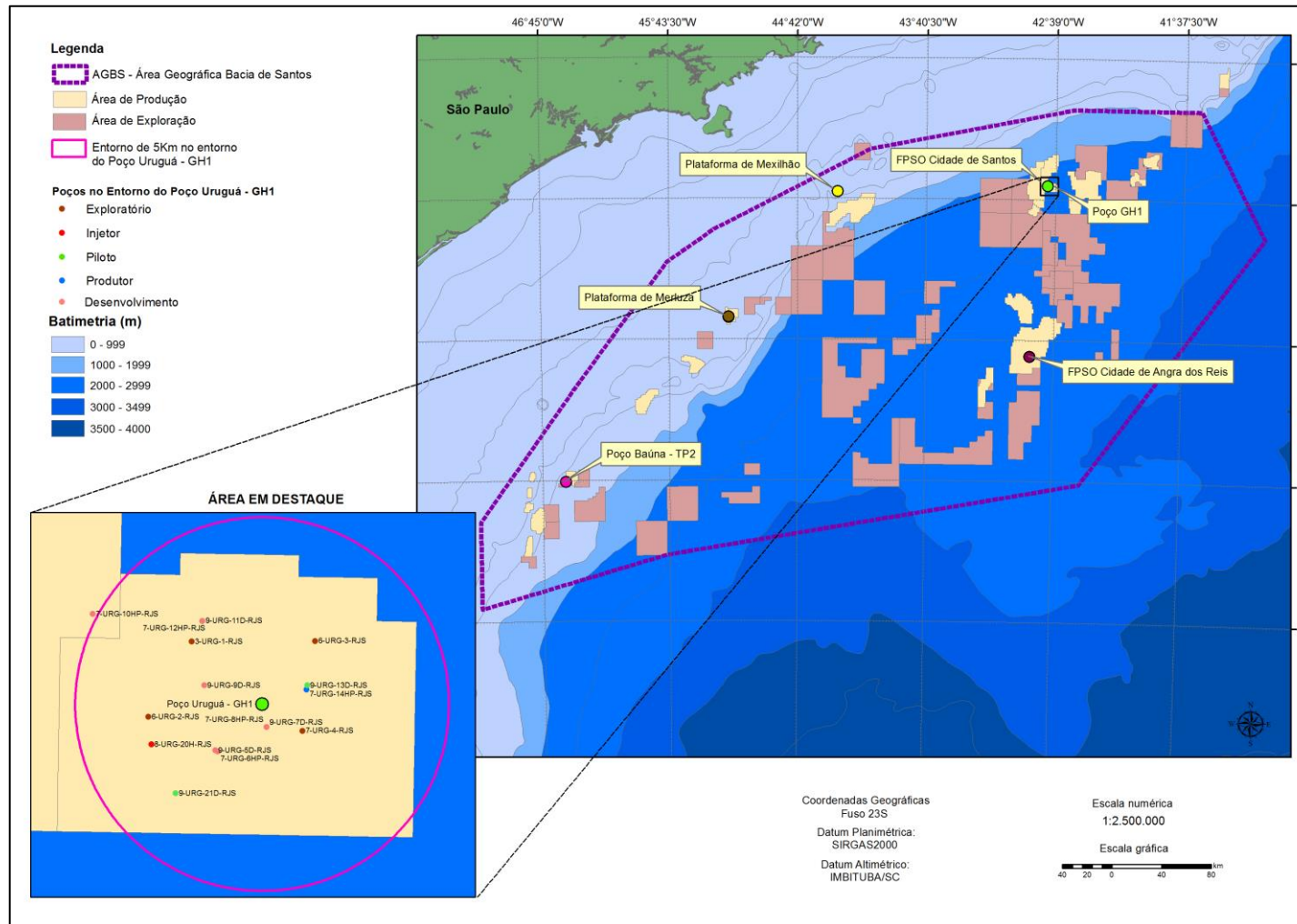
A Petrobras conta, atualmente, com uma licença ambiental para perfuração de 120 poços por ano na área denominada Área Geográfica Bacia de Santos

(AGBS). Esta área é constituída pelos campos explorados pela Petrobras e áreas de concessão para exploração, com a extensão de 40.663 km<sup>2</sup> em lâmina d'água de até 2.500 metros. Conforme acordado com o órgão ambiental licenciador, e conforme descrito no Estudo de Impacto Ambiental para a Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica Bacia de Santos (PETROBRAS/ICF/BMA, 2006), foi estabelecida, como medida de monitoramento ambiental da atividade de perfuração, a necessidade de realização do monitoramento da qualidade do sedimento e comunidade bentônica no entorno de dois poços representativos por ano, sendo o poço GH1 um dos poços selecionados para o primeiro ano do projeto.

O poço GH1, perfurado no atual Campo de Uruguá, integra o sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo no Polo Uruguá (Bloco. BS-500). Os dados iniciais apresentavam perspectivas de produção de 20Mm<sup>3</sup>/d de gás e de 150 a 200 mil bpd de óleo. O Campo de Uruguá situa-se ao largo do estado do Rio de Janeiro e foi descoberto em junho de 2003, com a perfuração do poço 1-RJS-587 em lâmina d'água de 1.391 m, no chamado Bloco exploratório BS-500. A operação do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo no Polo Uruguá (Bloco BS-500) teve início em 07/2010. A produção a plena capacidade é de 10 milhões de metros cúbicos por dia de gás natural e 35 mil bpd de petróleo.

Outras perfurações também já foram realizadas na área. No entorno do Poço GH1, em um raio de 5 km, existem dezessete poços: 6-URG-3-RJS, 6-URG-2-RJS, 7-URG-4-RJS, 9-URG-5D-RJS, 9-URG-7D-RJS, 7-URG-8HP-RJS, 7-URG-6HP-RJS, 9-URG-9D-RJS, 7-URG-10HP-RJS, 9-URG-11D-RJS, 7-URG-12HP-RJS, 3-URG-1-RJS, 7-URG-14HP-RJS, 9-URG-13D-RJS, 8-URG-20H-RJS, 9-URG-15D-RJS e 9-URG-21D-RJS (Figura III.3-1).

Os poços 6-URG-3-RJS, 6-URG-2-RJS, 7-URG-4-RJS e 3-URG-1-RJS são exploratórios, enquanto os poços 9-URG-5D-RJS, 9-URG-7D-RJS, 7-URG-8HP-RJS, 7-URG-6HP-RJS, 9-URG-9D-RJS, 7-URG-10HP-RJS, 9-URG-11D-RJS e 7-URG-12HP-RJS são de desenvolvimento. O poço 7-URG-14HP-RJS é produtor, os poços 9-URG-13D-RJS, 9-URG-15D-RJS e 9-URG-21D-RJS são piloto e o poço 8-URG-20H-RJS é injetor (dados fornecidos pela PETROBRAS).



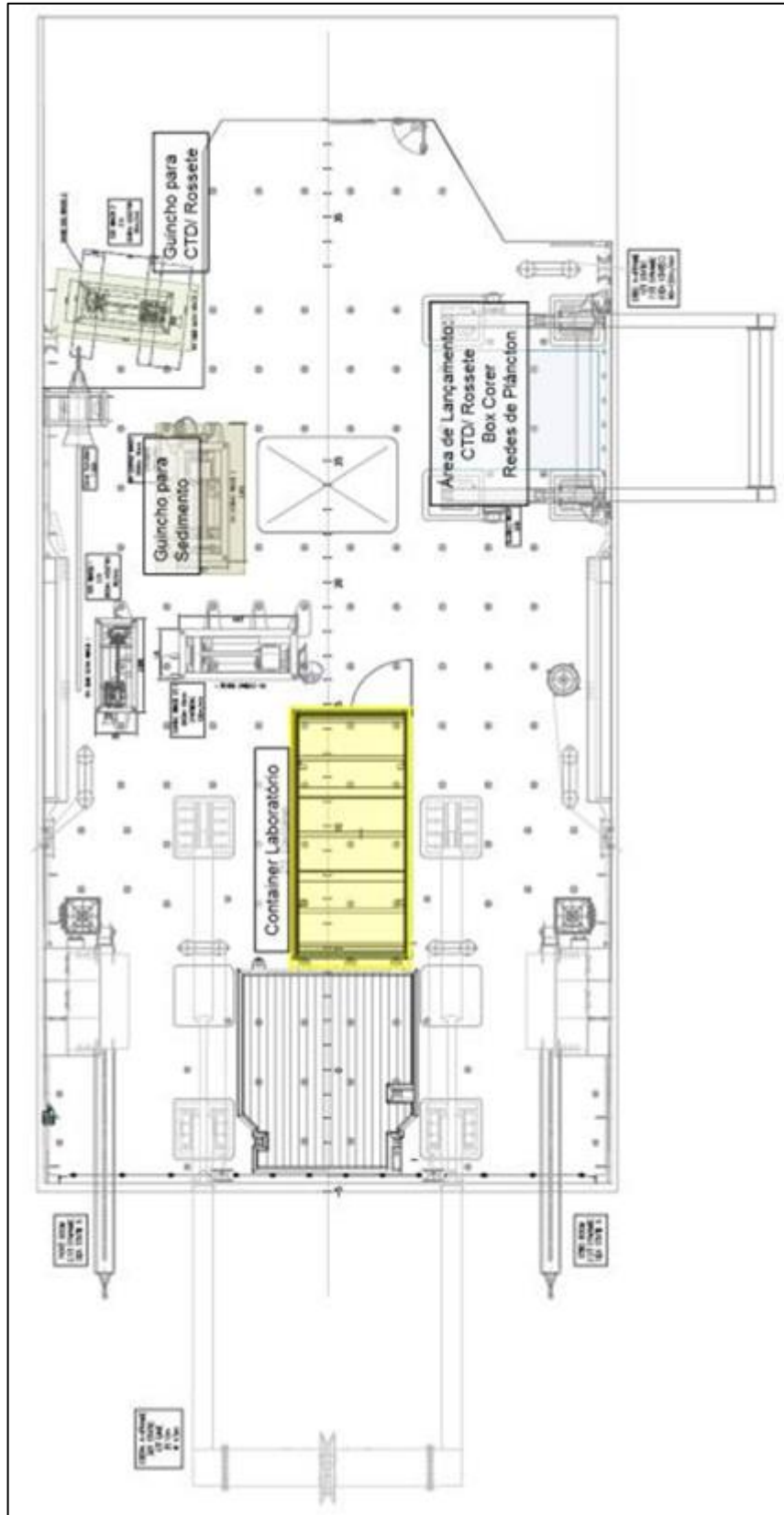
**Figura III.3-1** – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço GH1 e os poços interferentes, em um raio de 5 km.

---

## **IV - MATERIAL E MÉTODOS**

### **IV.1 - ATIVIDADE DE CAMPO**

Durante a campanha, realizada entre os dias 26 e 29 de dezembro de 2014 a bordo do navio *MV Fugro Brasilis* (Figura IV.1-1), foram coletadas amostras de sedimento para análise físico-química e dos organismos bentônicos associados em 12 estações no entorno do poço GH1, em local com profundidade aproximada de 1.300 metros. O trânsito rumo à primeira estação GH1\_4R foi iniciado às 18h45min do dia 26/12/2014. As amostragens foram finalizadas às 13h14min do dia 29/12/2014 na estação GH1\_12.

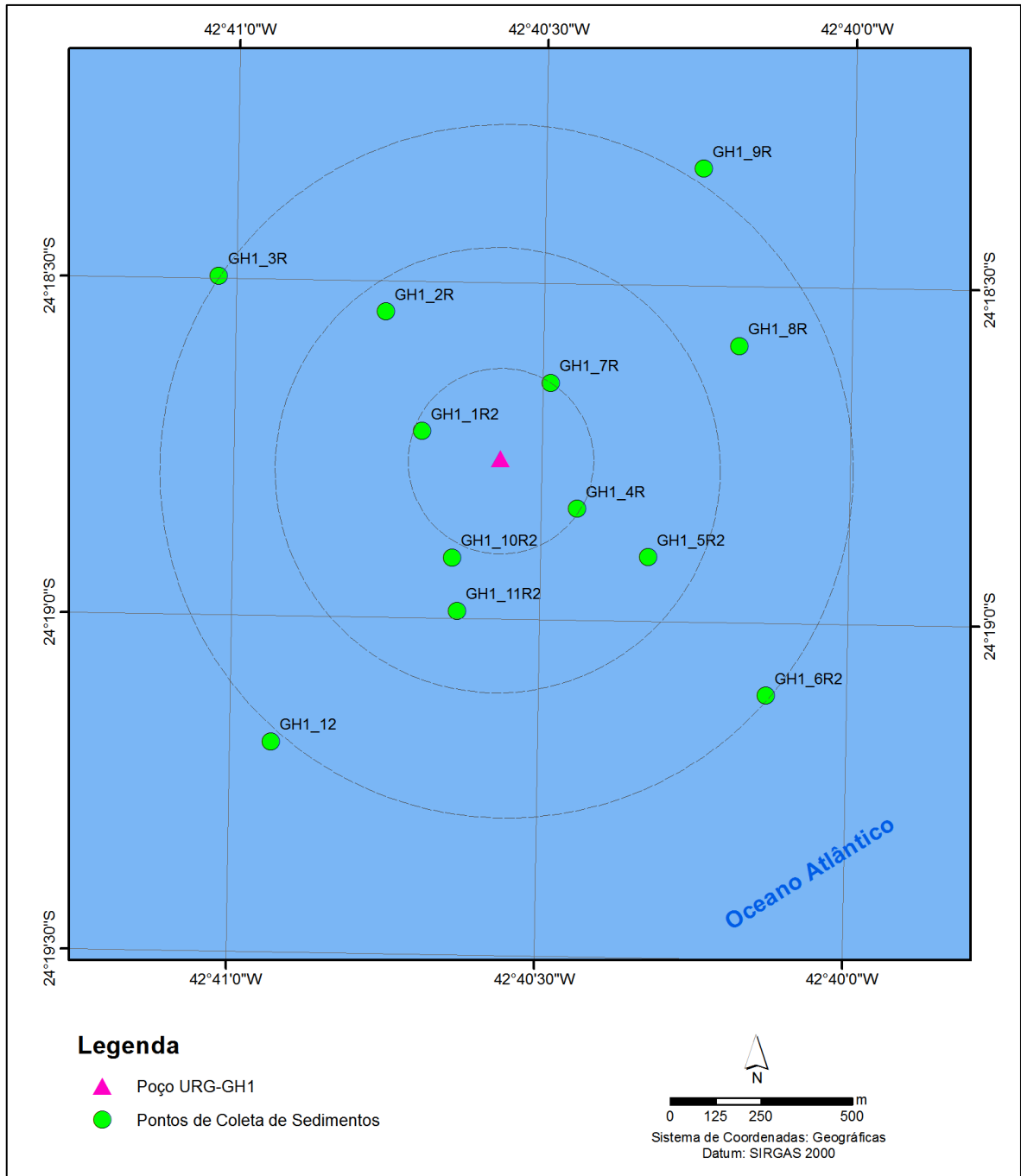


Fonte: Fugro (2015).

**Figura IV.1-1 – Diagrama do MV Fugro Brasilis.**

As estações de coleta foram dispostas em quatro círculos concêntricos ao redor da locação do poço, com raios de 250, 500 e 1.000 m. Em cada raio foram posicionadas quatro estações dispostas perpendicularmente entre si. As estações foram orientadas de maneira que um dos eixos estivesse paralelo às linhas batimétricas e o outro, perpendicular. A Figura IV.1-2 apresenta o mapa da malha amostral realizada durante a campanha.

As coordenadas definidas para as estações amostrais da campanha podem ser observadas na Tabela IV.1-1, onde também constam as coordenadas das estações reposicionadas. Vale ressaltar que as estações GH1\_1R e GH1\_2 foram reposicionadas na fase do escopo da campanha, previamente as amostragens devido à margem de segurança operacional em relação aos obstáculos. Por este motivo, estas estações foram renomeadas para GH1\_1R2 e GH1\_2R, respectivamente.



**Figura IV.1-2 – Mapa da malha amostral executada para coleta de sedimentos na 2ª campanha de pós-perfuração do poço Uruguá GH1.**

**Tabela IV.1-1 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das estações amostrais previstas e reposicionadas da 2ª campanha de pós-perfuração do poço Uruguá GH1.**

Estações	Coordenadas Originais		Reposicionamentos	
	Norte	Este	Norte	Este
<b>GH1_1R2</b>	7309340,00	735640,00	7309258,88	735616,50
<b>GH1_2R</b>	7309498,00	735446,00	7309586,44	735517,44
<b>GH1_3R</b>	7309684,93	735059,00	-	-
<b>GH1_4R</b>	7309045,29	736042,35	-	-
<b>GH1_5R2</b>	7308911,93	736237,89	-	-
<b>GH1_6R2</b>	7308531,93	736560,79	-	-
<b>GH1_7R</b>	7309390,37	735969,31	-	-
<b>GH1_8R</b>	7309491,93	736488,54	-	-
<b>GH1_9R</b>	7309978,38	736390,17	-	-
<b>GH1_10R2</b>	7308910,93	735699,26	-	-
<b>GH1_11R2</b>	7308764,93	735712,42	-	-
<b>GH1_12</b>	7308407,00	735201,00	-	-

As amostragens foram realizadas em triplicata (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem. As coordenadas de coleta de cada uma das réplicas são apresentadas no Tabela IV.1-2.

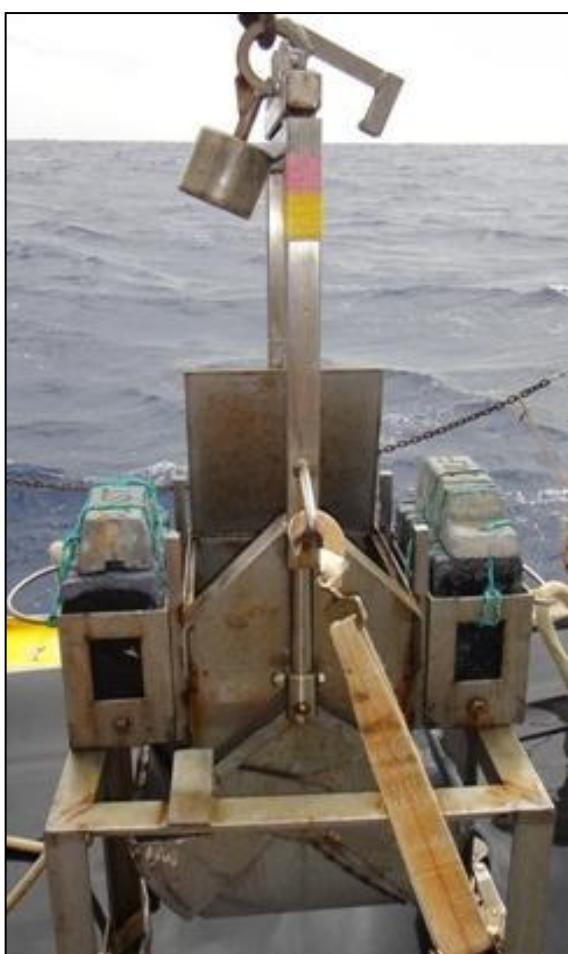
**Tabela IV.1-2 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das réplicas (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem da 2ª campanha de pós-perfuração do poço GH1.**

Estações	Coordenadas Coletadas UTM					
	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
<b>GH1_1R2</b>	7309282,79	735632,32	7309268,15	735623,30	7309267,04	735618,35
<b>GH1_2R</b>	7309606,50	735512,55	7309607,65	735520,22	7309603,68	735516,30
<b>GH1_3R</b>	7309702,78	735075,78	7309708,95	735069,94	7309721,02	735074,01
<b>GH1_4R</b>	7309067,77	736065,04	7309061,95	736058,36	7309055,79	736046,19
<b>GH1_5R2</b>	7308927,70	736230,69	7308923,99	736228,86	7308925,12	736235,97
<b>GH1_6R2</b>	7308548,10	736549,11	7308561,93	736551,81	7308545,58	736585,61
<b>GH1_7R</b>	7309405,87	735971,84	7309411,73	735977,85	7309404,89	735974,94
<b>GH1_8R</b>	7309507,05	736494,73	7309515,27	736495,16	7309503,07	736490,97
<b>GH1_9R</b>	7309995,89	736680,43	7309990,70	736384,04	7309985,20	736382,52
<b>GH1_10R2</b>	7308943,76	735716,45	7308956,42	735710,55	7308936,58	735686,15
<b>GH1_11R2</b>	7308781,13	735714,00	7308794,47	735713,07	7308803,21	735729,52
<b>GH1_12</b>	7308439,79	735205,96	7308432,07	735202,26	7308438,30	735293,01



Os procedimentos técnicos de coleta e processamento de amostras, empregados durante a campanha de pós-perfuração do poço GH1 estiveram em conformidade com as orientações recomendadas em reunião de pré-campanha e preconizadas em protocolo de coleta elaborado pelo CENPES/PDEDS/AMA (2009).

As amostragens de sedimento e de bentos foram realizadas utilizando o equipamento mini Box-corer 30 x 30 x 50 cm (Figura IV.1-3) com beacon acoplado ao cabo do amostrador, distante 30 m do mesmo.



**Figura IV.1-3** - Box-corer 30 x 30 x 50 cm utilizado na coleta das amostras de sedimento da presente campanha.

As amostras coletadas foram destinadas à análise dos seguintes parâmetros:

- Teor de matéria orgânica total (MOT);
- Carbono orgânico total (COT);
- Teor de carbonatos;
- Granulometria;
- Nitrogênio total;
- Fósforo total;
- Metais (Fe, Al, Ba, Cu, Cr, Pb, Cd, Zn, Ni, V, Hg e Mn);
- Hidrocarbonetos (HPA's, n-alcanos, MCNR e HTP's), e;
- Macrofauna bentônica.

Para iniciar a coleta das amostras, o amostrador era posicionado no convés e aberto para avaliação pelos técnicos responsáveis. Foram considerados os seguintes critérios para aceitação das amostras:

- Completo fechamento do amostrador;
- Sedimento não encostando na tampa do amostrador;
- Distribuição homogênea do sedimento no interior do amostrador;
- Mínima perturbação do sedimento superficial;
- Profundidade de no mínimo 12 cm de sedimento, e;
- Espaço para distribuição dos mini-corers sobre a superfície não perturbada do sedimento.

Após a validação das amostras, foi medida a profundidade do sedimento no amostrador e inserido um termômetro de mercúrio nos primeiros 5 cm do sedimento para verificação da temperatura.

Além disso, foram realizados registros fotográficos do procedimento, assim como o registro fotográfico das características físicas do sedimento (coloração, aspecto e presença de organismos na superfície) e sifonamento do sobrenadante, quando necessário.

Os materiais retidos através do sifonamento, em puçá com malha de 300 µm, foram transferidos para um pote plástico devidamente identificado e destinado ao armazenamento de amostra da macrofauna bentônica. Em seguida, foram subamostrados parâmetros físico-químicos e biológicos de sedimento para análise posterior em laboratório, iniciando-se sempre pelas amostras de hidrocarbonetos e metais.

Os corers de aço inoxidável e as colheres metálicas utilizadas para coleta de hidrocarbonetos foram descontaminados com acetona e n-hexano. Após isso, os mesmos foram embalados em papel alumínio para evitar contaminação. Para coleta de metais utilizou-se corers de PVC lavados com extran e colheres plásticas novas.

A distribuição esquemática dos corers no amostrador utilizado pode ser observada na Figura IV.1-4.



**Figura IV.1-4** - Esquema de distribuição dos corers no Box-corer (30 x 30 x 50 cm) para subamostragem dos parâmetros solicitados durante a 2ª campanha de pós-perfuração do poço Uruguá GH1.

A desmobilização da campanha ocorreu no dia 06/01/2015 no estaleiro Brasco – Niterói/RJ, com o envio de duas remessas de amostras aos laboratórios de análise. As amostras destinadas às análises de macrofauna bentônica foram encaminhadas ao Laboratório Lógica - Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S e as amostras destinadas às análises dos parâmetros físico-químicos foram enviadas para a empresa Ecolabor - Comercial Consultoria e Análises Ltda. O Quadro IV.1-1 apresenta os parâmetros coletados, com suas respectivas frações, formas de acondicionamento e preservação.

**Quadro IV.1-1 – Parâmetros, frações coletadas, forma de acondicionamento e preservação das amostras no compartimento sedimento e macrofauna bentônica, conforme procedimentos realizados durante a 2ª campanha de pós-perfuração do poço GH1.**

Parâmetros	Fração	Acondicionamento	Preservação
MOT / COT	0-10cm (1/2 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
Granulometria e carbonatos	0-10cm (1/2 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
Hidrocarbonetos	0-2 cm (1 corer 10x10x2cm)	Recipiente de alumínio	Congelamento
Metais	0-2 cm (1 corer 10x2)	Saco Zip	Congelamento
N / P	0-10cm (1 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
Macrofauna bentônica	0-10 cm (4 corers 10x10x10cm)	8 potes plástico de 1L ou salvo exceções	Formol a 4%

## **IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO**

### **IV.2.1 - Matéria Orgânica Total (MOT) e Carbono Orgânico Total (COT)**

O tratamento prévio para descarbonatação da amostra consistiu na adição do ácido sulfúrico concentrado. A determinação de COT teve como base sua oxidação a CO<sub>2</sub> por íons dicromato, em meio fortemente ácido. A quantidade de íons Cr III reduzidos foi medida indiretamente por titulação dos íons dicromato em excesso, com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal, sendo o valor expresso em % de carbono. A metodologia de referência é Apostila de Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais, 2º. ed. revisada e ampliada, Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995 e EMBRAPA, 1997. Esta metodologia também foi validada para sedimento marinho.

A matéria orgânica total (MOT) foi obtida por calcinação a 550 °C (após descarbonatação) conforme metodologia SMEWW 22ª Ed. - Método(s): 2540 B/C/D.

### **IV.2.2 - Carbonatos**

O teor de carbonato no sedimento foi determinado em uma alíquota lavada e seca de sedimento, com adição de solução de ácido clorídrico a 10% até que não haja mais reação pela observação da liberação de CO<sub>2</sub> em intervalos regulares. A amostra foi enxaguada, e depois de retirado o excesso de água, foi seca em estufa a 60°C. Depois, a amostra foi pesada. A diferença percentual entre a massa inicial e a massa final da amostra expressa o teor de carbonatos existente. O método utilizado é parte da Norma da CETESB utilizada para eliminação de carbonato – N.T. CETESB L6.160 nov/95<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Houve modificação de nomenclatura do referido método da segunda para a terceira campanha do empreendimento, porém a metodologia permanece a mesma.

### IV.2.3 - Granulometria

A análise granulométrica foi realizada por método mecânico, de modo a garantir a descrição de, pelo menos, 95% do peso inicial de cada amostra. A fração inferior a 63 micrometros foi separada por pipetagem e a fração superior, por peneiramento a seco. Tal metodologia foi baseada na Norma Técnica L6.160 da CETESB nov/95. Na Tabela IV.2-1 consta a escala Wentworth utilizada para classificação dos grãos.

**Tabela IV.2-1 - Escala de Wentworth utilizada para classificação dos grãos.**

Tamanho do Grão d(mm)	Escala Wentworth Ø	Nome do Material
64 a 4	-6 a -2	seixos
4 a 2	-2 a -1	grânulos
2 a 1	-1 a 0	areia muito grossa
1 a 0,5	0 a 1	areia grossa
0,5 a 0,25	1 a 2	areia média
0,25 a 0,125	2 a 3	areia fina
0,125 a 0,063	3 a 4	areia muito fina
0,063 a 0,032	4 a 5	silte grosso
0,032 a 0,016	5 a 6	silte médio
0,016 a 0,008	6 a 7	silte fino
0,008 a 0,004	7 a 8	silte muito fino
0,004 e menor	8 e menor	argilas

### IV.2.4 - Nitrogênio Total

A determinação do nitrogênio Kjeldahl total - NKT em sedimentos consiste em três etapas: digestão, destilação e reação. Uma alíquota do sedimento “*in natura*” é digerida com ácido sulfúrico concentrado, sulfato de cobre e sulfato de potássio em bloco digestor até a temperatura de 380°C. Nesta etapa o nitrogênio orgânico é transformado em amônia. Após a digestão, que pode ser observada pela coloração levemente amarelada, a amostra é destilada em meio alcalino para liberação da amônia que é recebida em solução de ácido bórico.

A quantificação é realizada conforme o método de nitrogênio amoniacal, sendo que a faixa de calibração esteve entre 0,12 a 5000 mg/kg de N. O resultado

obtido foi corrigido para base seca. O método analítico utilizado foi 4500 N org. B/NH<sub>3</sub> C/NH<sub>3</sub> G, que é baseado no protocolo do SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22<sup>a</sup> Ed.

#### **IV.2.5 - Fósforo Total**

A determinação de fósforo total em sedimentos consistiu em duas etapas: digestão ácida e reação. Uma alíquota de sedimento “*in natura*” foi digerida com adição de ácidos inorgânicos. Numa primeira fase adicionou-se ácido nítrico e ácido sulfúrico concentrado, depois foi aquecido em chapa até digestão da matéria orgânica e, em seguida, adicionou-se ácido perclórico concentrado para finalizar a digestão completa da matéria orgânica.

Após a digestão, seguiu a reação do fósforo pelo método molibdato de amônio/ácido ascórbico, método de referência SMEWW 4500-P E, conforme metodologia do SMEWW. O princípio do método baseia-se na reação do molibdato de amônia e tartarato de antimônio e potássio com ortofosfato em meio ácido que, com a adição de ácido ascórbico, forma um complexo de azul de molibdênio, cuja intensidade é lida no espectrofotômetro de absorção visível, no comprimento de onda 880 nm.

#### **IV.2.6 - Metais**

Os metais alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), níquel (Ni), manganês (Mn), chumbo (Pb), vanádio (V) e zinco (Zn) foram determinados através de digestão ácida com ácido nítrico e tratamento para eliminação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio e ácido clorídrico, seguida de espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido (ICP-OES). As metodologias utilizadas foram baseadas nos métodos 3051A e 6010C da USEPA SW 846.

O mercúrio (Hg) foi analisado através da digestão ácida, adicionado de cloridrato de hidroxilamina e filtrado, e análise em espectrômetro de absorção

atômica com geração de vapor frio (CV-AAS), após redução com borohidreto de sódio. A metodologia utilizada foi baseada no método 7471B da USEPA SW 846.

Os metais em sedimentos foram digeridos através de abertura parcial das amostras.

#### **IV.2.7 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's)**

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) foram analisados conforme protocolo da United States Environmental Protection Agency – USEPA, métodos 8270D, EPA 3550C – extração ultrassônica e EPA 3630C – Silica gel *Clean up* (modificado). Inicialmente, as amostras foram secas em estufa a 40°C até obtenção de peso constante, e adicionadas de mistura de *surrogates* (traçadores 2-fluorbinila e terfenil-d14) para avaliação da eficiência do processo de extração, realizado com diclorometano. Após repouso, resfriamento e concentração da amostra, a mesma foi fracionada em coluna de sílica gel, com a fração aromática recolhida com eluição de mistura de diclorometano: n-hexano 3:1.

Padrões internos e/ou externos deuterados foram adicionados à amostra para quantificação de HPA's, realizada através de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS) com monitoramento seletivo de íons dos 16 HPAs prioritários da USEPA. Para análise dos HPA's alquilados, o extrato foi novamente analisado, porém, com a aquisição em varredura cíclica de íons. Os padrões internos utilizados na determinação de HPA's foram: Naftaleno d8; Acenafteno d10; Fenantreno d10; Criseno d12 e Perileno d12.

Além do uso dos traçadores e padrões internos e/ou externos, foi realizado o controle de qualidade das análises de HPA's através da análise de um branco a cada 20 amostras analisadas. Ressalta-se novamente que todos os padrões analíticos são certificados e rastreáveis.



#### **IV.2.8 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), n-alcanos e Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)**

A determinação dos HTP's, n-alcanos e MCNR da série C10 a C40 foi realizada de acordo com as metodologias EPA 3550C – extração ultrassônica, EPA 3630C – Sílica gel *Cleanup* e EPA 8015D – *Nonhalogenated Organics Using* CGFID. A preparação das amostras seguiu o mesmo procedimento dos HPA's, com extrato final filtrado em funil contendo leito de sílica gel, para remoção de possíveis compostos polares, como esteróis e ácidos orgânicos. Após concentração, a amostra foi analisada por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (CG-FID).

Na determinação de HTP's, n-alcanos e MCNR foram utilizados os seguintes padrões: padrão para calibração de uma mistura de n-alcanos de n-C10 a n-C40 mais pristano e fitano da marca Accustandard, lote 2120441086, referência DRH-008S-R2. Como traçadores foram utilizadas as substâncias n-eicosano d42 e n-tetracosano d50.

A MCNR foi analisada através da quantificação do aumento relativo da linha de base do cromatograma, proveniente dos compostos não resolvidos cromatograficamente em elevado nível de degradação, quantificada diretamente pelo padrão n-C24 deuterado.

Os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) foram quantificados pela soma dos n-alcanos, MCNR e compostos resolvidos cromatograficamente e não identificados como n-alcanos, referenciados nos laudos laboratoriais como mistura complexa resolvida (MCR), mas chamados neste relatório de hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP).

Além do uso dos traçadores e padrões internos e/ou externos, foi realizado o controle de qualidade através da análise de um branco a cada 20 amostras analisadas.

A Tabela IV.2-2 apresenta uma síntese dos métodos analíticos utilizados para as análises físico-químicas do sedimento.

**Tabela IV.2-2 – Resumo dos métodos utilizados, com os respectivos limites de quantificação e detecção, para os parâmetros analisados nas amostras de sedimento.**

<b>ANÁLISE DE SEDIMENTO</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Método analítico</b>	<b>Limites de Quantificação (LQ)</b>	<b>Limites de Detecção (LD)</b>	
Carbonatos	N.T. CETESB L6.160	0,3%	0,1%	
Nitrogênio Total	SMEWW 4500 N org. B/NH <sub>3</sub> C/NH <sub>3</sub> G	109 mg N/kg	30 mg N/kg	
Fósforo	SMEWW 4500-P E	26 mg P/kg	9 mg P/kg	
Granulometria	N.T. CETESB L6.160	#	#	
COT	Oxidação com Dicromato de potássio-IAC	0,3%C	0,1%C	
MOT	SMEWW 2540-B/C/D	0,3%	0,1%	
Metais	Alumínio (Al)	EPA 3051A EPA 6010C	19,7 mg Al/kg	6,2 mg Al/kg
	Bário (Ba)		2,1 mg Ba/kg	0,7 mg Ba/kg
	Cádmio (Cd)		0,4 mg Cd/kg	0,1 mg Cd/kg
	Cromo (Cr)		1,7 mg Cr/kg	0,5 mg Cr/kg
	Cobre (Cu)		1,1 mg Cu/kg	0,4 mg Cu/kg
	Ferro (Fe)		8,1 mg Fe/kg	2,6 mg Fe/kg
	Níquel (Ni)		1,0 mg Ni/kg	0,3 mg Ni/kg
	Manganês (Mn)		0,7 mg Mn/kg	0,2 mg Mn/kg
	Chumbo (Pb)		2,5 mg Pb/kg	0,8 mg Pb/kg
	Vanádio (V)		0,5 mg V/kg	0,1 mg V/kg
	Zinco (Zn)		1,0 mg Zn/kg	0,3 mg Zn/kg
	Mercúrio (Hg)		EPA 7471B	0,038 mg Hg/kg
HPA's	Acenafteno	EPA 8270D, EPA 3550C EPA 3630C	0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Acenaftileno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Antraceno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (a) antraceno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (a) pireno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Benzo (b) fluoranteno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (g,h,i) perileno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Benzo (k) fluoranteno		0,1 µg/kg	0,05 µg/kg
	Criseno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Dibenzo (a,h) antraceno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Fenantreno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Fluoranteno		0,1 µg/kg	0,03 µg/kg
	Fluoreno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Indeno (1,2,3-cd) pireno		0,1 µg/kg	0,05 µg/kg
	Naftaleno		0,1 µg/kg	0,03 µg/kg
	2 – metil-naftaleno		1,0 µg/kg	0,50 µg/kg
Pireno	0,1 µg/kg	0,04 µg/kg		
HTPs, n-alcanos e MCNR	EPA 3550C, 8015D e 3630C	#	#	

## **IV.2.9 - Macrofauna Bentônica**

As análises da macrofauna bentônica foram realizadas pelo laboratório LÓTICA Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental onde as amostras foram lavadas cuidadosamente em peneiras sobrepostas, com malhas de 300 e 500 µm. O material foi triado sob microscópio estereoscópico e os organismos encontrados foram separados em grandes grupos e conservados em álcool a 70%.

Posteriormente, com auxílio de microscópio estereoscópico, os organismos foram identificados, primeiramente ao nível de família, com posterior identificação ao menor nível taxonômico possível, principalmente para os grupos mais abundantes da endofauna bentônica, e quantificados de acordo com os níveis taxonômicos identificados.

Importante destacar que, do filo Mollusca, foram considerados apenas organismos que apresentavam corpo mole no interior das conchas, ou seja, conchas vazias não foram consideradas.

Para a identificação dos macroinvertebrados marinhos bentônicos foram consultadas as obras dos autores Amaral & Nonato (1982a, 1982b, 1984, 1994, 1996), Amaral *et al.* (2005), Bowman e Gruner (1973), Cutler & Cutler (1980), Ditadi & Migotto (1982), Garraffoni & Lana (2003), Kinsley & Koenig (1978), Kensley (1982), Melo (1996, 1999), Montú (1998), Pires-Vanin (1998), Rios (2009), Rizzo & Amaral (2007), Rouse & Pleijel (2001) e Thomé *et al.* (2010).

Após a identificação, as amostras de macrofauna bentônica foram tombadas junto ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), instituição fiel depositória das amostras de macrofauna bentônica coletadas pelo Projeto de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Santos. As cartas de destinação dos resíduos são apresentadas no Anexo IX-1. As cartas de aceite da instituição consultada e de tombamento são apresentadas no Anexo IX-2.

## IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS

### IV.3.1 - Qualidade do Sedimento

Os dados referentes às concentrações dos parâmetros obtidas através da análise laboratorial foram compilados em matriz de dados em razão da estação de coleta correspondente. A concentração média e desvio padrão dos parâmetros analisados para cada estação foram obtidos através da média das concentrações nas três réplicas coletadas.

Valores não detectados, isto é, valores abaixo do limite de detecção do método de análise ( $nd < LD$ ) foram substituídos por valores nulos (zero) e considerados nas análises estatísticas. Valores abaixo do limite de quantificação ( $< LQ$ ) foram substituídos pela metade do LQ ( $LQ/2$ ).

Após a classificação granulométrica do sedimento coletado, a análise da granulometria do sedimento foi realizada através do software Sysgran 3, onde foram obtidos o diagrama de Sheppard e a caracterização e classificação granulométrica através do método de Folk & Ward.

A partir da concentração de carbonatos realizou-se a classificação do sedimento conforme Larssonneur (1977), que estabeleceu as seguintes categorias: litoclásticos ( $CaCO_3 < 30\%$ ), litobioclásticos (30 a 50%), bio-litoclásticos (50 a 70%) e bioclásticos ( $>70\%$ ).

O enriquecimento ou depleção dos metais no sedimento foi feito a partir do cálculo do fator de enriquecimento (FE), que é um índice usado como ferramenta para avaliar a extensão da poluição por metais (WOITKE *et al.*, 2003; SELVARAJ *et al.*, 2004). Os metais Fe (ferro), Al (alumínio) e Sc (escândio) são os mais usados como elementos de referência, pois são conservativos (GOMES *et al.*, 2009) e neste relatório utilizou-se o Al como elemento de referência. Os valores de referência utilizados para sedimento no presente estudo foram os valores encontrados na primeira campanha de monitoramento do poço GH1 (fase de pré-perfuração). As análises foram feitas estação a estação, considerando os reposicionamentos. O fator de enriquecimento (FE) foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$FE = \frac{(\text{Metal}_x / \text{Al}_x)}{(\text{Metal C1}_x / \text{Al C1}_x)}$$

onde,

[Metal<sub>x</sub>] = concentração do elemento no sedimento em uma dada estação x

[Metal C1<sub>x</sub>] = concentração do elemento na primeira campanha de monitoramento na mesma estação x

[Al<sub>x</sub>] = concentração do elemento Al (elemento conservativo) no sedimento da mesma estação x

[Al C1<sub>x</sub>] = concentração do elemento Al na primeira campanha de monitoramento na mesma estação x.

No caso de concentrações não detectadas na primeira campanha de monitoramento foi utilizada a metade do LD. Valores de FE inferiores a 1 indicam que não houve enriquecimento, enquanto que valores entre 1 e 3 indicam que houve um enriquecimento pequeno. Já valores entre 3 e 5 indicam que houve enriquecimento moderado e valores entre 5 e 10 que houve enriquecimento de moderado a severo. Valores entre 10 e 25 indicam enriquecimento severo, entre 25 e 50, enriquecimento muito severo e acima de 50, enriquecimento extremamente severo (TAYLOR, 1964 *apud* APRILE & BOUVY, 2008).

Algumas relações ou índices são utilizados para a identificação da origem dos hidrocarbonetos alifáticos ou da sua maior contribuição no ambiente marinho, bem como para a avaliação do grau de degradação e intemperismo em que o óleo encontra-se no ambiente (VOLKMAN *et al.*, 1992; COLOMBO *et al.*, 1989). Na presente campanha, foi possível a utilização da relação entre a MCNR e os alifáticos resolvidos (HRP) (MCNR/HRP). Valores da razão MCNR/HRP superiores a 4 confirmam a presença de resíduos relacionados ao petróleo, segundo Lipiatou & Saliot (1991).

Na presente campanha também foi utilizado o Índice Preferencial de Carbono (IPC), que se baseia na distribuição relativa das cadeias carbônicas de n-alcanos e avalia a origem da matéria orgânica (BRAY & EVANS, 1961). O IPC é calculado conforme apresentado a seguir:

$$\text{IPC alc} = \frac{2(\sum \text{ímpares C23 ao C31})}{[\sum(\text{pares C22 ao C30}) + \sum(\text{pares C24 ao C32})]}$$

Valores de IPC próximos a 1 indicam contaminação por petróleo, enquanto valores variando entre 4 e 7 indicam predominância de n-alcanos biogênicos (GOGOU *et al.*, 2000).

Também foram utilizadas as razões C17/pristano e C18/fitano, em que valores maiores que 1 indicam presença de óleo recente, e valores menores que 1, presença de óleo degradado. A razão pristano/fitano também foi utilizada, em que valores maiores que 1 indicam origem biogênica e valores próximos a 1 indicam contribuição petrogênica (STEINHAEUER & BOEHM, 1992).

Atualmente o único instrumento legal que aborda a caracterização da qualidade de amostras sedimentos marinhos é a Resolução CONAMA nº 454/2012 que “*Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional*”. Apesar da supracitada resolução não legislar diretamente sobre o escopo do presente projeto, uma vez que há interface no tema abordado por ambos (legislação e projeto), optou-se por utilizar a referida resolução, com as devidas ressalvas, para fins de comparação das concentrações de alguns dos parâmetros amostrados a fim de subsidiar a caracterização da qualidade dos sedimentos. Para tal, as concentrações observadas nesta campanha foram comparadas aos limites estabelecidos pelo CONAMA para sedimentos nível 1, cuja definição é transcrita a seguir: “*Nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota*”.

Para avaliar a qualidade dos sedimentos foi utilizado um critério interpretativo, estabelecido pela legislação canadense (MACDONALD *et al.*, 1996) e adotado pela CETESB (CETESB, 2001), uma vez que não há normatização específica no Brasil. O critério define dois limites para sedimentos de águas salobras e salinas: o TEL (*Threshold Effect Level*), que indica o nível abaixo do qual não ocorre efeito adverso à comunidade biológica; e o PEL (*Probable Effect Level*), que é o nível acima do qual é provável a ocorrência de efeito adverso à comunidade biológica. A faixa entre esses níveis representa uma possível ocorrência de efeito adverso à biota. Também foi calculado um índice da qualidade do sedimento, por área e por

ponto amostral, baseado na comparação dos valores obtidos com os valores de base TEL e PEL. Os índices de qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral, são calculados, respectivamente, conforme apresentado a seguir:

$$SeQI_{\text{área}} = 100 - \left( \left( \sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2} \right) * 1.732^{-1} \right)$$

$$SeQI_{\text{ponto}} = 100 - \left( \left( \sqrt{F1^2 + F3^2} \right) * 1.414^{-1} \right)$$

onde,

F1 = representa a porcentagem de variáveis que não atendem as suas respectivas diretrizes, ao menos uma vez durante o período considerado, em relação ao total de variáveis medidas;

F2 = representa a porcentagem de testes individuais das variáveis que não atendem as suas respectivas diretrizes;

F3 = representa o montante de valores do teste das variáveis que não atendem suas diretrizes.

Os valores deste índice variam de 0 a 100, onde o valor máximo indica a maior qualidade do sedimento (CCME, 2007).

### **IV.3.2 - Biota Aquática**

Inicialmente foi feita uma avaliação da amostragem, ou seja, uma avaliação do esforço amostral nas três campanhas de monitoramento do poço GH1, através do gráfico do número cumulativo de táxons por área amostrada (uma unidade de área corresponde a uma réplica, ou seja, um corer de 30 x 30 cm). Também foi utilizado o estimador de riqueza e a curva de Jackknife 1ª ordem, calculado a partir da fórmula abaixo:

$$S_{\text{Jack1}} = S_{\text{obs}} + L \left( \frac{a-1}{a} \right)$$

onde,

$S_{Jack1}$  = estimador de riqueza Jackknife de 1ª ordem

$S_{obs}$  = número total de espécies observadas em todas as amostras

$L$  = número de espécies que ocorrem só em uma amostra (espécies únicas)

$a$  = número de amostras (HELTSHE & FORRESTER, 1983).

A caracterização da macrofauna bentônica foi realizada através de análises qualitativas dos dados, ou seja, sua composição em taxa e riqueza de taxa (número de taxa). A riqueza de taxa foi utilizada em detrimento da riqueza de espécies dada a grande dificuldade na identificação desses indivíduos em nível de espécie. Esse impedimento ocorre devido à fragilidade desses exemplares em conjunto com a utilização de soluções com formol, que apesar de ajudarem na conservação das amostras também podem degradar estruturas do organismo. Portanto, as comunidades foram avaliadas dessa forma para que não ocorresse perda de dados. As réplicas (R1, R2 e R3) foram utilizadas cumulativamente, com intuito de aumentar a proximidade com os valores de riqueza reais do local.

Além da análise qualitativa, também foi feita avaliação quantitativa dos dados, utilizando a densidade de organismos (ind./m<sup>2</sup>). A densidade considera a área amostrada. Neste caso, foram utilizadas médias das réplicas (R1, R2 e R3).

Para ambas as análises, foram considerados valores mínimos e máximos dos parâmetros, bem como valores médios. As médias foram acompanhadas do desvio-padrão. O mesmo descreve a dispersão dos dados em torno dessa média, indicando a variação dos valores encontrados (VIEIRA, 2008). Os taxa também foram avaliados quanto aos grandes grupos (filos), bem como a distribuição qualitativa dentro desses grupos.

Para completar a caracterização das comunidades, além do índice de Riqueza, foram utilizados outros índices ecológicos, os índices de Diversidade (H') e Equitabilidade (J'). Os mesmos foram calculados através do programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In Multi Ecological Research). Esses índices complementam a avaliação das comunidades, pois revelam a complexidade da estrutura das mesmas em função do número de espécies e da distribuição das abundâncias das mesmas (PIELOU, 1977; SHANNON, 1948; SIMPSON, 1949).

O índice de diversidade utilizado foi o de diversidade de Shannon-Wiener, apresentando a fórmula:



$$H' = - \sum p_i (\log p_i)$$

onde,

$p_i$  = probabilidade de ocorrência de cada espécie em relação ao total, ou seja, o número de indivíduos (ou células) da espécie é dividido pelo número total de indivíduos (ou células) da amostra (SHANNON, 1948).

A equitabilidade corresponde à razão entre o índice de diversidade calculado e a diversidade máxima que a amostra poderia alcançar, tendo sido calculada a partir da diversidade de Shannon-Wiener. Este índice evidencia anomalias ligadas à ocorrência de amostras com um número baixo de espécies e foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}}$$

$$H_{\max} = \log S$$

onde,

$H'$  = índice de diversidade de Shannon-Wiener

$H_{\max}$  = diversidade máxima que a amostra poderia alcançar para o número total de  $N$  indivíduos

$S$  = número total de espécies (PIELOU, 1977).

A equitabilidade varia no intervalo de 0 a 1, sendo as comunidades mais homogêneas aquelas com valores mais próximos de 1, ou seja, aquelas que apresentam maior diversidade. Logo, este índice indica a homogeneidade das comunidades em termos de participação de cada táxon (KREBS, 1999; PIELOU, 1977).

#### **IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA**

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade do sedimento e da macrofauna (riqueza de taxa, densidade, diversidade e equitabilidade) das três campanhas de monitoramento já realizadas (fase de pré-

perfuração, fase de pós-perfuração 1º retorno e fase de pós-perfuração 2º retorno) foi feita utilizando Diagramas de Caixa (*Box-Plot*). Esse gráfico contém um valor central que descreve a tendência dos dados, que no caso foi a mediana das amostras. Além disso, esse tipo de diagrama contém dois valores de dispersão de dados, uma caixa (*Box*) e os fios de bigode (*Whiskers*). O *Box* representou o primeiro e terceiro quartis e os *Whiskers* os valores mínimo e máximo observados. Todos os diagramas foram plotados usando o *software* STATISTICA 10.0.

Para avaliar se houve diferença significativa nos parâmetros da qualidade do sedimento e da macrofauna entre as campanhas e entre as estações amostrais foram realizadas análises de variância paramétricas (ANOVA – *one way*), quando satisfeitos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade e análises de variância não paramétricas (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*) quando não satisfeitos os pressupostos. As análises de variância paramétricas ou não paramétricas foram realizadas através do *software* Systat SigmaPlot 12.5.

Importante destacar que conforme manual do SigmaPlot 12.5, o *software* testa automaticamente a normalidade (*Shapiro Wilk`s test*) e homocedasticidade (*Hartley test*) do conjunto de dados previamente à análise. Caso os pressupostos sejam atendidos procede-se a ANOVA - *one way*; caso contrário o *software* retorna mensagem alertando o usuário e questiona se o mesmo deve rodar a análise de variância não paramétrica correspondente (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*). Nos casos em que os dados não satisfizeram os requisitos necessários para aplicação de estatística paramétrica e considerando as divergências entre distribuição normal e não normal, optou-se por realizar testes não paramétricos. Para todos os testes aplicados foi considerado um valor de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das amostras apresentou diferenças quando testadas par a par. No caso da ANOVA - *one way*, foi usado o teste *a posteriori* de *Tukey HSD*, e no caso da *Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*, foi usado o teste de medianas.

Para completar a caracterização da biota aquática, foram realizadas análises multivariadas (escalamento multidimensional – MDS e dendrograma de

agrupamento - *cluster*). Ambas as análises multivariadas foram realizadas no programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In Multi Ecological Research).

O MDS foi executado utilizando matriz de similaridade *Bray-Curtis* com os dados brutos. Essa análise é uma ferramenta útil para comparar similaridades na composição de comunidades (CLARKE; WARWICK, 2001). A mesma foi utilizada com intuito de comparar a estrutura das diferentes comunidades nas estações de coleta. O MDS gera um valor de *stress*. Quanto menor o valor do *stress*, melhor é o ajuste entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados. Valores de *stress* ideais são aqueles menores que 0,20, correspondendo a uma boa ordenação dos dados (CLARKE; WARWICK, *op. cit.*).

O *Cluster* também é utilizado para verificar a similaridade na estrutura de comunidades (VALENTIN, 2012).

#### **IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA**

A análise integrada foi realizada para o ambiente bentônico das estações de coleta amostradas na terceira campanha de monitoramento do entorno do Poço GH1, Bacia de Santos. Essa análise objetiva integrar os dados biológicos e ambientais coletados na área de estudo para investigar possíveis respostas biológicas às variações ambientais. Assim, para fins de comparação entre o ambiente abiótico e a porção biótica do ambiente bentônico (organismos bentônicos), foram utilizadas as 12 estações amostrais que continham dados biológicos, ambientais e de contaminantes.

Previamente à realização das análises de correlação e ordenação os dados foram objeto de análises estatísticas para investigar a normalidade dos dados e a homocedasticidade. Ambos foram verificados através do teste de Shapiro Wilk e do teste de Levene, respectivamente. Como alguns dados não satisfizeram os requisitos necessários para aplicação de estatística paramétrica optou-se por realizar testes não paramétricos.

Previamente às análises, todas as variáveis foram transformadas em log (x+1), para padronização. Correlações de Spearman foram realizadas para avaliar a correlação entre os dados ambientais e os biológicos.

Para o compartimento bentônico duas ACP foram realizadas: uma considerando os indicadores biológicos como variáveis ativas e os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes como variáveis suplementares; a segunda utilizando-se os dados de contaminantes como variáveis ativas e os indicadores biológicos como variáveis suplementares. Em ambas as ACPs, as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância  $d$  ao centro do plano (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983), que deve ser maior ou igual a  $(2/m)^{0,5}$ , onde  $m$  = número de variáveis. Além das ACP, uma análise de agrupamento (*cluster*) e uma MDS também foram realizadas. A análise de agrupamento (*cluster*) foi utilizada para verificar a similaridade entre as estações de amostragem. Também foi realizada uma análise de escalonamento multidimensional (MDS), que rearranja a distribuição das variáveis de estudo, visando detectar as menores dimensões significativas e, assim, explicando as similaridades ou dissimilaridades entre elas. Esta técnica não métrica representa em um espaço reduzido o escalonamento dos objetos (amostras), preservando as suas distâncias. Essa é uma técnica de ordenação adequada a dados não normais, ou em escalas arbitrárias, descontínuas, ou de outra forma questionável (McCUNE e MEFFORD, 2011).

Ressalta-se que as variáveis não detectadas no presente estudo (cádmio, mercúrio e HPA) foram desconsideradas nas análises dos dados.

---

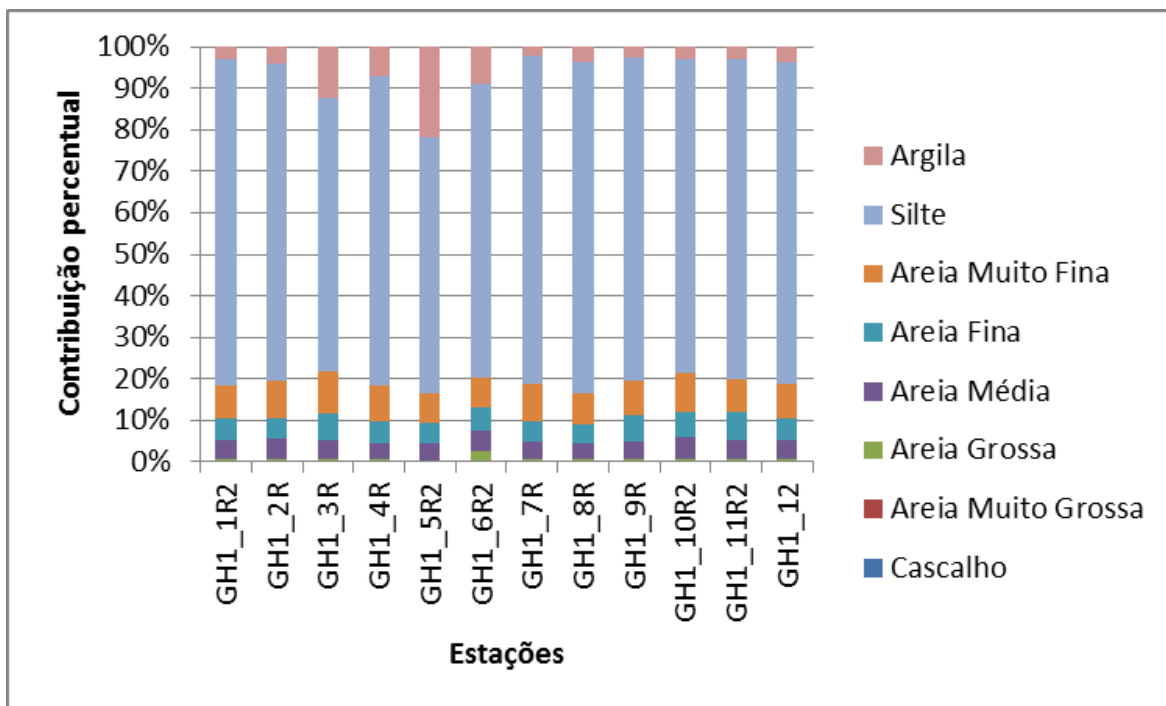
## **V - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **V.1 - QUALIDADE DO SEDIMENTO**

#### **V.1.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos**

Dados de composição e características dos sedimentos são as bases para o reconhecimento da sua estrutura, dinâmica e processos existentes no ambiente (BARROS *et al.*, 2007). A composição granulométrica pode influenciar sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, por exemplo, constituindo um fator responsável pela estrutura e distribuição da comunidade em ecossistemas aquáticos (GONÇALVES *et al.*, 1998).

Nesta campanha de monitoramento a fração granulométrica predominante foi silte em todas as estações de coleta (Figura V.1-1). A distribuição percentual dos grãos de sedimento e a classificação textural segundo o diagrama de Folk são apresentadas na Tabela V.1-1, onde se constata que metade das amostras foi classificada como silte arenoso (estações GH1\_1R2 a GH1\_6R2), quatro amostras foram classificadas como lama arenosa (GH1\_7R, GH1\_9R, GH1\_11R2 e GH1\_12) e duas amostras foram classificadas como lama arenosa ligeiramente cascalhenta (GH1\_8R e GH1\_10R2). Considerando a classificação a partir do diâmetro médio (Tabela V.1-1), se constata que a maioria das amostras foi classificada como silte fino, exceto as estações GH1\_3R e GH1\_6R2, que foram classificadas como silte médio.



**Figura V.1-1** – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

O sedimento analisado nas doze estações amostradas durante a atual campanha de pós-perfuração do poço GH1 mostrou muita variação nos resultados de média, mediana e seleção entre as estações amostradas. Os valores de média variaram entre 5,60 Φ (GH1\_6R2) e 6,48 Φ (GH1\_5R2), e os valores de mediana, entre 5,65 Φ, na estação GH1\_6R2, e 7,26 Φ, na estação GH1\_5R2 (Tabela V.1-2).

O grau de selecionamento é dado pela predominância de uma ou mais classes granulométricas. Um sedimento altamente selecionado apresenta predominância de uma classe granulométrica enquanto um sedimento pobremente selecionado (entre 1,00 e 2,00) é composto por duas ou mais classes granulométricas (SUGUIO, 1973). Na atual campanha, o selecionamento foi classificado como muito pobremente selecionado na maioria das estações e como muito pobremente selecionado nas estações GH1\_3R, GH1\_5R2, GH1\_6R2 e GH1\_10R2, sendo causado pela ocorrência de mais de uma fração dominante: silte, argila e areia muito fina (Tabela V.1-2).

**Tabela V.1-1 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas 12 estações de amostragem no entorno do poço GH1, Bacia de Santos.**

Estações	Cascalho	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	Argila	Classificação Textural de Folk
<b>GH1_1R2</b>	0,00	0,05	0,65	4,39	5,08	7,85	76,78	2,77	Silte Arenoso
<b>GH1_2R</b>	0,00	0,02	0,76	4,62	5,01	8,51	74,27	4,14	Silte Arenoso
<b>GH1_3R</b>	0,00	0,01	0,60	4,47	6,41	9,89	64,04	12,24	Silte Arenoso
<b>GH1_4R</b>	0,00	0,02	0,56	3,64	5,24	8,50	72,53	6,73	Silte Arenoso
<b>GH1_5R2</b>	0,00	0,01	0,42	4,06	4,71	6,97	59,95	21,30	Silte Arenoso
<b>GH1_6R2</b>	0,00	0,03	2,46	4,84	5,53	6,56	68,25	8,76	Silte Arenoso
<b>GH1_7R</b>	0,01	0,02	0,58	4,24	4,62	8,61	76,43	2,11	Lama Arenosa
<b>GH1_8R</b>	0,02	0,02	0,56	3,62	4,33	7,44	77,20	3,47	Lama Arenosa Ligeiramente Cascalhenta
<b>GH1_9R</b>	0,00	0,02	0,67	4,23	5,91	8,29	75,47	2,67	Lama Arenosa
<b>GH1_10R2</b>	0,01	0,03	0,75	5,09	5,80	9,01	72,82	2,75	Lama Arenosa Ligeiramente Cascalhenta
<b>GH1_11R2</b>	0,01	0,01	0,71	4,42	6,38	7,77	73,96	2,82	Lama Arenosa
<b>GH1_12</b>	0,00	0,02	0,77	4,45	4,99	7,96	74,76	3,51	Lama Arenosa

**Tabela V.1-2 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 12 estações de amostragem no entorno do poço GH1, Bacia de Santos.**

Estações	Média	Diâmetro Médio	Mediana	Seleção	Selecionamento	Assimetria	Assimetria	Curtose	Curtose
<b>GH1_1R2</b>	6,19	Silte fino	7,12	1,93	Pobrememente selecionado	-0,70	Muito negativa	0,77	Platicúrtica
<b>GH1_2R</b>	6,07	Silte fino	6,85	1,96	Pobrememente selecionado	-0,60	Muito negativa	0,79	Platicúrtica
<b>GH1_3R</b>	5,96	Silte médio	6,57	2,13	Muito pobrememente selecionado	-0,40	Muito negativa	0,79	Platicúrtica
<b>GH1_4R</b>	6,23	Silte fino	7,14	1,96	Pobrememente selecionado	-0,65	Muito negativa	0,78	Platicúrtica
<b>GH1_5R2</b>	6,48	Silte fino	7,26	2,10	Muito pobrememente selecionado	-0,54	Muito negativa	0,92	Mesocúrtica
<b>GH1_6R2</b>	5,60	Silte médio	5,65	2,15	Muito pobrememente selecionado	-0,11	Negativa	0,89	Platicúrtica
<b>GH1_7R</b>	6,16	Silte fino	7,05	1,91	Pobrememente selecionado	-0,68	Muito negativa	0,74	Platicúrtica
<b>GH1_8R</b>	6,32	Silte fino	7,23	1,85	Pobrememente selecionado	-0,73	Muito negativa	0,85	Platicúrtica
<b>GH1_9R</b>	6,12	Silte fino	7,05	1,95	Pobrememente selecionado	-0,69	Muito negativa	0,76	Platicúrtica
<b>GH1_10R2</b>	6,10	Silte fino	7,12	2,02	Muito pobrememente selecionado	-0,72	Muito negativa	0,77	Platicúrtica
<b>GH1_11R2</b>	6,06	Silte fino	6,96	1,97	Pobrememente selecionado	-0,66	Muito negativa	0,78	Platicúrtica
<b>GH1_12</b>	6,17	Silte fino	7,10	1,95	Pobrememente selecionado	-0,69	Muito negativa	0,78	Platicúrtica

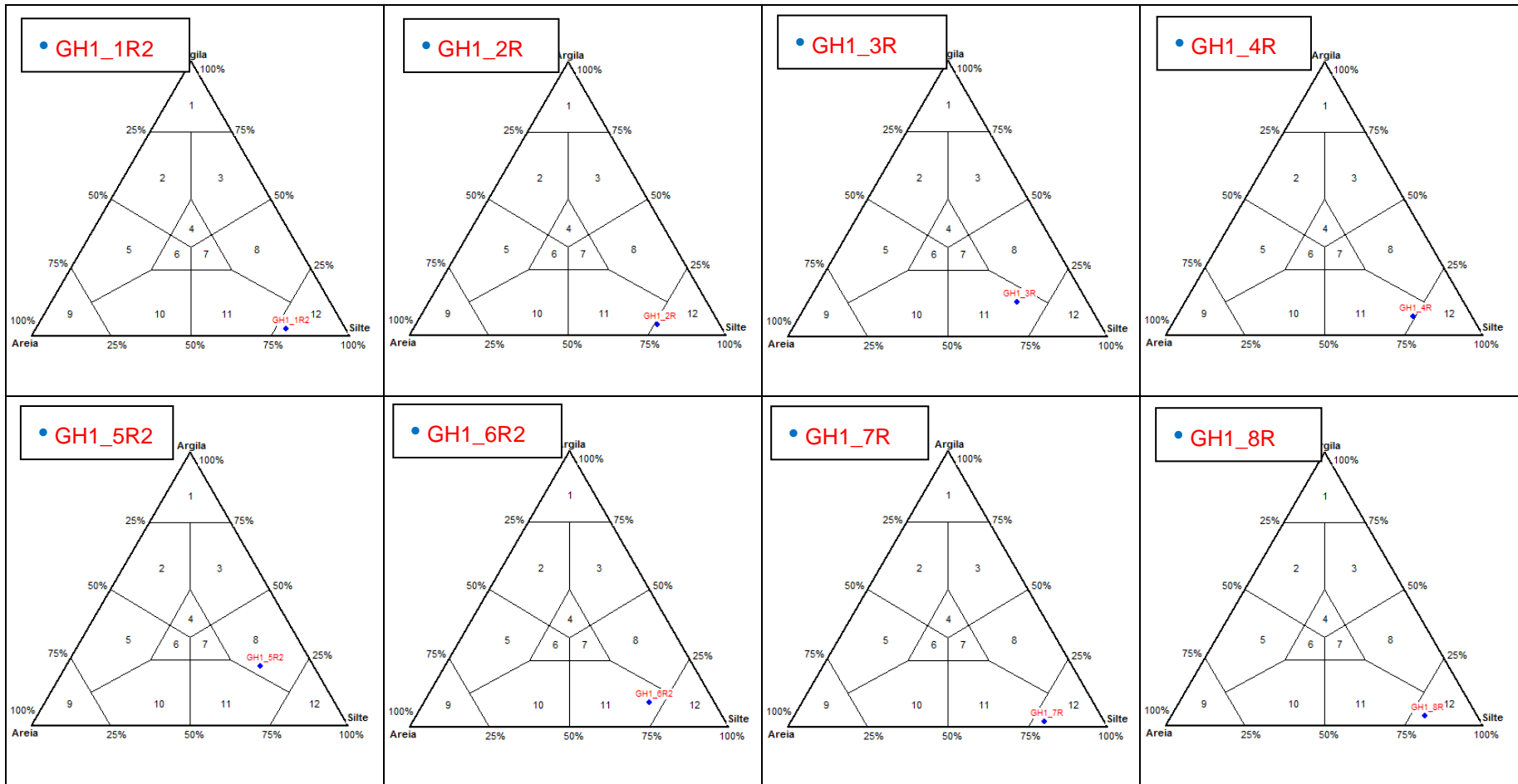


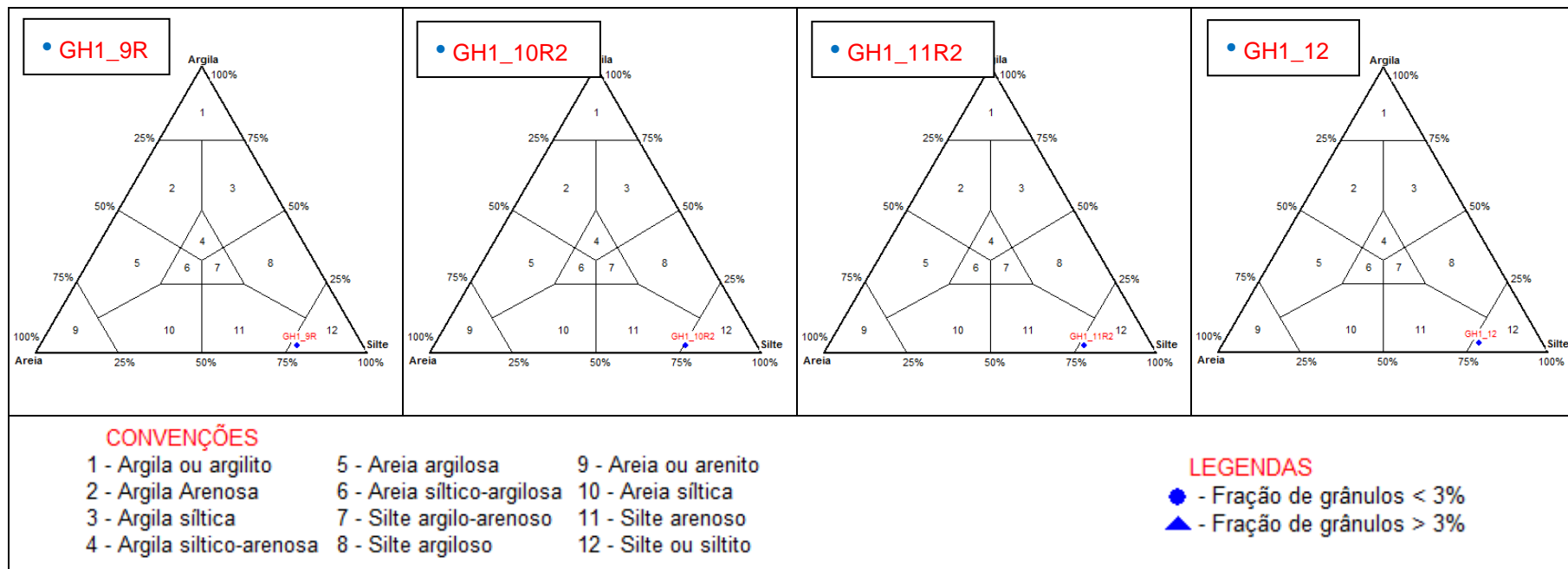
Nas campanhas anteriores de Uruguá e na segunda campanha de monitoramento do poço GH1, a fração predominante foi silte (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b), semelhante ao encontrado na atual campanha, em que a fração predominante foi silte e argila. Já na primeira campanha de monitoramento do Poço GH1, a fração predominante foi areia muito fina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b). Devido a grande participação de finos, o sedimento também foi classificado como pobremente selecionado nas campanhas anteriores na região.

A Tabela V.1-2 mostra que a assimetria dos grãos variou entre -0,73 e -0,11, nas estações GH1\_8R e GH1\_6R2, respectivamente. A assimetria da distribuição granulométrica indica para que lado se inclina a cauda mais longa da curva (DIAS, 2004). Para a atual campanha, a maioria das estações foi classificada como muito negativa, exceto a estação GH1\_6R2, que foi classificada como negativa. Sabe-se que quanto maior a diferença entre valores de média e mediana, mais assimétrica é a distribuição dos grãos (SUGUIO, 1973). Isto explica a tendência à assimetria da curva, uma vez que, na atual campanha, os valores de média e mediana apresentaram muita variação.

Em relação à curtose, os valores ficaram entre 0,74 na estação GH1\_7R e 0,92 na estação GH1\_5R2 (Tabela V.1-2), sendo que a maioria das estações foi classificada como platicúrtica, exceto a estação GH1\_5R2, que foi classificada como mesocúrtica (Tabela V.1-2). Segundo Machado (2010), curvas mais platicúrticas indicam ambiente de deposição. A distribuição platicúrtica indica uma preferência de frequência de classes de grãos, que no caso dos dados obtidos foram de grãos de tamanho menor, como silte e argila.

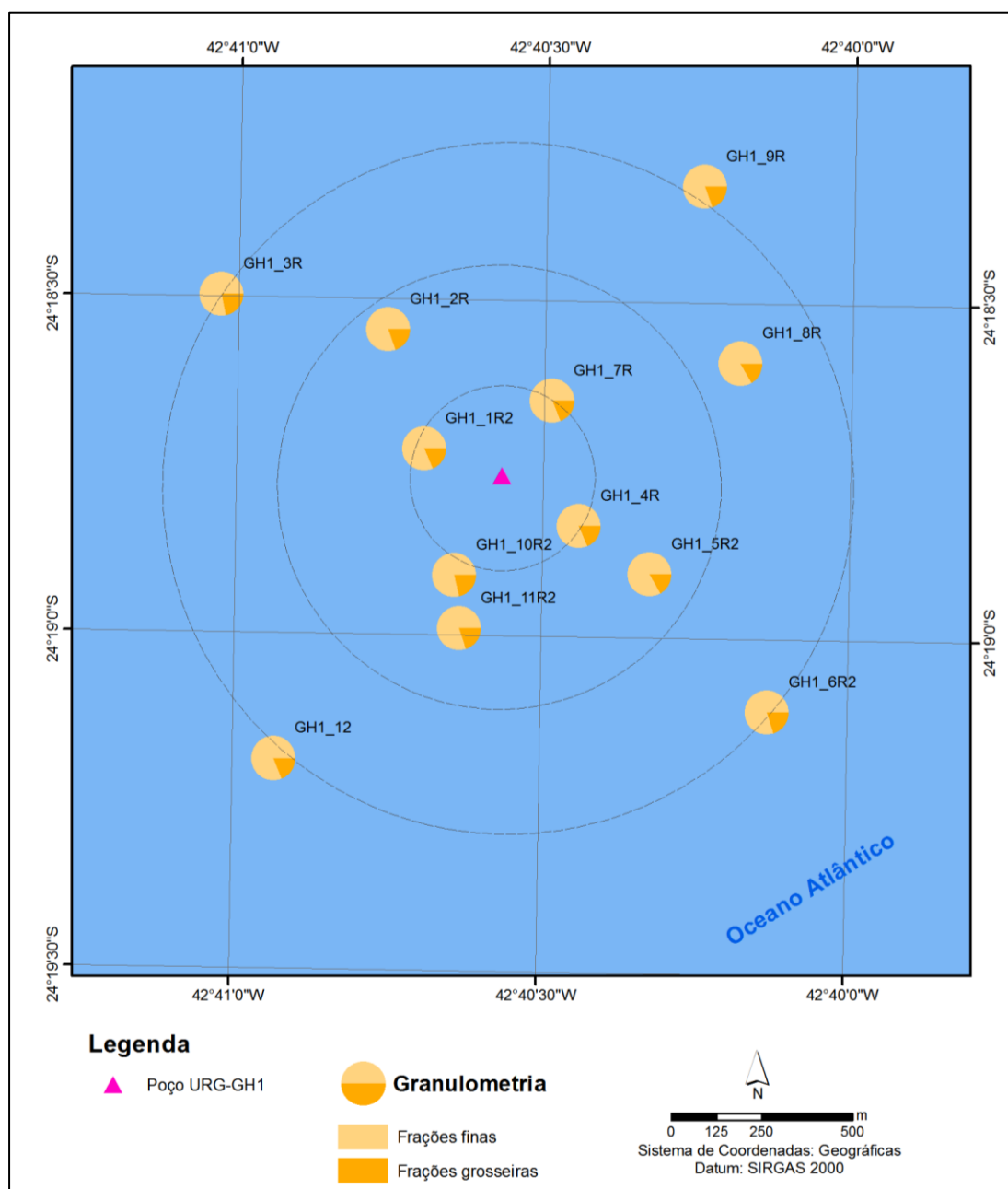
No diagrama de Shepard (Figura V.1-2), estão representadas as 12 estações de amostragem. Neste diagrama pode-se constatar que a maioria das estações amostradas estão situadas na classe 12 correspondente à classe silte ou siltito, exceto as estações GH1\_3R, GH1\_4R e GH1\_6R2, que estão situadas na classe 11, correspondente à classe silte arenoso, e a estação GH1\_5R2, situada na classe 8, correspondente a classe silte argiloso. Esse resultado é um indicativo de pouca similaridade granulométrica entre as estações amostradas.





**Figura V.1-2** – Diagrama de Shepard para cada uma das 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-3, é possível observar a granulometria das estações amostradas no entorno do poço GH1 de forma espacializada, onde silte e argila compõem a fração fina e o cascalho junto com todas as classes de areia compõem a fração grosseira. Foi possível observar a predominância das frações finas em todas as estações, indicando similaridade granulométrica entre as estações, considerando somente a divisão em frações grossas e frações finas e não cada uma das frações individualmente.



**Figura V.1-3** – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

Os resultados dos testes estatísticos realizados entre cada um dos parâmetros granulométricos medidos durante a atual campanha podem ser conferidos na Tabela V.1-3. Na comparação dos dados de granulometria entre as réplicas das estações, não foi observada diferença significativa para nenhuma das frações.

**Tabela V.1-3** – Análise de variância das frações granulométricas das 12 estações de coleta durante a atual campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase pós-perfuração, 2º retorno).  $p < 0,05$ .

	Cas	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Arg
<b>F</b>	-	-	-	0,434	0,777	1,086	-	-
<b>H</b>	12,920	6,385	9,721	-	-	-	10,550	16,297
<b>p</b>	0,299	0,847	0,556	0,925	0,660	0,412	0,482	0,130

Legenda: F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. Cas: cacalho; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; Arg: argila.

O teor de carbonato nos sedimentos deve-se essencialmente aos fragmentos de exo e endoesqueletos de organismos marinhos. Em ambientes pelágicos, a maior parte dessas partículas biogênicas presentes nos ambientes marinhos provém de organismos planctônicos, enquanto que, nas plataformas continentais, a acumulação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) é principalmente processada por organismos bentônicos, como moluscos, foraminíferos, brizoários e corais (DIAS, 2004).

As concentrações de carbonatos nas amostras de sedimento da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1 variaram entre  $31,40 \pm 5,08\%$ , na estação GH1\_2R, e  $50,52 \pm 2,93\%$ , na estação GH1\_9R (Tabela V.1-4; Figura V.1-4). As concentrações de carbonato nas estações não variaram significativamente entre si (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

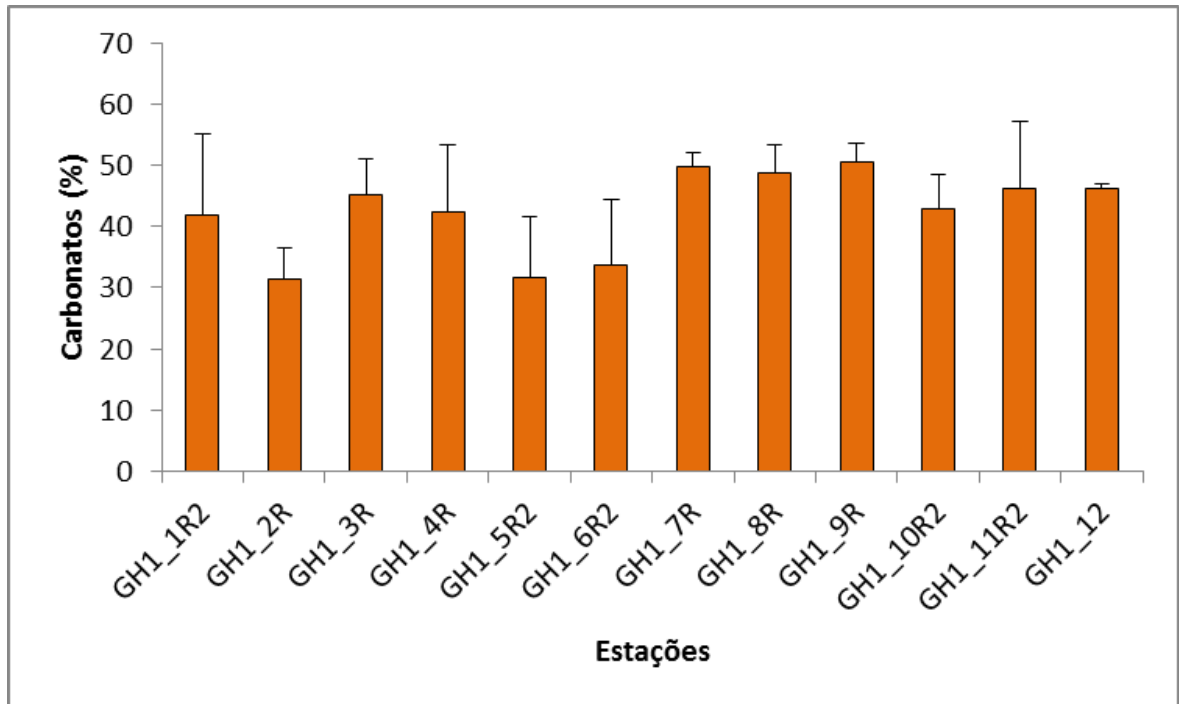
**Tabela V.1-4 – Concentrações médias de carbonato (%) nas diferentes estações da atual campanha monitoramento ambiental.**

Estações	Carbonato (%)		
	Média		Desvio padrão
<b>GH1_1R2</b>	41,75	±	13,34
<b>GH1_2R</b>	31,40	±	5,08
<b>GH1_3R</b>	45,08	±	5,89
<b>GH1_4R</b>	42,33	±	11,07
<b>GH1_5R2</b>	31,55	±	9,96
<b>GH1_6R2</b>	33,67	±	10,82
<b>GH1_7R</b>	49,87	±	2,26
<b>GH1_8R</b>	48,66	±	4,65
<b>GH1_9R</b>	50,52	±	2,93
<b>GH1_10R2</b>	42,78	±	5,63
<b>GH1_11R2</b>	46,29	±	10,86
<b>GH1_12</b>	46,16	±	0,68

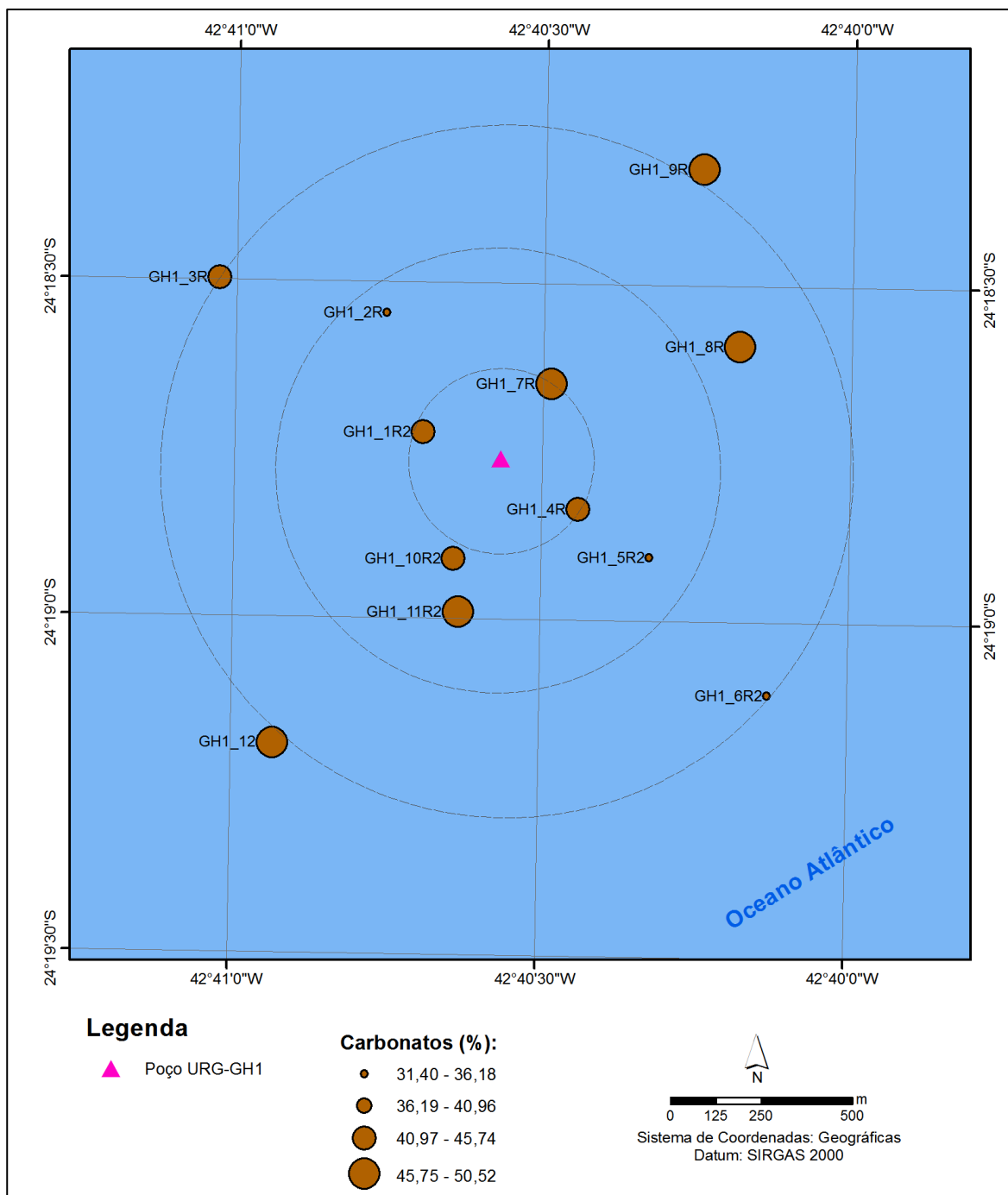
Não foi observado nenhum padrão de distribuição espacial das concentrações de carbonatos, mas de maneira geral observam-se maiores concentrações a nordeste do poço GH1 (Figura V.1-5).

Conforme classificação de Larsson (1977), os sedimentos em todas as estações amostradas foram classificados sedimentos litobioclásticos (30 a 50%) ou com conteúdo intermediário de carbonato de cálcio. Amaral *et al.* (2004), encontraram padrão distinto no sedimento da plataforma continental no estado de São Paulo (setor SP) principalmente nas amostras com granulometrias mais finas, classificadas como areia síltica e silte arenoso.

Os resultados encontrados estiveram dentro do intervalo de concentrações observadas no monitoramento do Polo Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012), o qual constatou concentrações de carbonato entre 6,54% até 77,10% ao longo das três campanhas de monitoramento já realizadas. Os resultados foram superiores aos encontrados nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1, em que as concentrações de carbonato variaram entre 14,13% e 17,00% e entre 16,80% e 20,13%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b).



**Figura V.1-4** – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

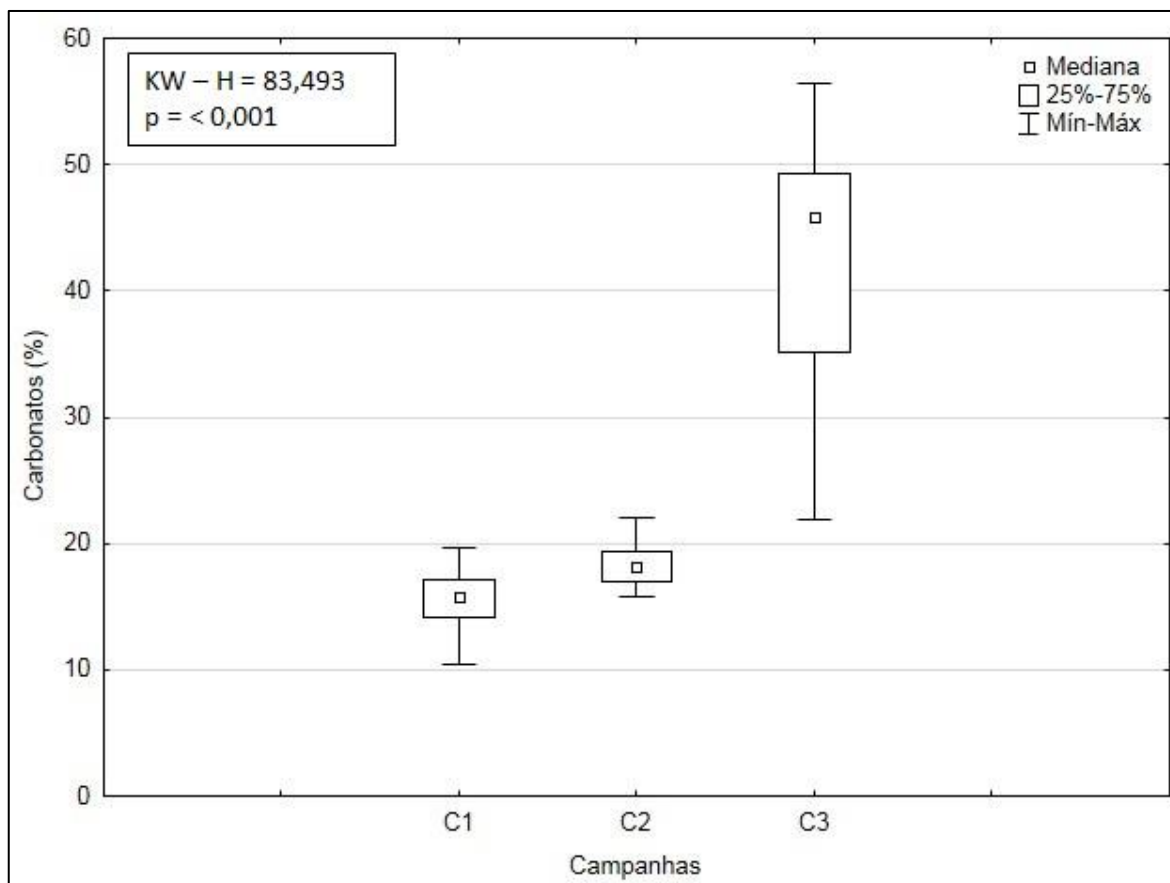


**Figura V.1-5** – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-6 são apresentadas as faixas de porcentagem de carbonato obtidas nas campanhas do poço GH1. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou uma variação mais ampla de valores e maiores valores de carbonato. Na comparação dos resultados foram detectadas diferenças significativas entre as



campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre todas as campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-6** – Teores de carbonato (%) observados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

### V.1.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total

A produção primária fitoplanctônica é a principal responsável pela produção de carbono orgânico nos oceanos em escala global, a qual produz aproximadamente  $2 \times 10^{16}$  g de C (CHESTER, 2003; MILLERO, 2002). Cerca de 80% dessa produção ocorre em mar aberto e cerca de 20% em regiões costeiras (CHESTER, *op cit.*). Entretanto, as margens dos continentes são apontadas como

os principais reservatórios desse carbono orgânico no ambiente marinho, recebendo um aporte de aproximadamente  $130 \times 10^{12}$  g de CO por ano. Nesta estimativa é levado em conta tanto o material de origem terrestre, quanto de origem marinha (PRAHL *et al.*, 1994).

Os mesmos elementos que constituem a matéria orgânica são importantes componentes dos oceanos, da atmosfera e das rochas. São eles o carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, enxofre e fósforo (SUMMONS, 1993).

Desta forma, os mecanismos fisiológicos dos organismos vivos, combinados com processos físicos, químicos e geológicos naturais são responsáveis pela constante redistribuição desses elementos entre os reservatórios bióticos e abióticos do sistema geosfera-biosfera da Terra (MACKENZIE *et al.*, 1993).

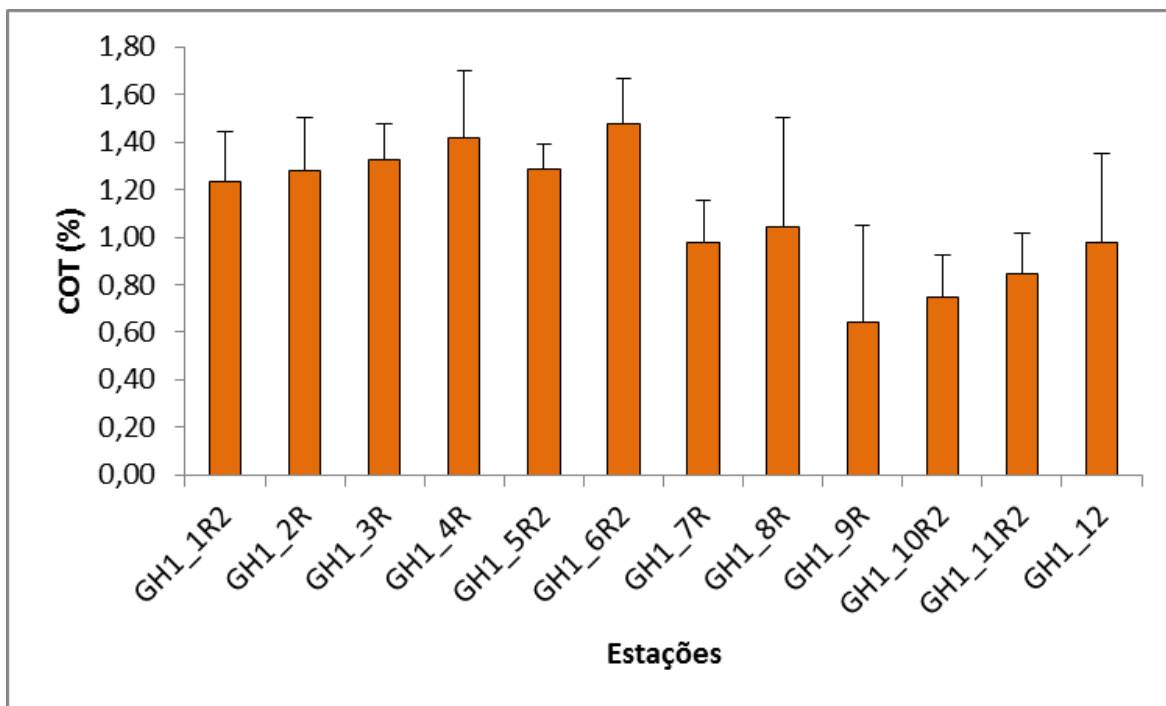
As concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre  $0,64 \pm 0,41\%$ , na estação GH1\_9R, a  $1,47 \pm 0,19\%$ , na estação GH1\_6R2 (Tabela V.1-5 e Figura V.1-8). Já a concentração média entre as estações nesta campanha foi de  $1,10 \pm 0,27\%$ . Nas três campanhas anteriores de monitoramento do Polo Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012), os valores de COT variaram de 0,38 a 1,93%. Já nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1, os valores foram inferiores em relação a atual campanha, variando entre 0,05% e 0,23% e entre 0,10% e 1,21%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). Segundo Huc (1980, *apud* RASHID, 1985), áreas oceânicas tendem a apresentar concentrações de carbono orgânico inferiores a 1%. As concentrações de carbono orgânico total apresentaram diferença significativa entre as estações (ANOVA,  $p < 0,05$ ). A estação GH1\_6R2 diferiu significativamente da estação GH1\_9R (Tukey,  $p < 0,05$ ).

As concentrações de matéria orgânica total (MOT) variaram entre  $6,81 \pm 0,44\%$ , na estação GH1\_1R2, a  $8,73 \pm 0,13\%$ , na estação GH1\_4R (Tabela V.1-5 e Figura V.1-8). Já a concentração média obtida entre as estações nesta campanha foi de  $7,66 \pm 0,60\%$ . Nas campanhas anteriores de monitoramento ambiental do Polo Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012) os valores observados variaram de 0,65 a 3,33%. Já nas campanhas anteriores de monitoramento do poço GH1, as concentrações variaram entre 0,17% e 0,94% e entre 2,61% e 3,90%, respectivamente

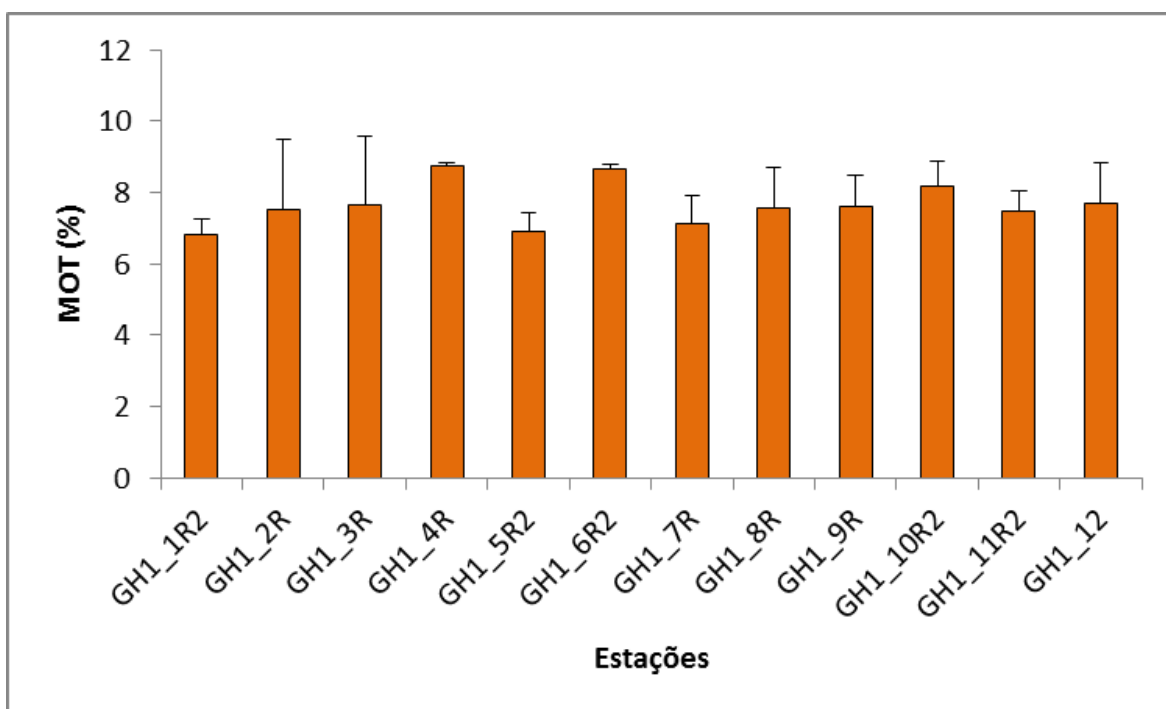
(PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). As concentrações de matéria orgânica total não apresentaram diferença significativa entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

**Tabela V.1-5** – Concentrações médias de carbono orgânico total e matéria orgânica total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento do Poço GH1.

Estações	Carbono Orgânico Total (%)			Matéria Orgânica Total (%)		
	Média		Desvio padrão	Média		Desvio padrão
<b>GH1_1R2</b>	1,23	±	0,22	6,81	±	0,44
<b>GH1_2R</b>	1,28	±	0,22	7,53	±	1,95
<b>GH1_3R</b>	1,32	±	0,16	7,66	±	1,89
<b>GH1_4R</b>	1,42	±	0,28	8,73	±	0,13
<b>GH1_5R2</b>	1,28	±	0,11	6,92	±	0,50
<b>GH1_6R2</b>	1,47	±	0,19	8,65	±	0,15
<b>GH1_7R</b>	0,98	±	0,18	7,12	±	0,79
<b>GH1_8R</b>	1,04	±	0,46	7,57	±	1,11
<b>GH1_9R</b>	0,64	±	0,41	7,61	±	0,86
<b>GH1_10R2</b>	0,75	±	0,18	8,18	±	0,71
<b>GH1_11R2</b>	0,85	±	0,17	7,48	±	0,55
<b>GH1_12</b>	0,98	±	0,37	7,69	±	1,15

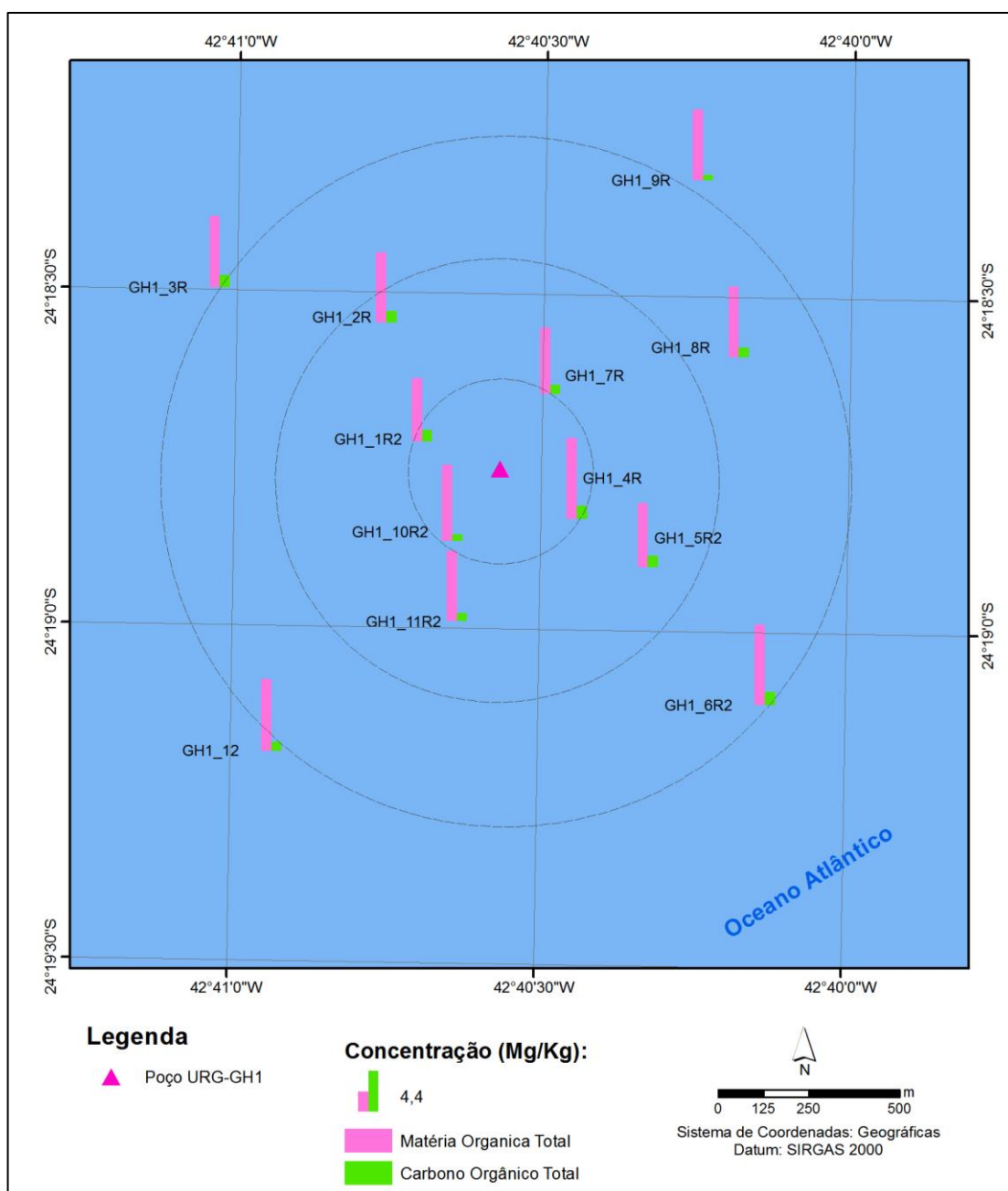


**Figura V.1-7** – Concentração média de carbono orgânico total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.



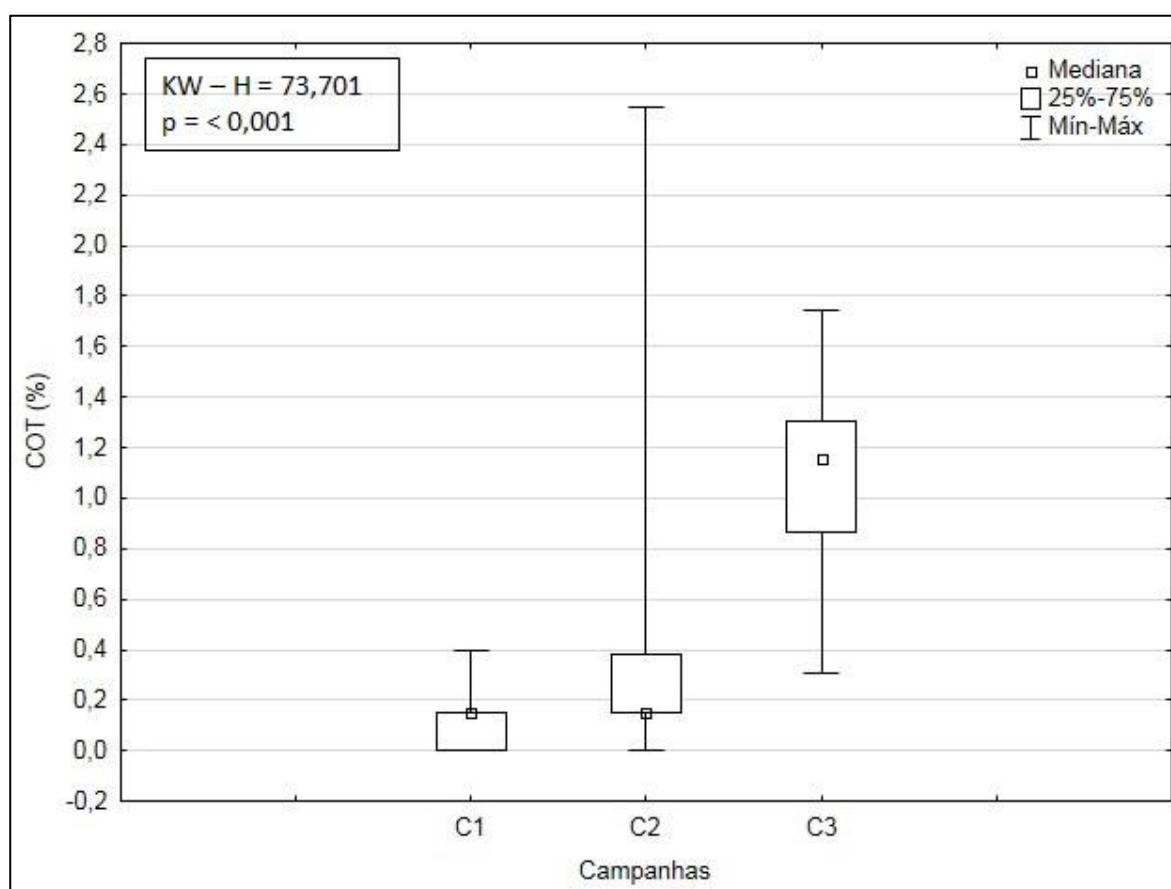
**Figura V.1-8** – Concentração média de matéria orgânica total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

Na Figura V.1-9 é apresentada a distribuição espacial de carbono orgânico total e matéria orgânica total. De maneira geral, as maiores concentrações de carbono orgânico foram encontradas nas estações mais próximas ao poço GH1, enquanto que para a matéria orgânica as concentrações não apresentaram padrão de distribuição espacial.



**Figura V.1-9** – Distribuição espacial das concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento de pós-perfuração do Poço GH1, Bacia de Santos.

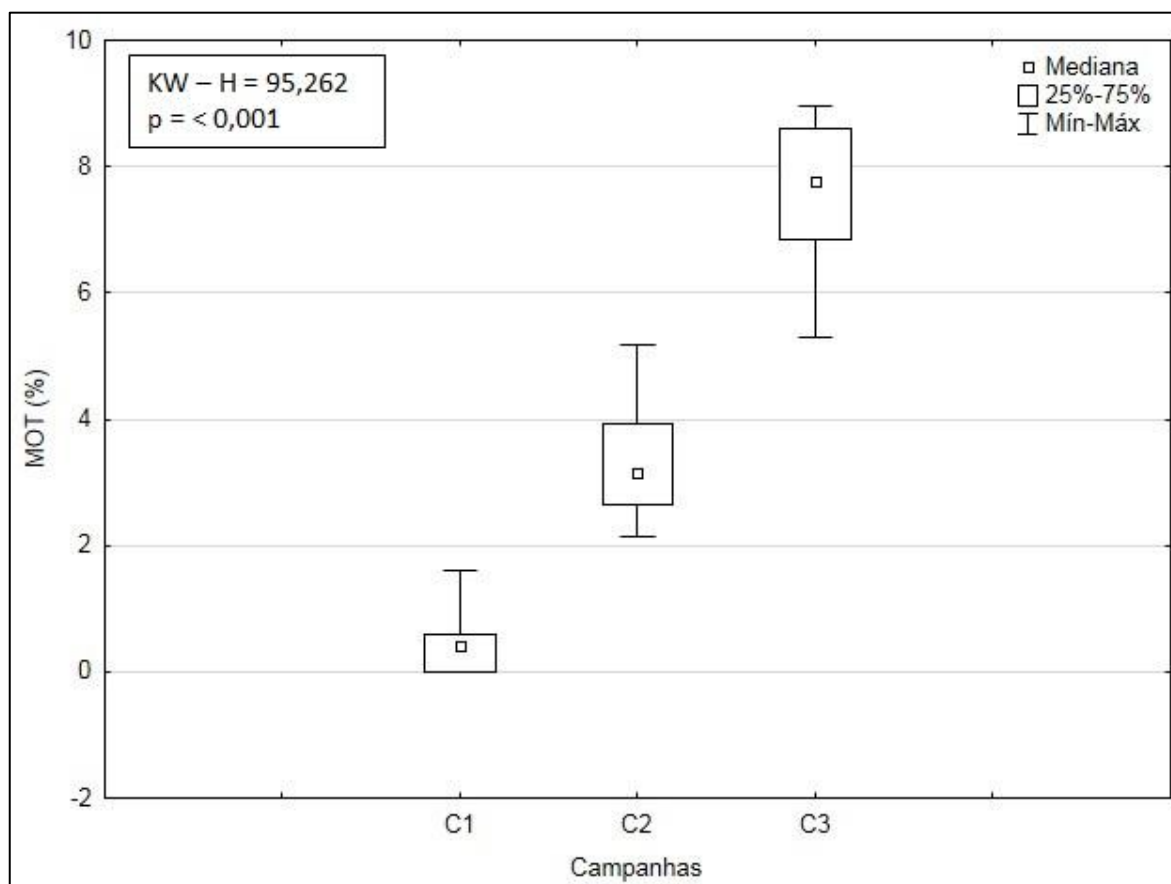
Na Figura V.1-10 são apresentadas as faixas das concentrações de carbono orgânico total obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou uma variação mais ampla e maiores valores de COT. Na comparação dos resultados de concentração de COT nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-10** – Concentrações de carbono orgânico total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.1-11 são apresentadas as faixas de concentração de matéria orgânica total obtidas nas amostras das três campanhas de monitoramento do poço GH1. Assim como verificado para as concentrações de COT, é possível verificar que a 3ª campanha mostrou uma variação mais ampla de valores e

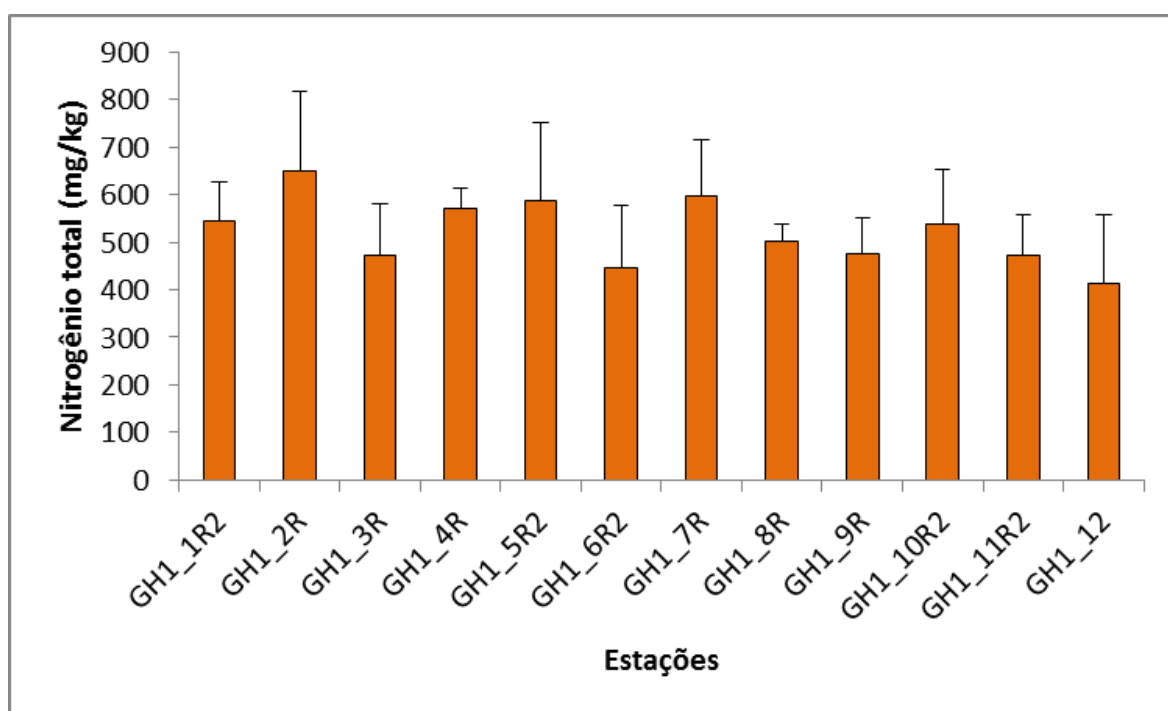
maiores concentrações de MOT. Na comparação dos resultados de concentração de MOT nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-11** – Concentrações de matéria orgânica total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Como pode ser observado na Figura V.1-10 e Figura V.1-11, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas, com maiores concentrações de COT e MOT na segunda e na atual campanha de monitoramento. Essa diferença pode ser possivelmente explicada pelo revolvimento do sedimento durante as atividades de perfuração, disponibilizando maiores quantidades de COT e MOT para a coluna d' água e para o sedimento do entorno do ponto de perfuração.

A concentração de nitrogênio total nas amostras variou entre  $414,07 \pm 144,36$  mg/kg, na estação GH1\_12, e  $649,63 \pm 166,84$  mg/kg, na estação GH1\_2R (Tabela V.1-6; Figura V.1-12), sendo que a concentração média entre as estações foi de  $522,43 \pm 70,43$  mg/kg. As concentrações de nitrogênio não diferiram significativamente entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ). As concentrações encontradas no monitoramento do Polo Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012) variaram entre 243,88 e 5.430,88 mg.N/kg. Nas campanhas anteriores de monitoramento do poço GH1, as concentrações da primeira campanha foram um pouco maiores em relação a atual campanha, variando entre 376,87 e 968,27 mg/kg, enquanto que as concentrações da segunda campanha foram um pouco menores, variando entre 232,90 e 407,43 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b).



**Figura V.1-12** – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

A concentração média de fósforo total foi de  $266,87 \pm 30,03$  mg/kg, com mínimo de  $223,20 \pm 20,90$  mg/kg na estação GH1\_3R e máximo de  $318,60 \pm 16,50$  mg/kg na estação GH1\_10R2 (Tabela V.1-6; Figura V.1-13). A análise

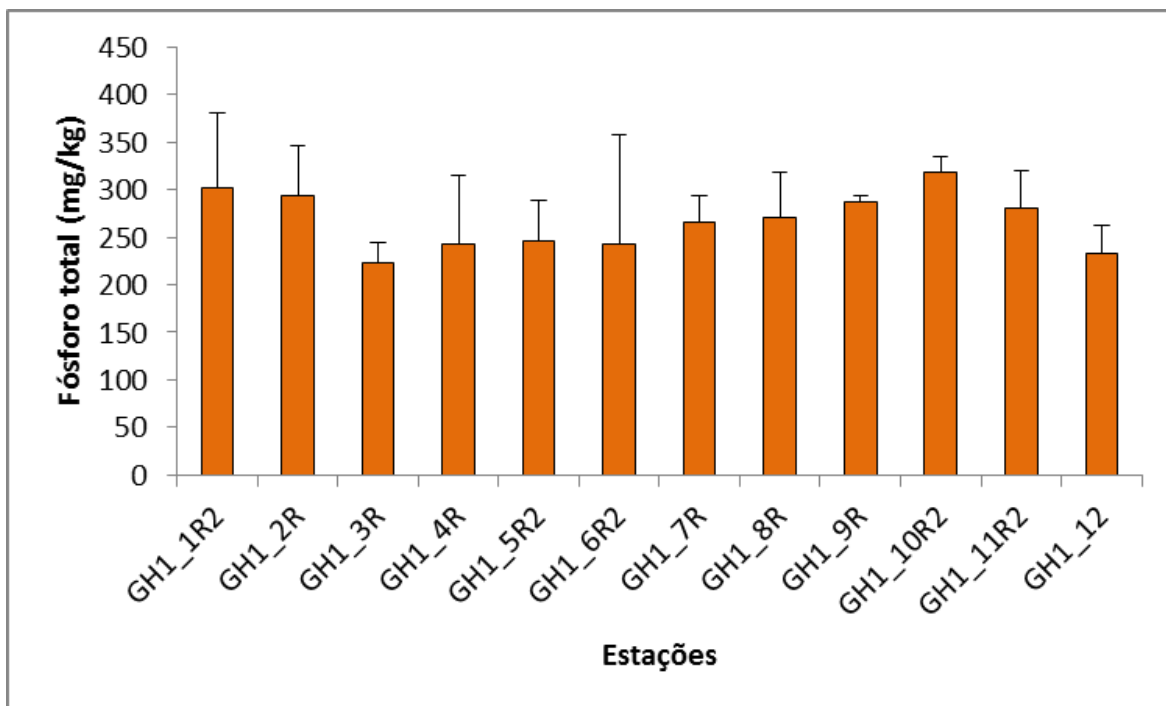


estatística mostrou que não existem diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

**Tabela V.1-6 – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento.**

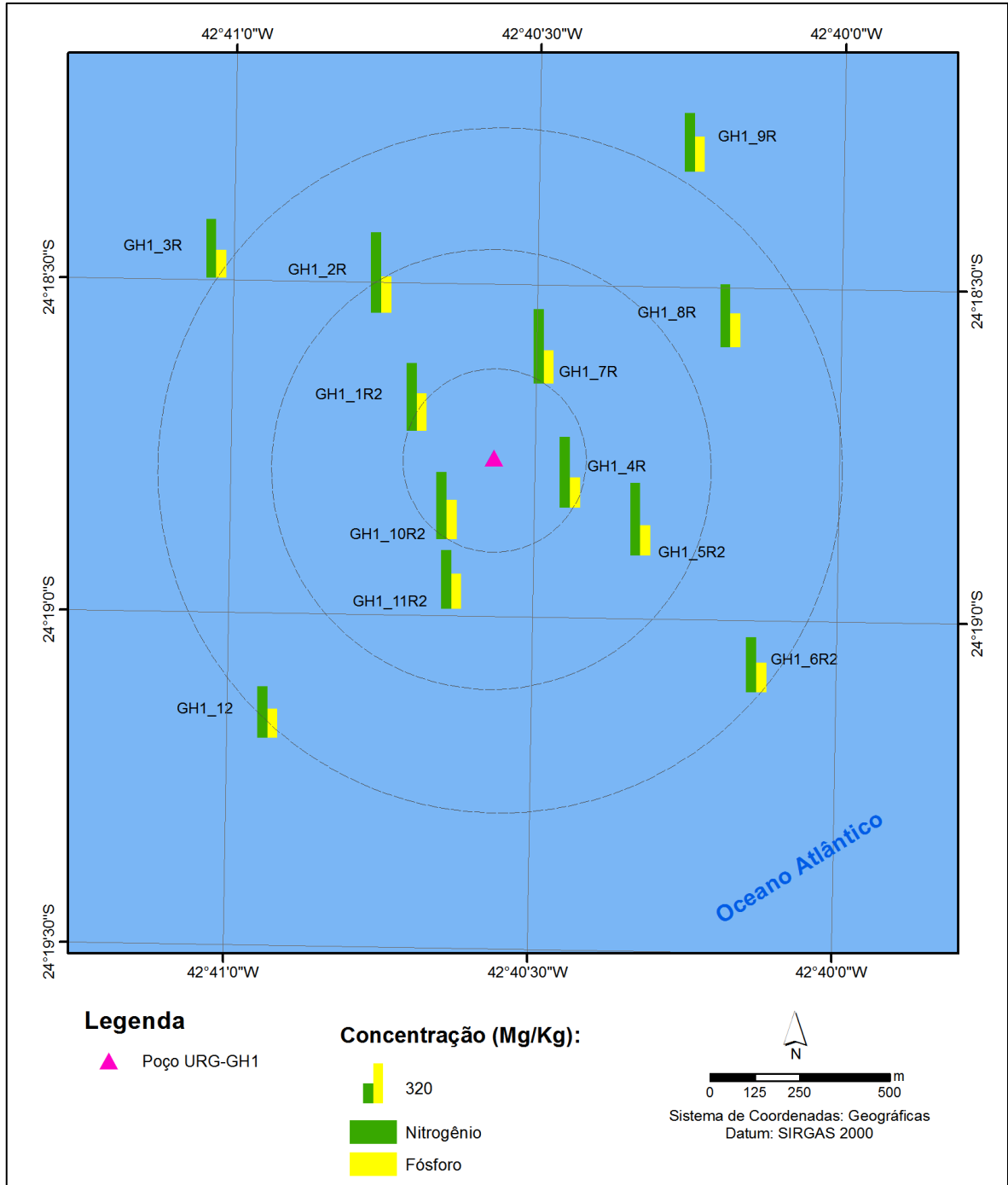
Estações	Nitrogênio total (mg/kg)		Fósforo total (mg/kg)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
GH1_1R2	544,83	± 83,01	301,97	± 79,21
GH1_2R	649,63	± 166,84	293,30	± 53,51
GH1_3R	473,30	± 105,73	223,20	± 20,90
GH1_4R	569,07	± 45,59	243,07	± 71,68
GH1_5R2	587,37	± 164,79	245,77	± 42,55
GH1_6R2	445,20	± 132,26	242,03	± 116,29
GH1_7R	598,50	± 117,06	265,57	± 28,14
GH1_8R	502,40	± 35,16	270,80	± 46,71
GH1_9R	474,03	± 75,85	286,17	± 7,51
GH1_10R2	538,93	± 113,53	318,60	± 16,50
GH1_11R2	471,83	± 86,90	280,00	± 40,36
GH1_12	414,07	± 144,36	232,00	± 31,06

Em comparação com os dados pretéritos da região, os valores obtidos nesta campanha foram em geral consideravelmente menores que os relatados para as campanhas de monitoramento ambiental do Polo Uruguá, cujo mínimo foi de 280,50 mg/kg e máximo de 1.882,38 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012) e em relação as concentrações encontradas na campanha de pré-perfuração do poço GH1, que variaram entre 210,00 e 443,67 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b). Por outro lado, as concentrações da atual campanha foram superiores as encontradas na segunda campanha de monitoramento do poço GH1, com concentrações entre 71,70 e 87,17 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). Esta diferença nas concentrações de fósforo total está provavelmente relacionada à variabilidade natural. Pellens *et al.* (1998), em um estudo sobre a distribuição de fósforo na plataforma continental interna de Santa Catarina, encontraram concentrações de fósforo total semelhantes aos encontrados nesse estudo, variando entre 40 e 583 mg/kg.



**Figura V.1-13** – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

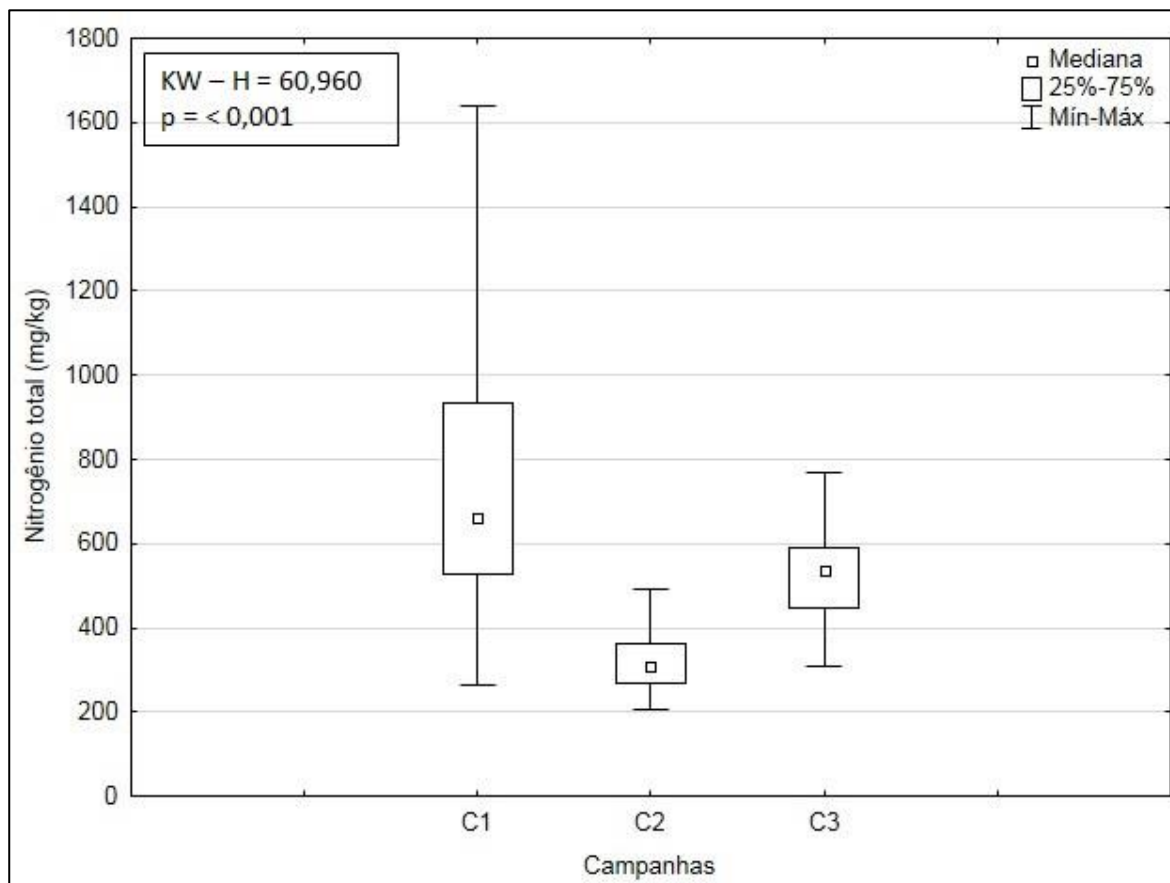
Não foi observado um padrão de distribuição espacial das concentrações de nitrogênio e fósforo totais, mas de maneira geral as maiores concentrações destes compostos foram encontradas nas estações mais próximas do poço GH1 (Figura V.1-14).



**Figura V.1-14 – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos**

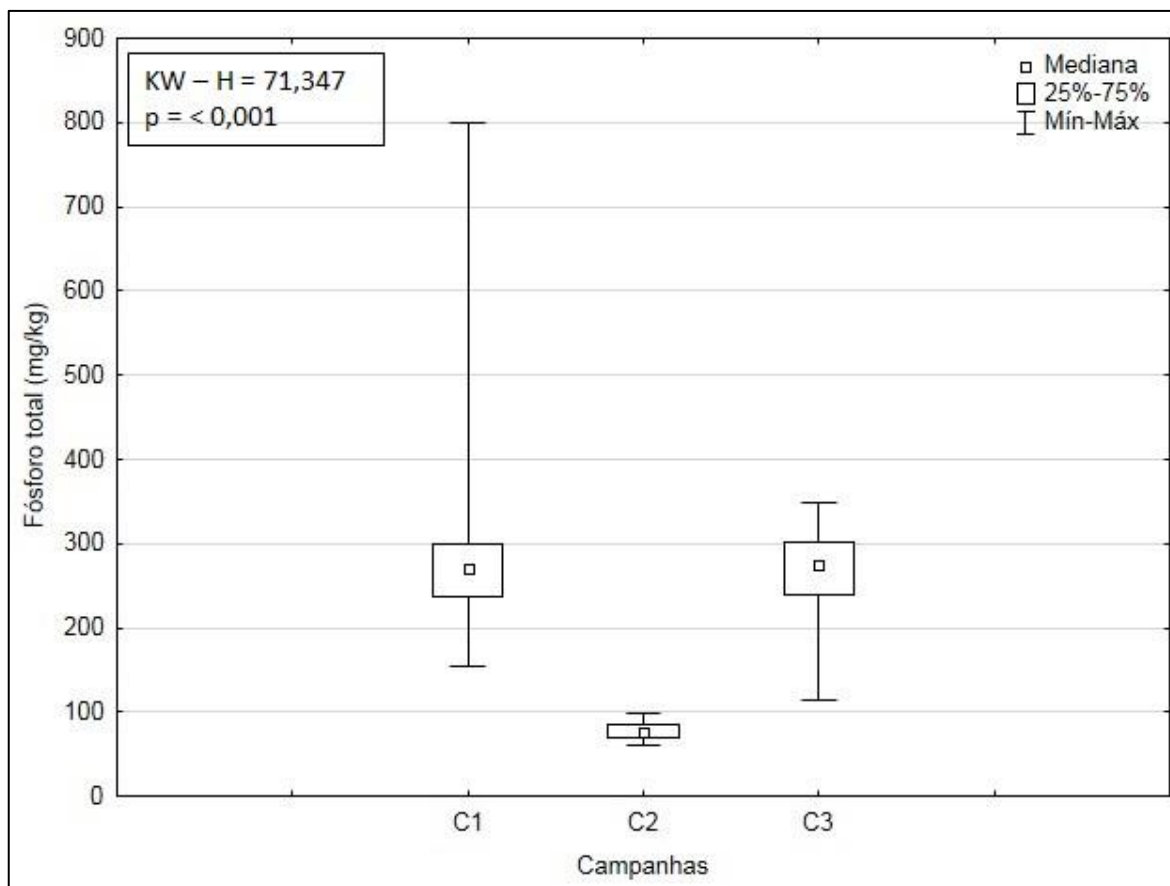
Na Figura V.1-15 são apresentadas as faixas das concentrações de nitrogênio total obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 1ª campanha mostrou maiores valores de nitrogênio total. Na comparação dos resultados de concentração de nitrogênio total nas

campanhas foram detectadas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A segunda campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-15** – Concentrações de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.1-16 são apresentadas as faixas de concentração de fósforo total obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 1ª campanha mostrou maiores valores de fósforo total. Na comparação dos resultados de concentração de fósforo nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A segunda campanha diferiu significativamente das demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-16** – Concentrações de fósforo total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

### V.1.3 - Metais

Um dos maiores problemas entre os contaminantes marinhos é a presença de metais traço (metais em baixa concentração), pois apresentam, ao mesmo tempo, toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar (MARINS *et al.*, 2002). Essas características fazem com que a presença, mobilidade e disponibilidade de metais em sedimentos sejam motivo de grande preocupação, pois sua presença nos sedimentos é uma garantia de persistência de contaminação durante longos períodos (WASSERMAN & WASSERMAN, 2008).

As concentrações de metais podem ter diversas origens, tais como intemperismo das rochas e fragmentos de rochas em leitos de rios; precipitação

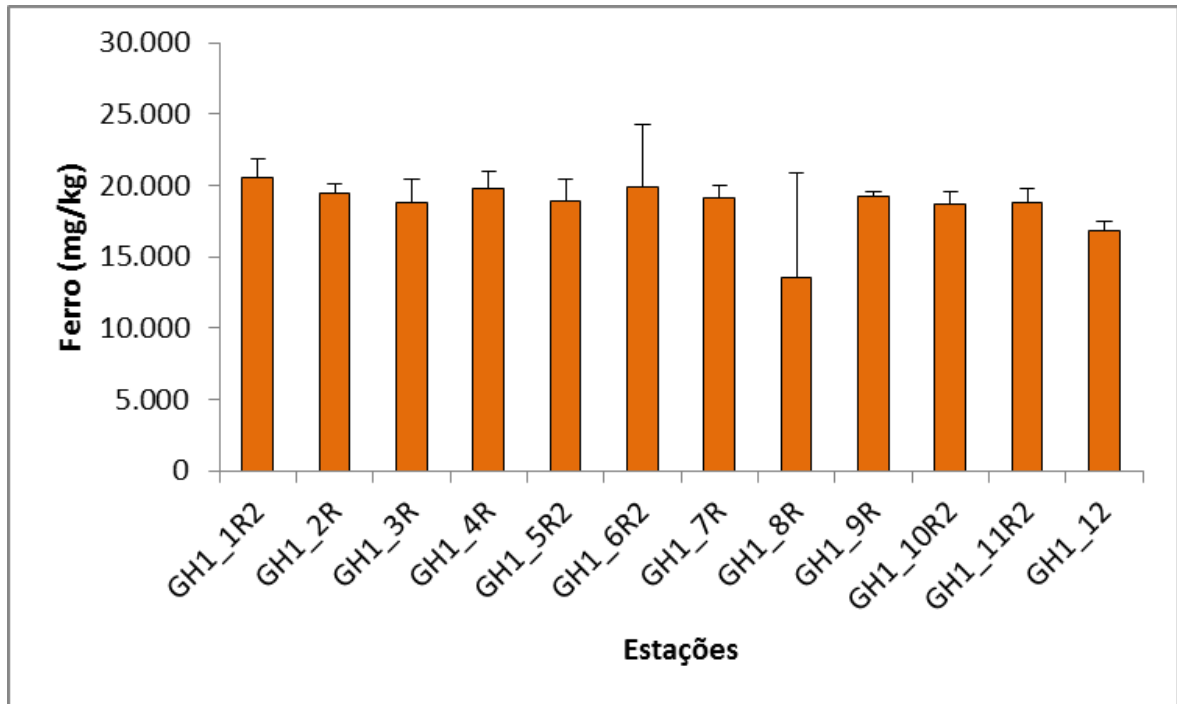
ou solubilização de substâncias adsorvidas com consequentes mudanças das características físico-químicas das águas; originadas de resíduos biológicos e produtos de decomposição de substâncias orgânicas; originados de conchas calcárias e silicosas; originados da precipitação atmosférica próxima às áreas urbanas e industriais; e decorrentes de processos de descarga dos dejetos urbano-industriais (AGUIAR NETO *et al.*, 2007).

Outras fontes de metais podem ser relacionadas com fases de um empreendimento de exploração de petróleo e gás, e variabilidades espaciais e temporais precisam ser observadas e controladas em regiões onde ocorrem perfurações de poços (PULGATI *et al.*, 2005).

Dentre todos os metais analisados (alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro total, manganês, mercúrio, níquel, vanádio e zinco) o ferro e o alumínio apresentaram as mais elevadas concentrações nas amostras. As menores concentrações foram apresentadas pelos elementos chumbo e níquel, além de mercúrio e cádmio, que não foram detectados.

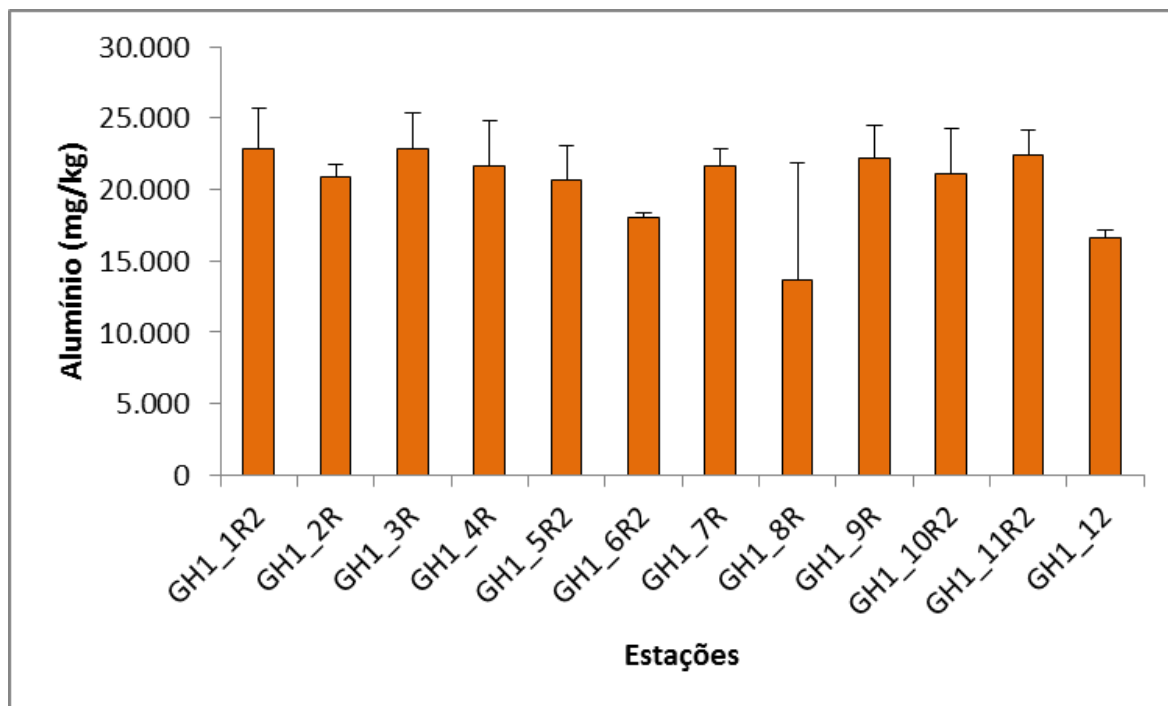
Dessa forma, a sequência de concentrações obtida na presente campanha foi a seguinte: Al > Fe > Ba > Mn > Zn > V > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd > Hg. Esta sequência segue o padrão encontrado nas campanhas de monitoramento do Polo Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012) e nas campanhas de monitoramento do poço GH1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b), exceto as concentrações de alumínio, bário e cobre, que foram superiores na atual campanha, além de ser a distribuição esperada para ambientes naturais (LACERDA & MARINS, 2006).

A concentração média de ferro nas estações amostradas foi de  $18.638,89 \pm 1.843,95$  mg/kg, com mínimo de  $13.533,33 \pm 7.300,23$  mg/kg em GH1\_8R e máximo de  $20.600,00 \pm 1.300,00$  mg/kg em GH1\_1R2 (Tabela V.1-7; Figura V.1-17). O baixo valor do desvio padrão indica que a concentração de ferro é homogênea entre as estações, o que é corroborado pelo fato de que não foram identificadas diferenças significativas na concentração de ferro entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-17** – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de alumínio variaram entre  $13.683,33 \pm 8.132,70$  mg/kg, na estação GH1\_8R, e  $22.900,00 \pm 2.457,64$  mg/kg, na estação GH1\_3R (Tabela V.1-7; Figura V.1-18). A média entre as estações foi de  $20.837,20 \pm 2.837,20$  mg/kg e não foram observadas diferenças significativas entre as estações (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).

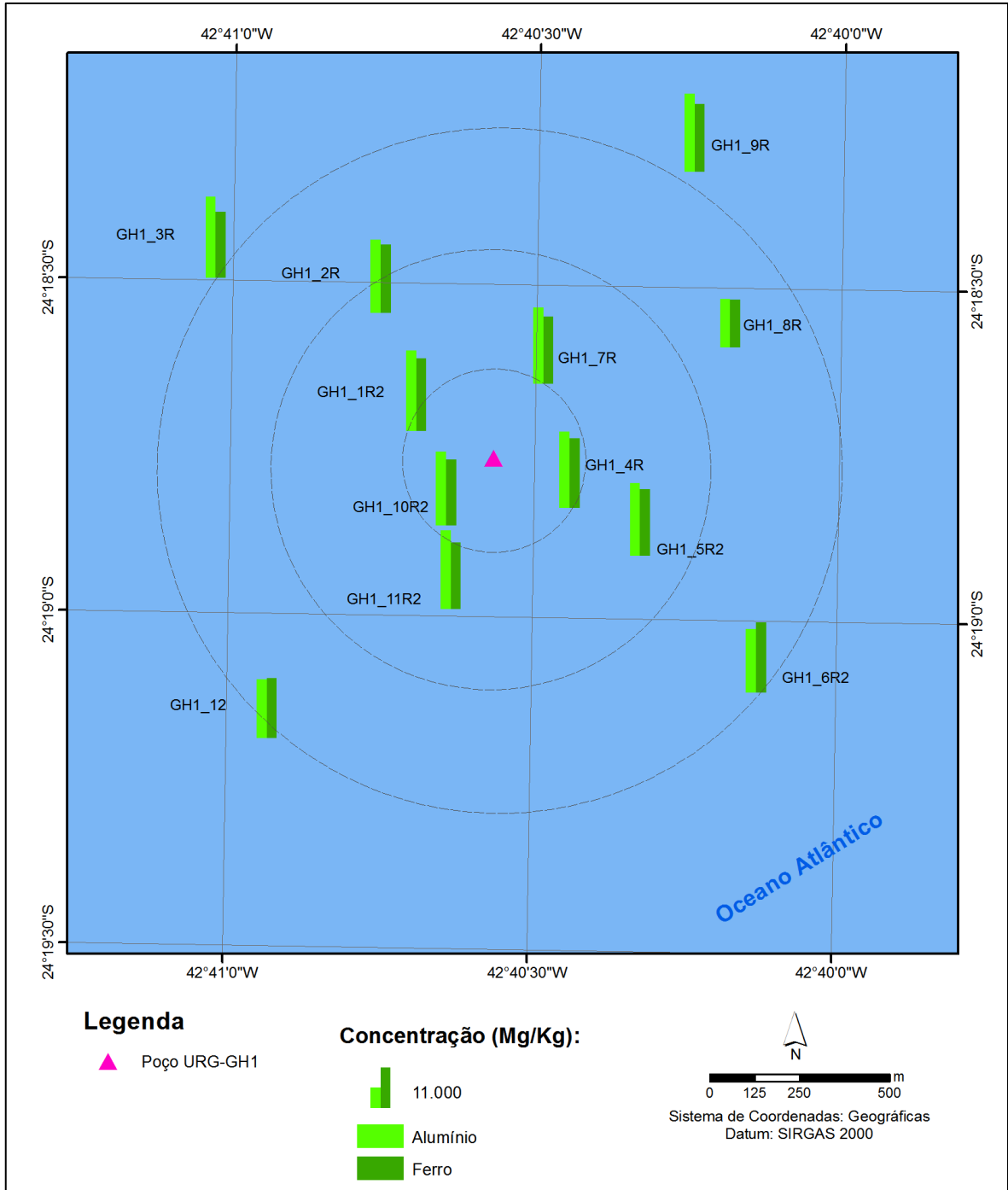


**Figura V.1-18** – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de ferro e alumínio obtidas neste estudo foram, de maneira geral, inferiores em relação às concentrações encontradas nas campanhas realizadas no âmbito do monitoramento ambiental do Polo Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012) e superiores em relação as encontradas nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b), apresentados na Tabela V.1-9.

Após a realização dos testes estatísticos e da análise gráfica da distribuição espacial das concentrações destes metais (Figura V.1-19), não foi possível estabelecer um padrão de distribuição evidente, o que indica uma distribuição uniforme destes metais entre as estações amostradas, com tendência de maiores concentrações nas estações mais distantes do poço GH1.

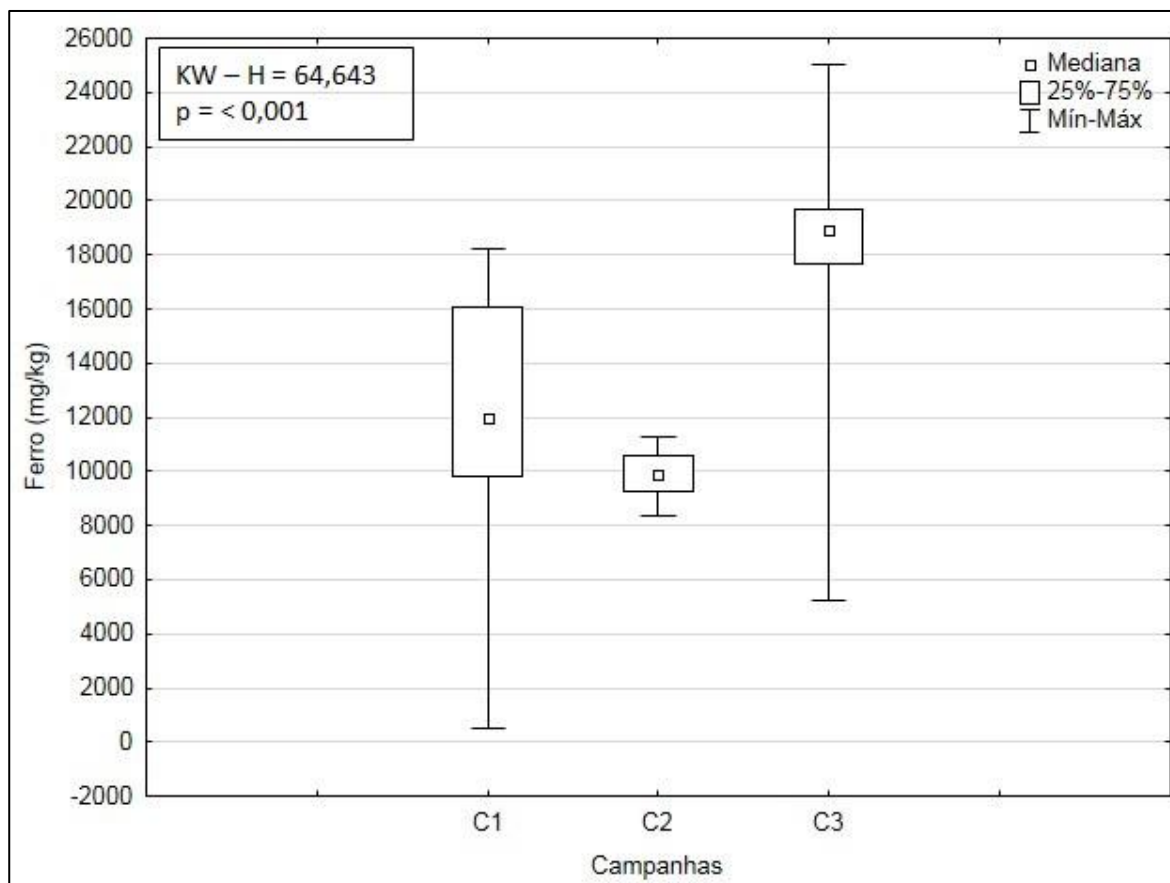




**Figura V.1-19 – Distribuição espacial das concentrações de alumínio e ferro (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.**

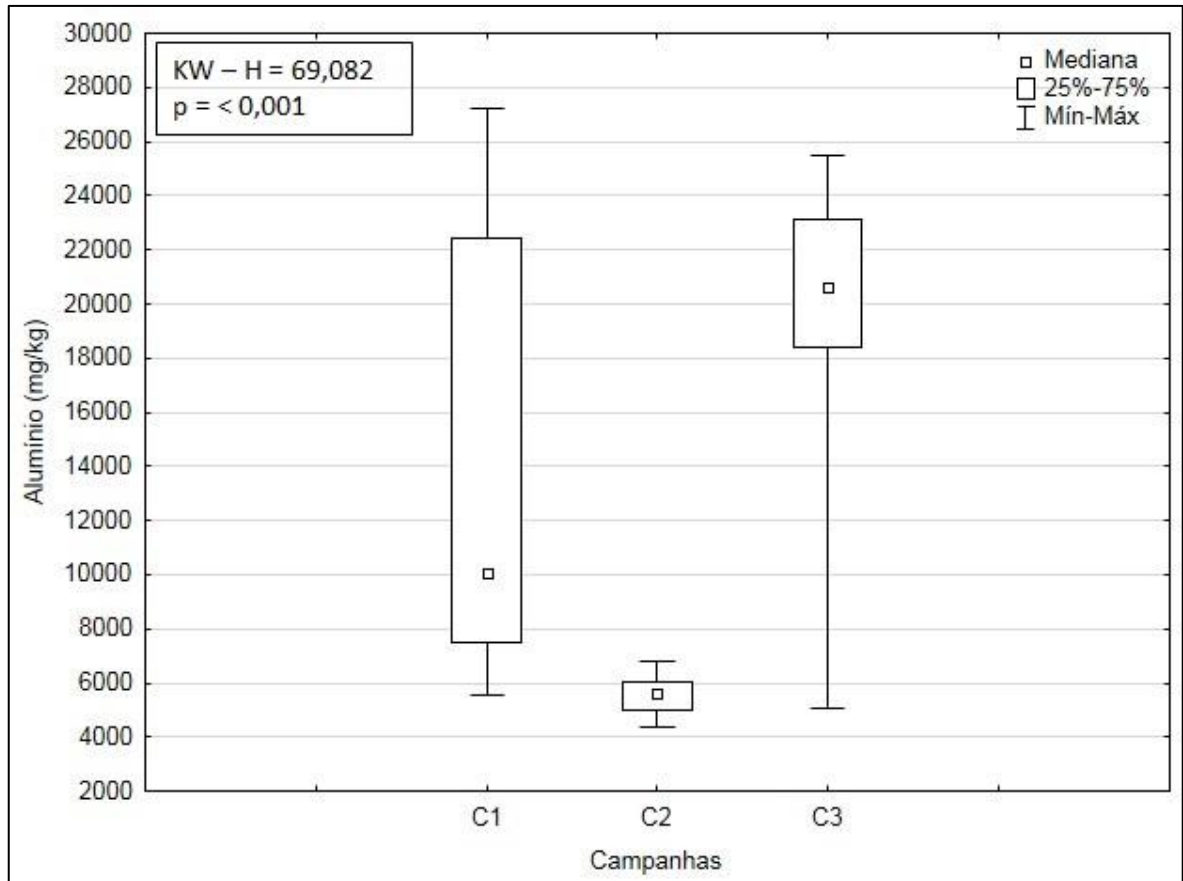
Na Figura V.1-20 são apresentadas as faixas das concentrações de ferro obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou maiores valores de ferro. Na comparação dos resultados de concentração de ferro nas campanhas foram detectadas diferenças

significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



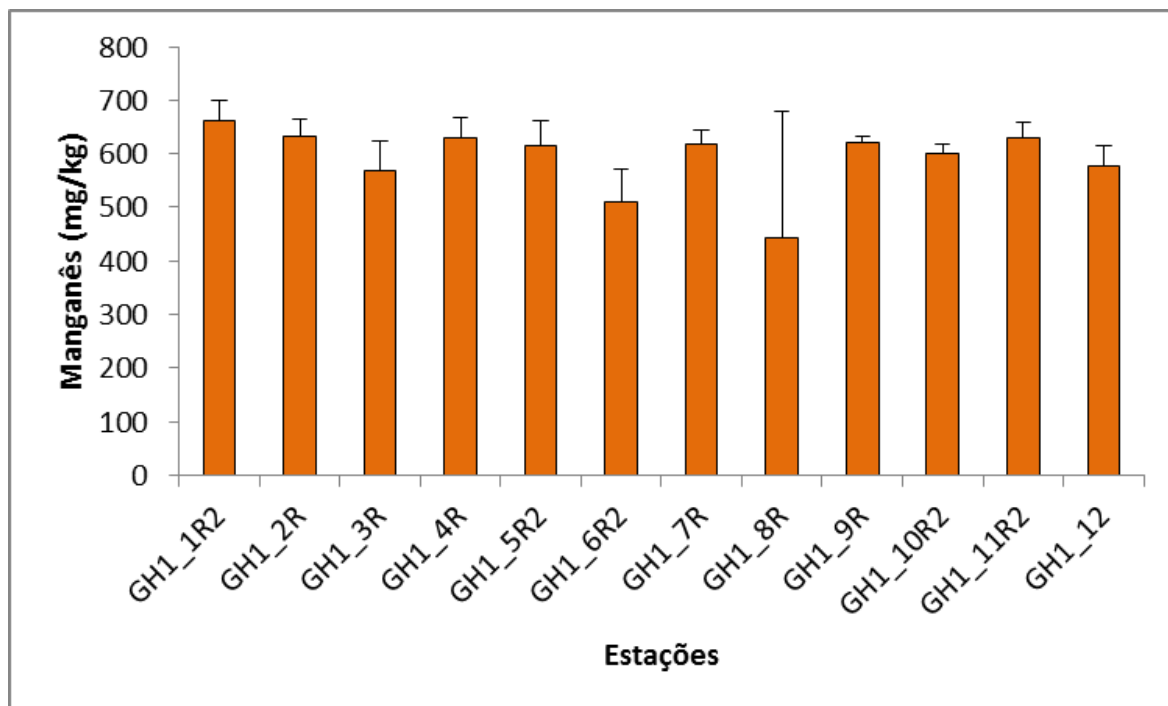
**Figura V.1-20** – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.1-21 são apresentadas as faixas de concentração de alumínio obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a primeira campanha apresentou concentração de alumínio máxima superior às demais campanhas. Na comparação dos resultados de concentração de alumínio nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-21** – Concentrações de alumínio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

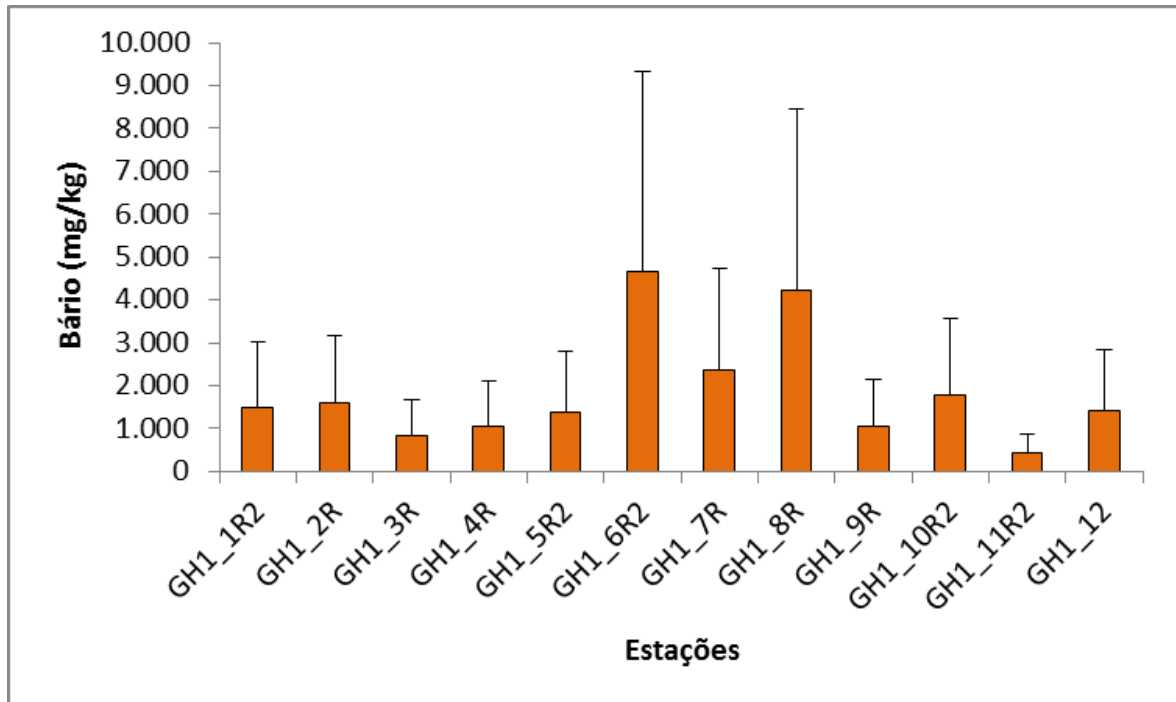
A concentração média de manganês foi de  $592,83 \pm 61,38$  mg/kg, cujo valor mínimo observado foi de  $444,00 \pm 235,19$  mg/kg, na estação GH1\_8R, e máximo de  $661,33 \pm 39,80$  mg/kg, na estação GH1\_1R2 (Tabela V.1-7; Figura V.1-22). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-22** – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de manganês obtidas neste estudo mostram-se inferiores em relação aos dados das campanhas realizadas no âmbito do monitoramento ambiental do Polo Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b e 2012) e superiores em relação aos dados das duas primeiras campanhas de monitoramento do Poço GH1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b) apresentados na Tabela V.1-9.

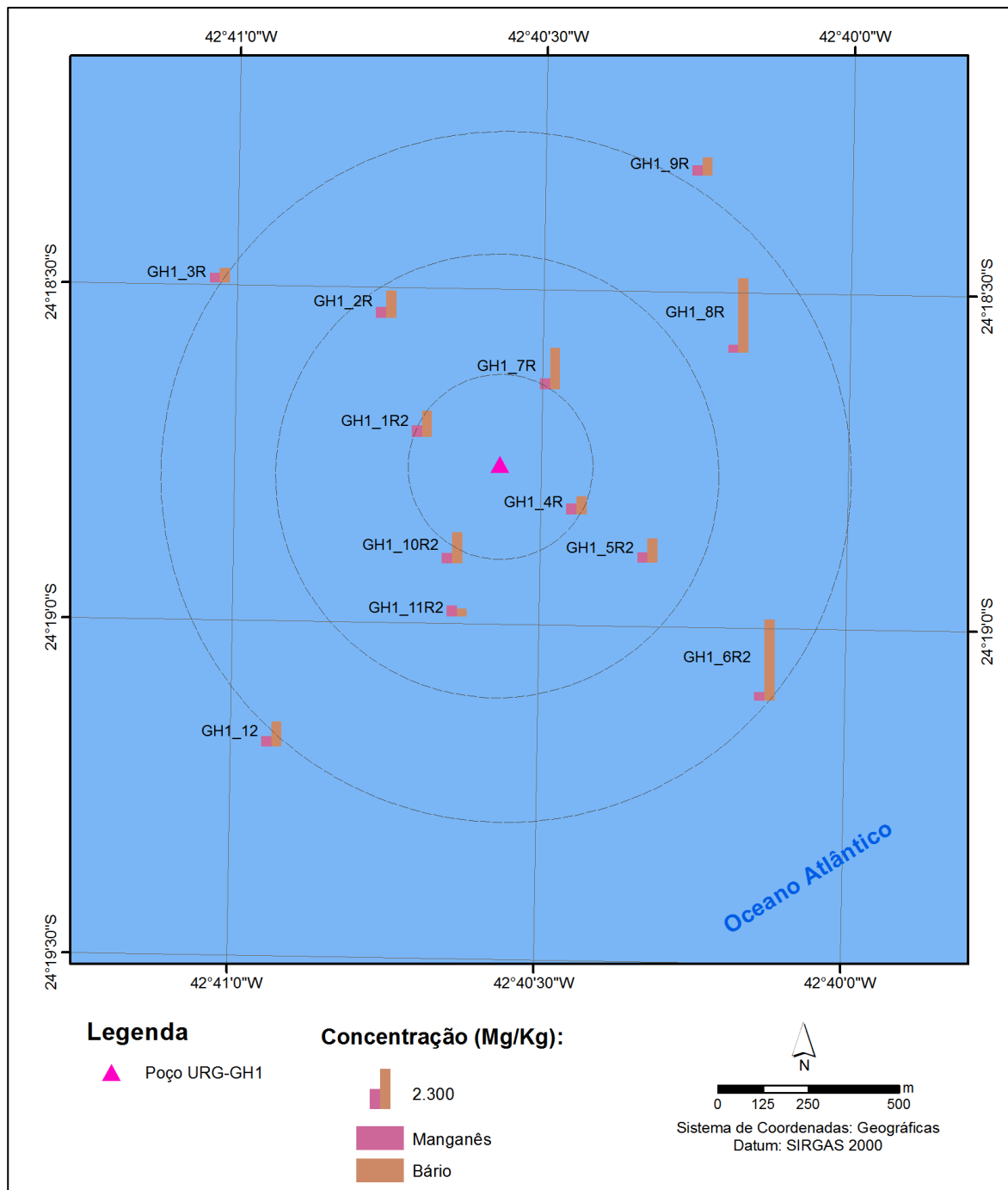
As concentrações de bário variaram de  $440,33 \pm 89,59$  mg/kg, na estação GH1\_11R2, até  $4.663,33 \pm 5.159,58$  mg/kg, na estação GH1\_6R2, sendo que a média entre as estações foi de  $1.863,14 \pm 1.304,44$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-23). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-23** – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de bário verificadas na atual campanha são maiores do que as encontradas nas campanhas anteriores (Tabela V.1-9).

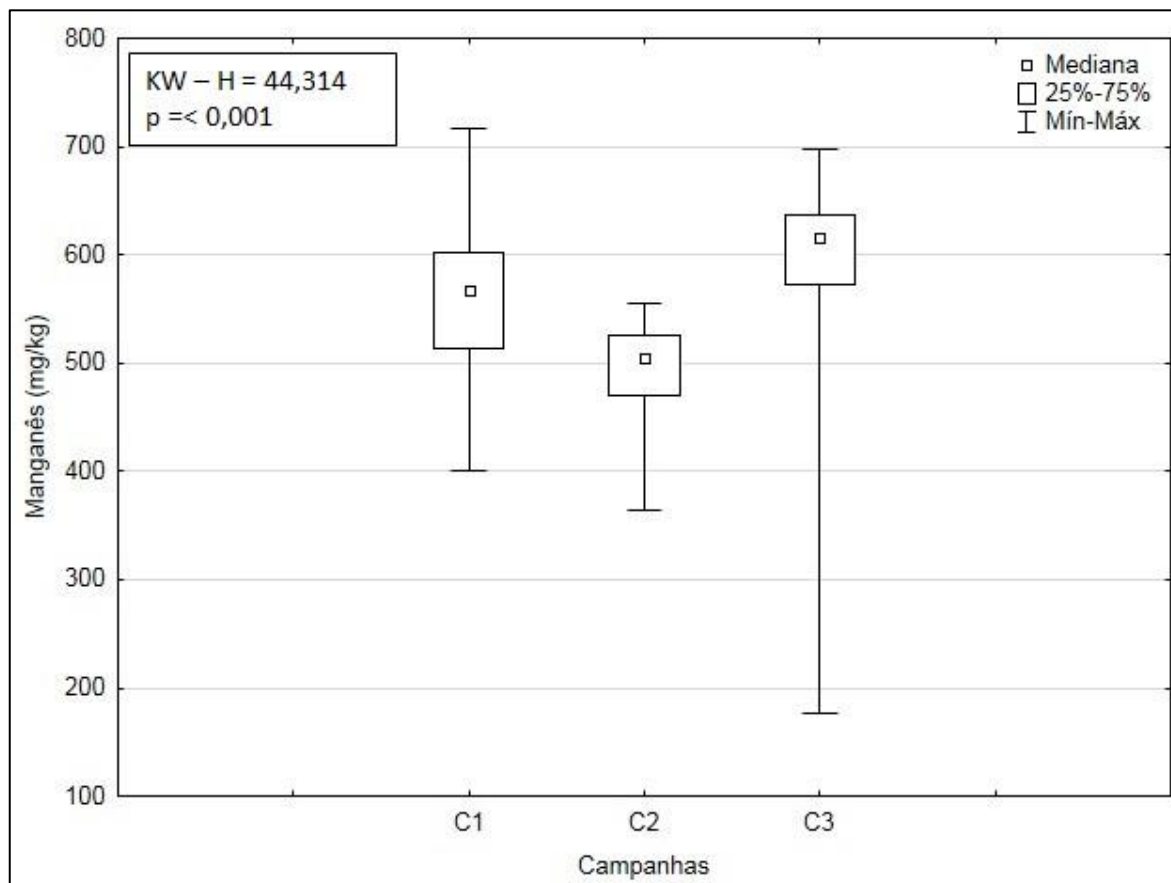
A análise da distribuição espacial das concentrações de manganês e de bário permitiu a visualização de um padrão de distribuição, com maiores concentrações nas estações a leste do poço perfurado (Figura V.1-24).



**Figura V.1-24** – Distribuição espacial das concentrações de manganês e bário (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos

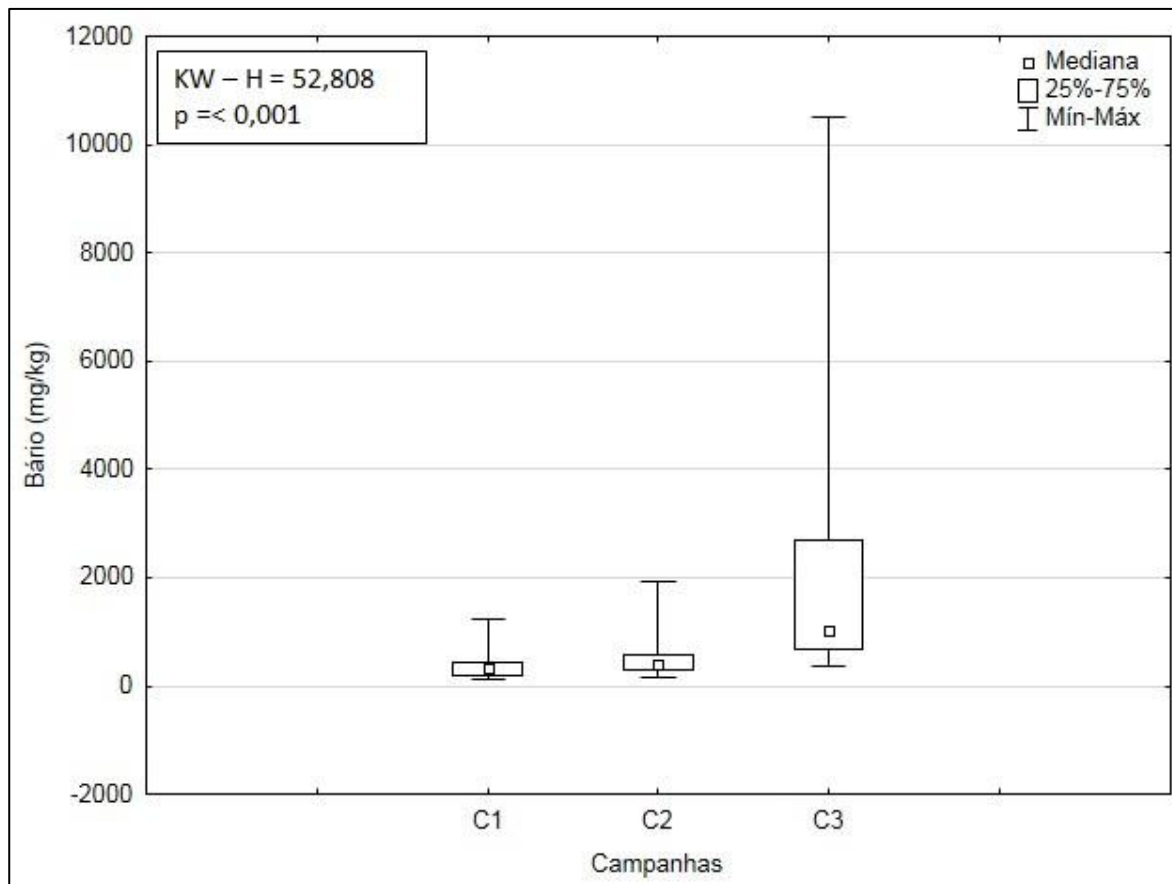
Na Figura V.1-25 são apresentadas as faixas das concentrações de manganês obtidas nas amostras das três campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou maior intervalo de valores de concentração. Na comparação dos resultados de concentração de manganês

nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-25** – Concentrações de manganês (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

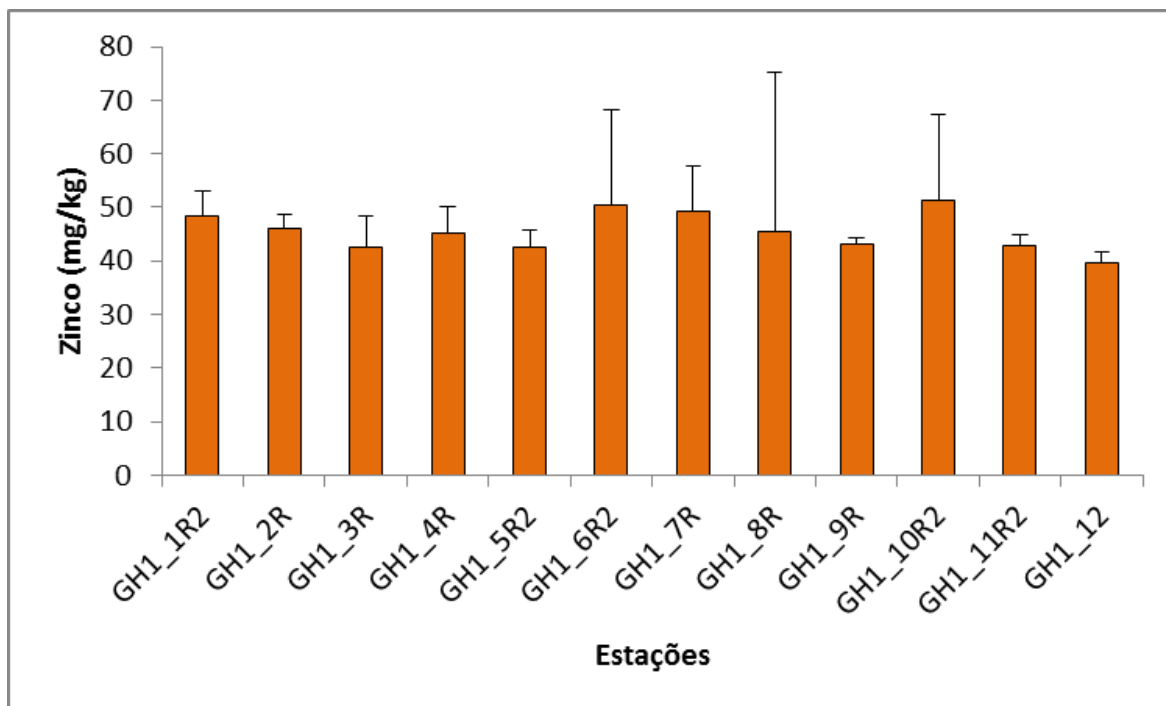
Na Figura V.1-26 são apresentadas as faixas das concentrações de bário obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou maiores valores de bário. Na comparação dos resultados de concentração de bário nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-26** – Concentrações de bário (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

A concentração média de zinco foi de  $45,57 \pm 3,65$  mg/kg, com mínimo de  $39,77 \pm 2,02$  mg/kg na estação GH1\_12, e  $51,33 \pm 15,92$  mg/kg, na estação GH1\_10R2 (Tabela V.1-7; Figura V.1-27). Estes valores são uma ordem de magnitude menor que o limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 454/12 para sedimentos marinhos nível 1, de 150 mg/kg. Análogo às concentrações de bário, as concentrações de zinco também não apresentaram diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

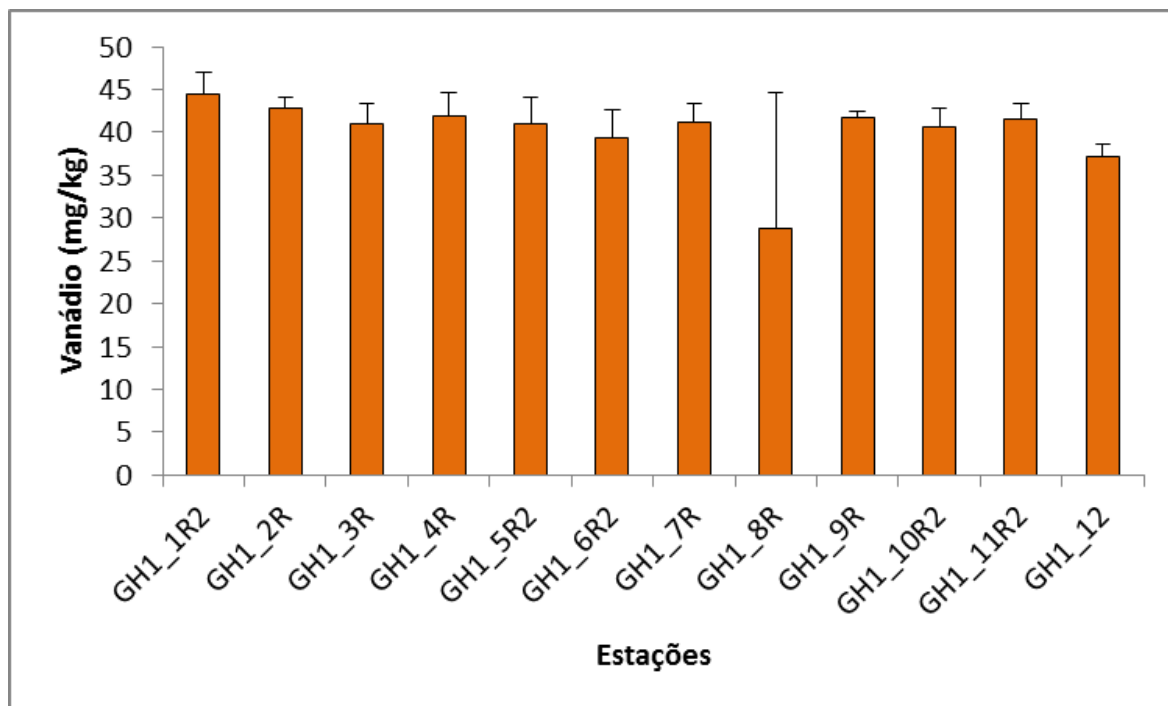




**Figura V.1-27** – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de zinco observadas estão de acordo com dados pretéritos já citados para a região de estudo. A terceira campanha de monitoramento de Uruguá e a segunda campanha de monitoramento do poço GH1 apresentaram concentrações um pouco maiores (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b) (Tabela V.1-9).

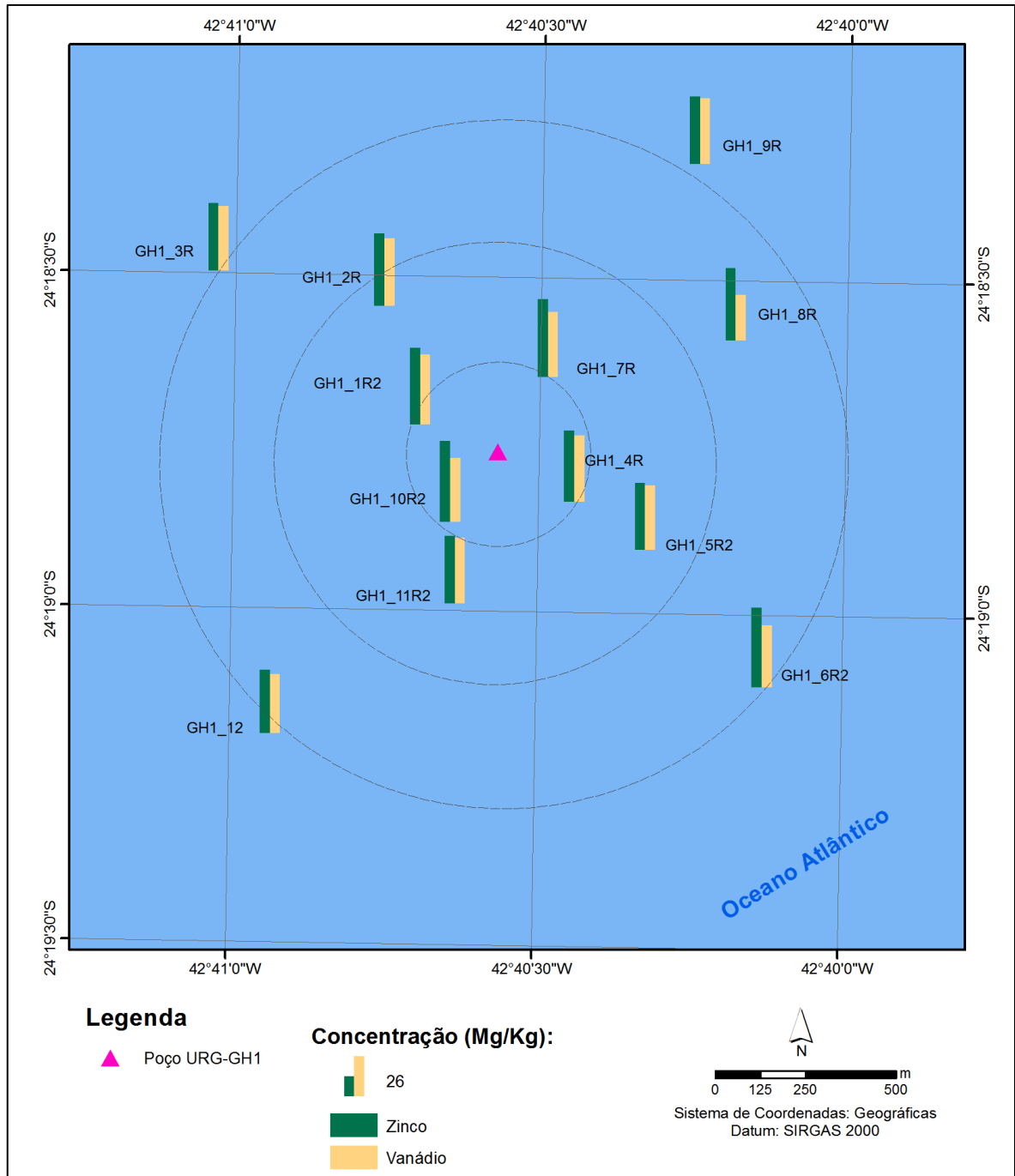
As concentrações de vanádio variaram entre  $28,80 \pm 15,76$  mg/kg na estação GH1\_8R, e  $44,40 \pm 2,65$  mg/kg na estação GH1\_1R2, sendo que a média das estações foi de  $40,12 \pm 3,98$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-28). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-28** – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de vanádio encontradas no atual monitoramento foram inferiores em relação às concentrações encontradas nas campanhas de monitoramento realizadas por Petrobras/Analytical Solutions (2010a, 2010b, 2012) e superiores as encontradas por Petrobras/Bourscheid (2014b, 2015b) apresentados na Tabela V.1-9.

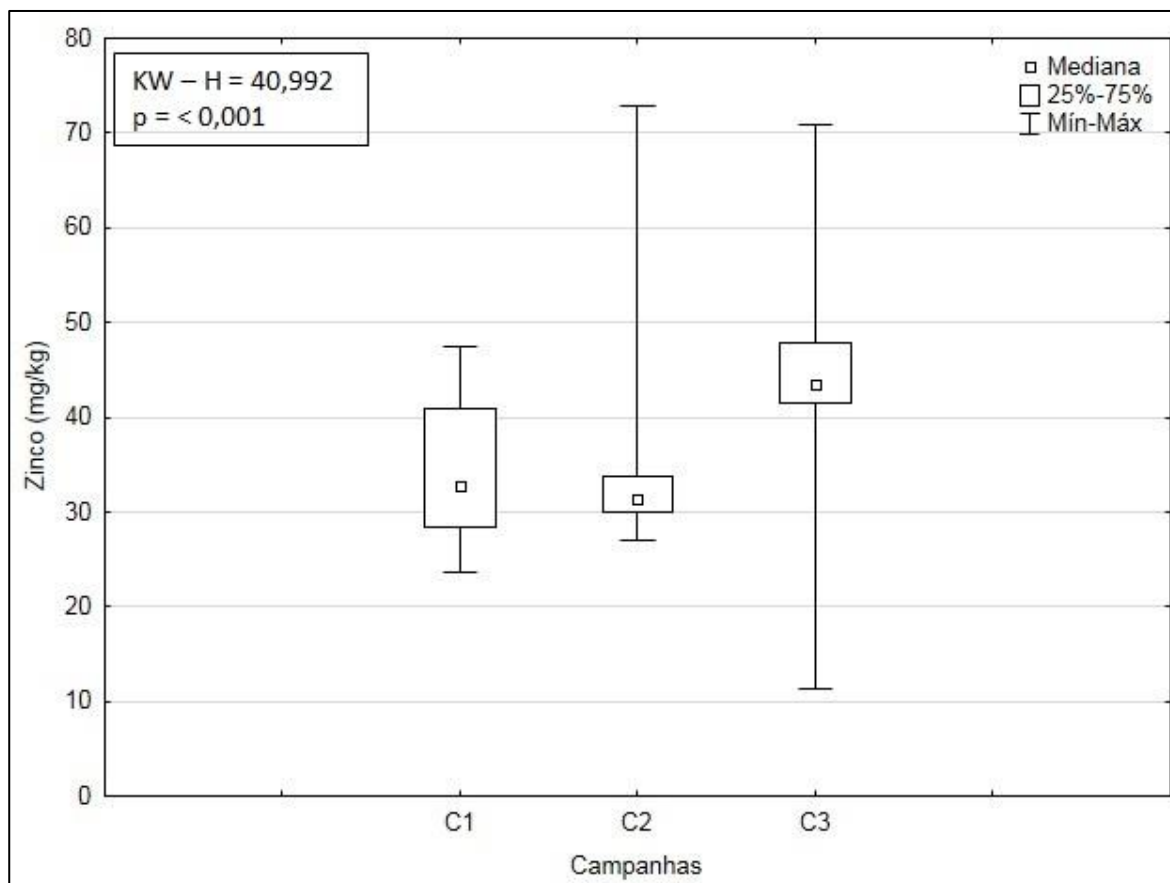
Não foi verificado um padrão na distribuição espacial destes dois parâmetros (Figura V.1-29).



**Figura V.1-29** – Distribuição espacial das concentrações de zinco e vanádio (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

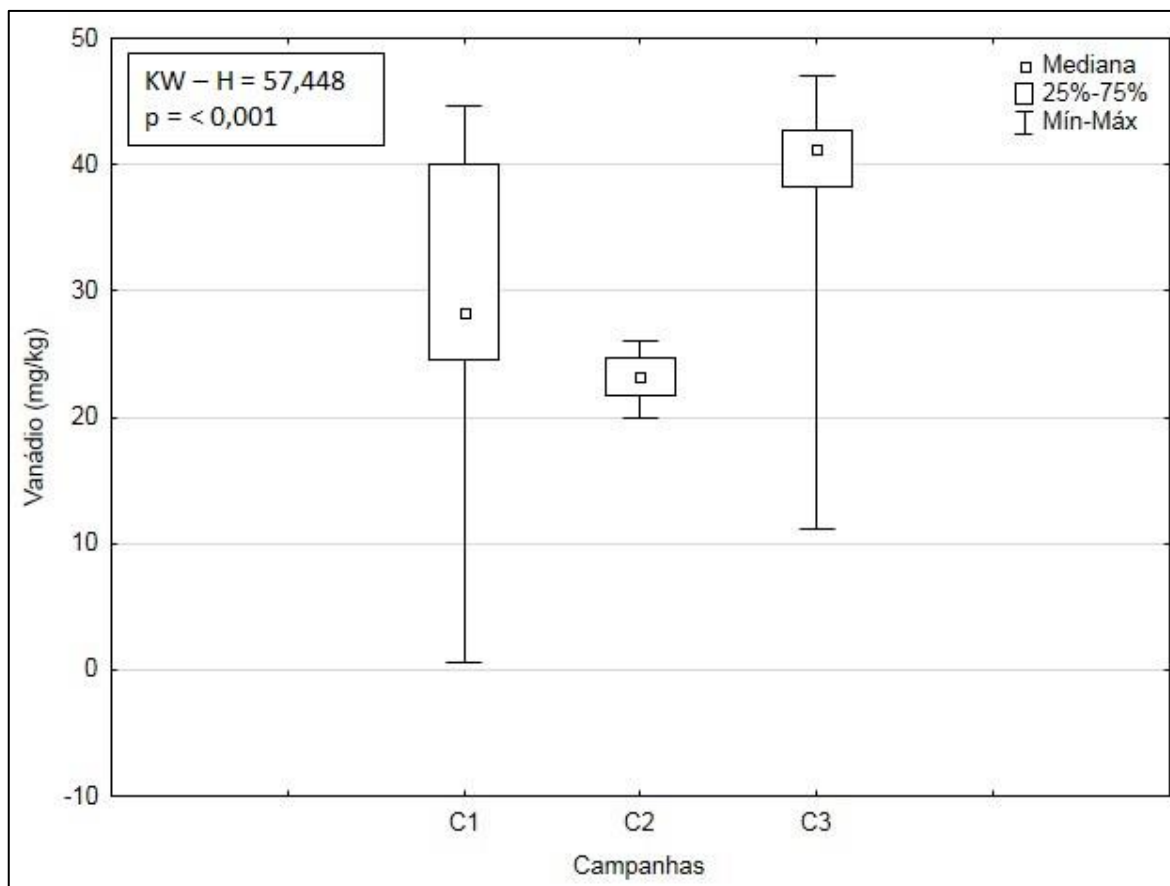
Na Figura V.1-30 são apresentadas as faixas de concentração de zinco obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores concentrações. Na comparação dos resultados de concentração de zinco nas campanhas foram detectadas diferenças

significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-30** – Concentrações de zinco (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.1-31 são apresentadas as faixas das concentrações de vanádio obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a atual campanha apresentou maiores valores, enquanto que a 1ª campanha apresentou maior variação nos valores de concentração de vanádio. Na comparação dos resultados de concentração de vanádio das campanhas foram detectadas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).

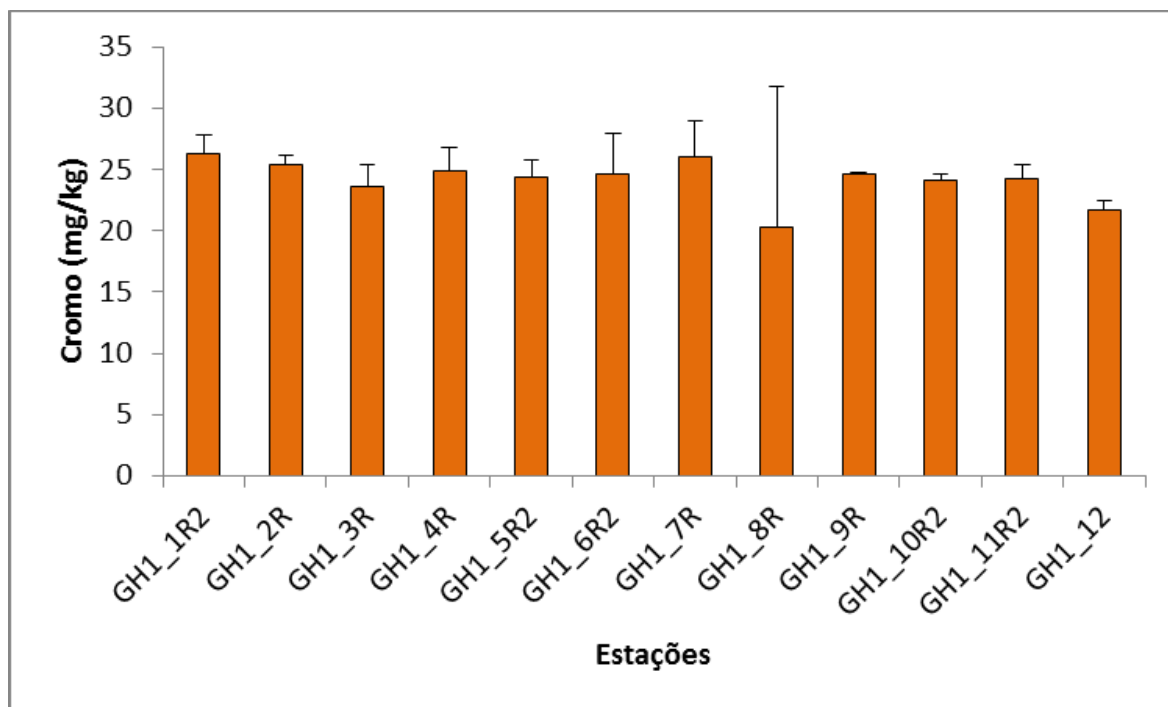


**Figura V.1-31** – Concentrações de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

As concentrações de cromo observadas resultaram em uma concentração média de  $24,17 \pm 1,71$  mg/kg, com mínimo de  $20,22 \pm 11,49$  mg/kg na estação GH1\_8R e máximo de  $26,30 \pm 1,50$  mg/kg, na estação GH1\_1R2 (Tabela V.1-7; Figura V.1-32). Não houve diferença significativa nas concentrações de cromo entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

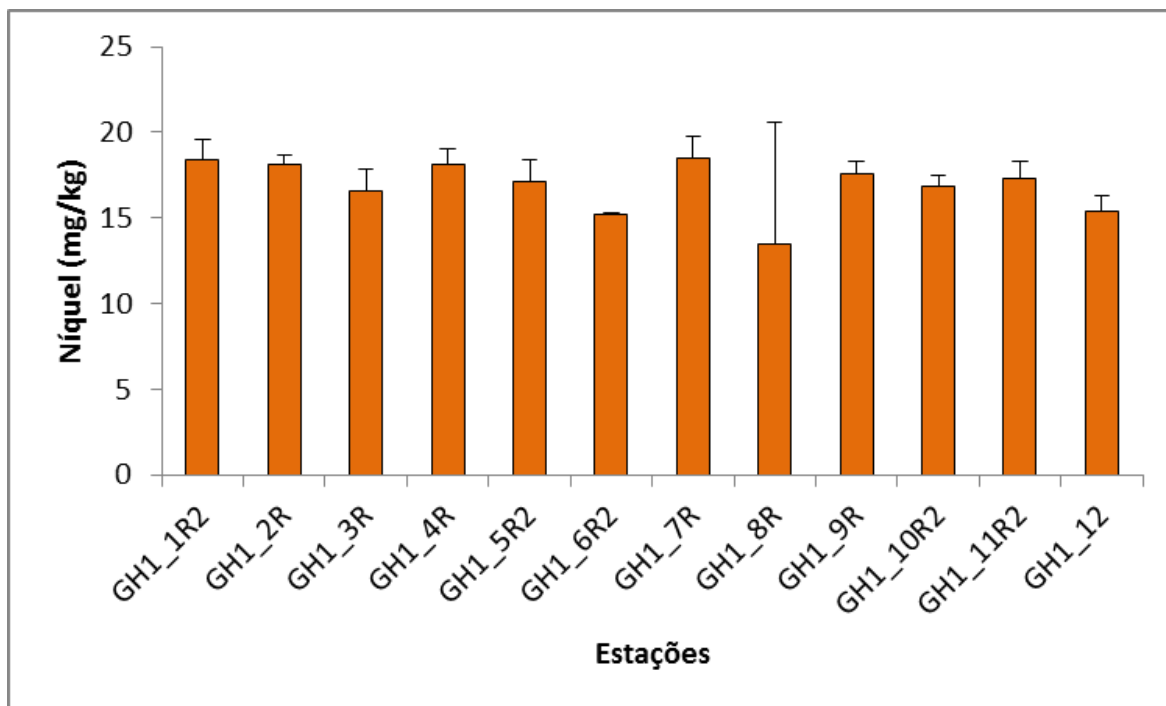
A Resolução CONAMA nº 454/12 define que a concentração limite de cromo para sedimentos marinhos nível 1 é de 81 mg/kg, considerando o objetivo da referida resolução, que é classificar a qualidade de sedimentos costeiros passíveis de serem dragados, as concentrações encontradas na atual campanha estão abaixo do limite estabelecido. Embora a área abrigue diversos empreendimentos antrópicos no entorno, como por exemplo, o campo de Uruguá,

todos os valores encontrados nesta campanha estiveram bem abaixo do limite estabelecido pela legislação.



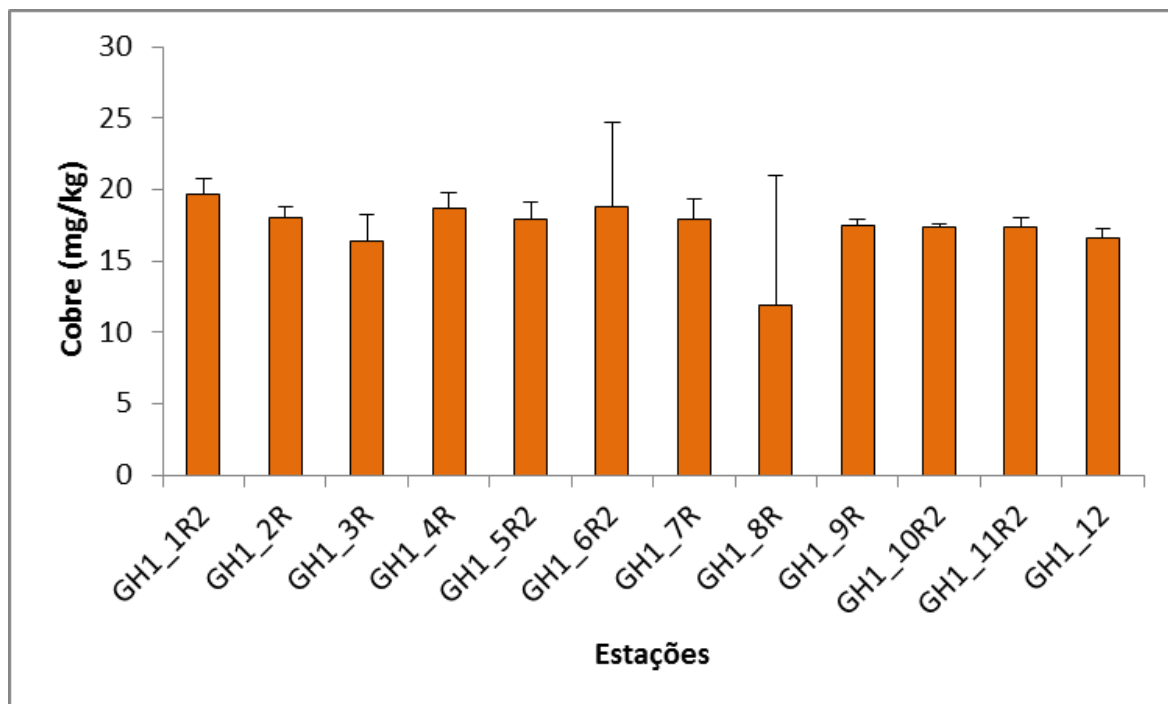
**Figura V.1-32** – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de níquel variaram entre  $13,44 \pm 7,15$  mg/kg, na estação GH1\_8R e  $18,50 \pm 1,25$  mg/kg, na estação GH1\_7R. A média entre as estações foi de  $16,90 \pm 1,53$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-33). Foram encontradas diferenças significativas entre as estações amostradas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste realizado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.



**Figura V.1-33** – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de cobre apresentaram mínimo de  $11,92 \pm 9,10$  mg/kg na estação GH1\_8R, e máximo de  $19,63 \pm 1,10$  mg/kg, na estação GH1\_1R2, com média de  $17,37 \pm 1,93$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-34). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

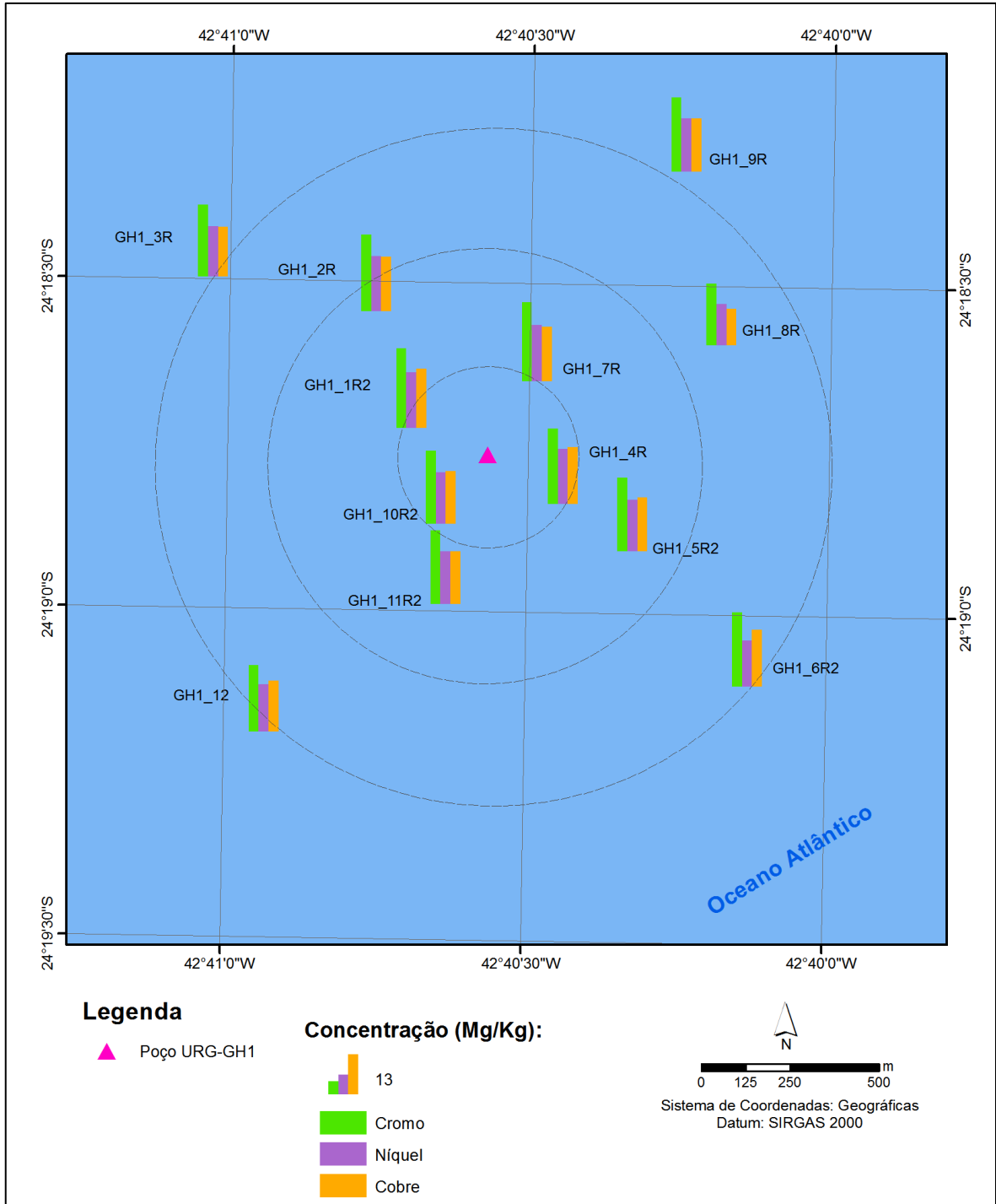


**Figura V.1-34** – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de cromo, níquel e cobre encontradas no atual monitoramento foram, de maneira geral, inferiores em relação as concentrações encontradas nas campanhas de monitoramento realizadas por Petrobras/Analytical Solutions (2010a, 2010b, 2012) e superiores as encontradas por Petrobras/Bourscheid (2014b, 2015b) apresentados na Tabela V.1-9. No entanto, quando comparados aos valores estabelecidos pela CONAMA nº 454/12, as concentrações de cobre nas amostras do atual monitoramento mostraram-se muito abaixo do limite estabelecido para sedimentos marinhos nível 1 (34 mg.Cu/kg). Ressalta-se novamente que este resultado condiz com o esperado para a região de estudo.

A análise da distribuição espacial das concentrações destes metais (Figura V.1-35) não permitiu a definição de um padrão de distribuição evidente, o que indica uma distribuição uniforme destes metais entre as estações, com leve tendência de maiores concentrações no eixo noroeste-sudeste.

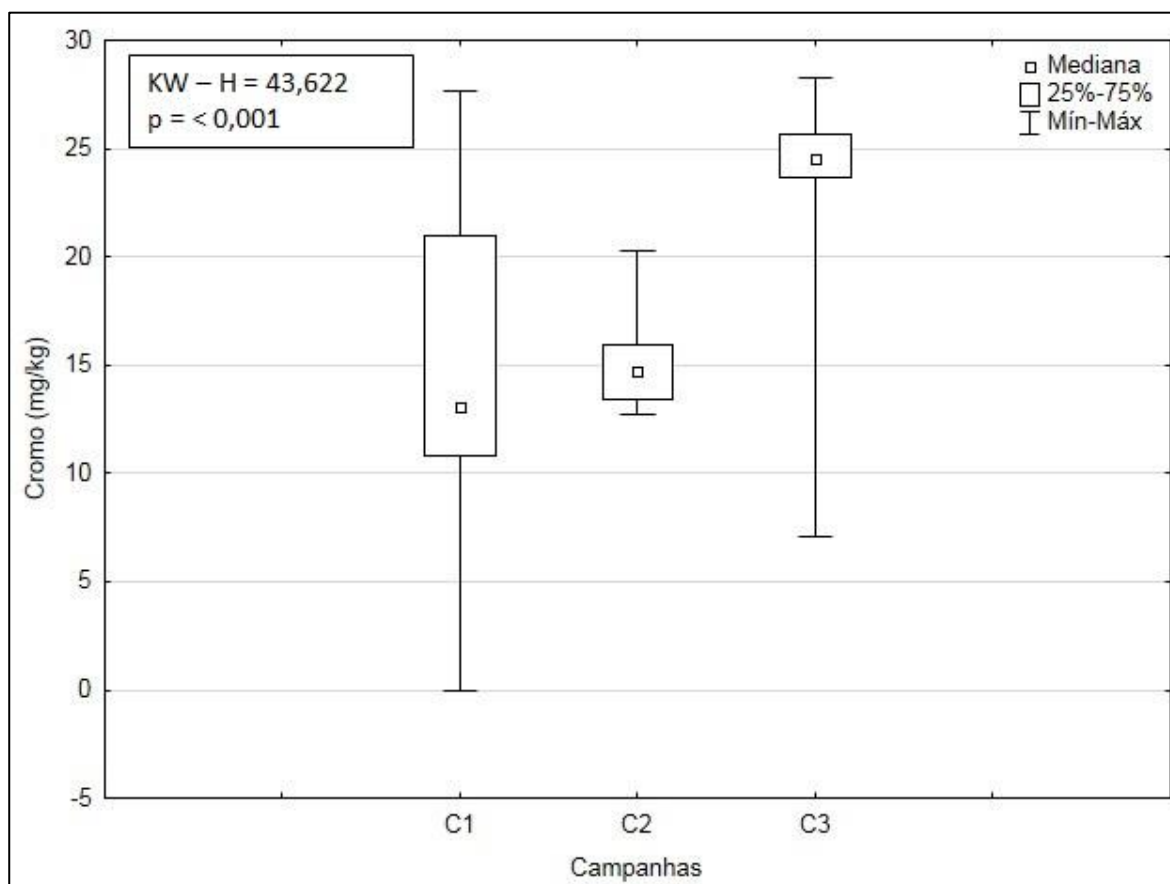




**Figura V.1-35** – Distribuição espacial das concentrações de cromo, níquel e cobre (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos

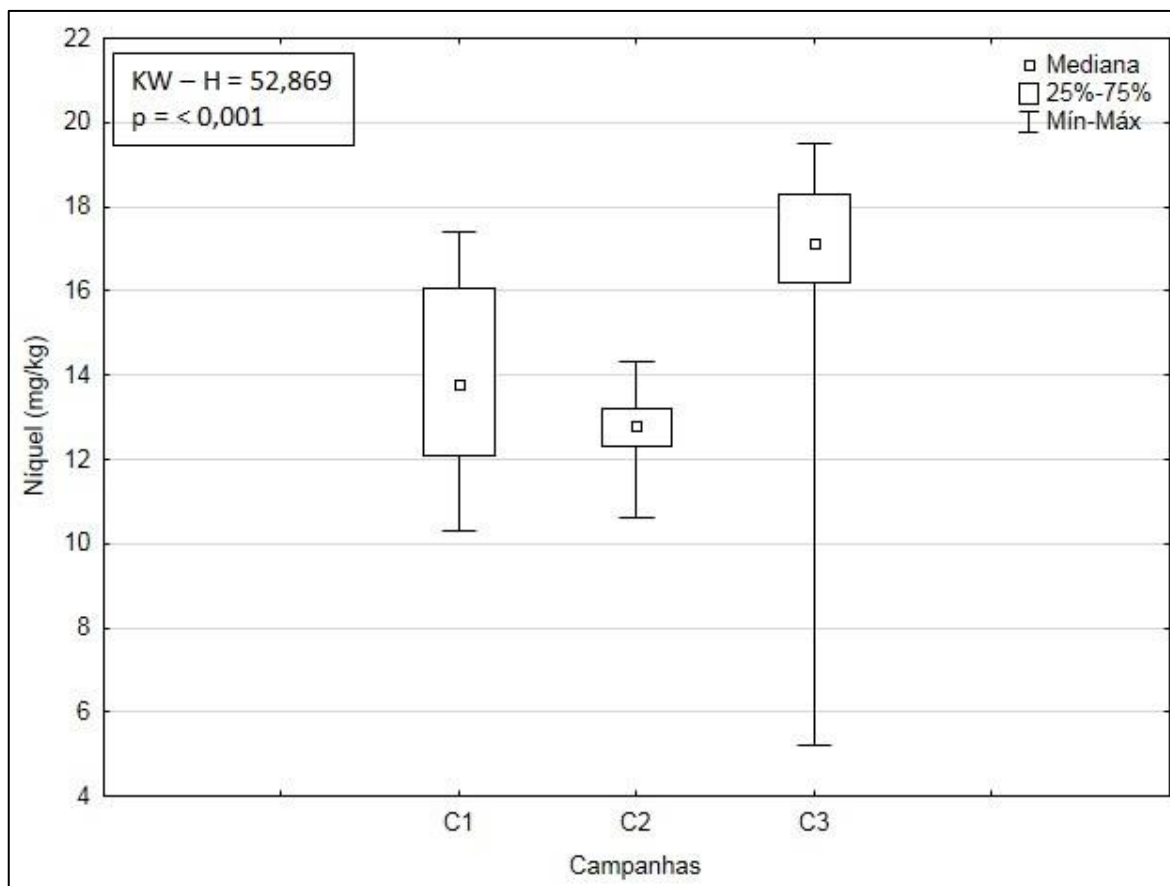
Na Figura V.1-36 são apresentadas as faixas de concentração de cromo obtidas nas campanhas de monitoramento poço GH1. O maior intervalo de valores foi encontrado na 1ª campanha, enquanto que a 3ª campanha apresentou

maiores valores. Na comparação dos resultados de concentração de cromo nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



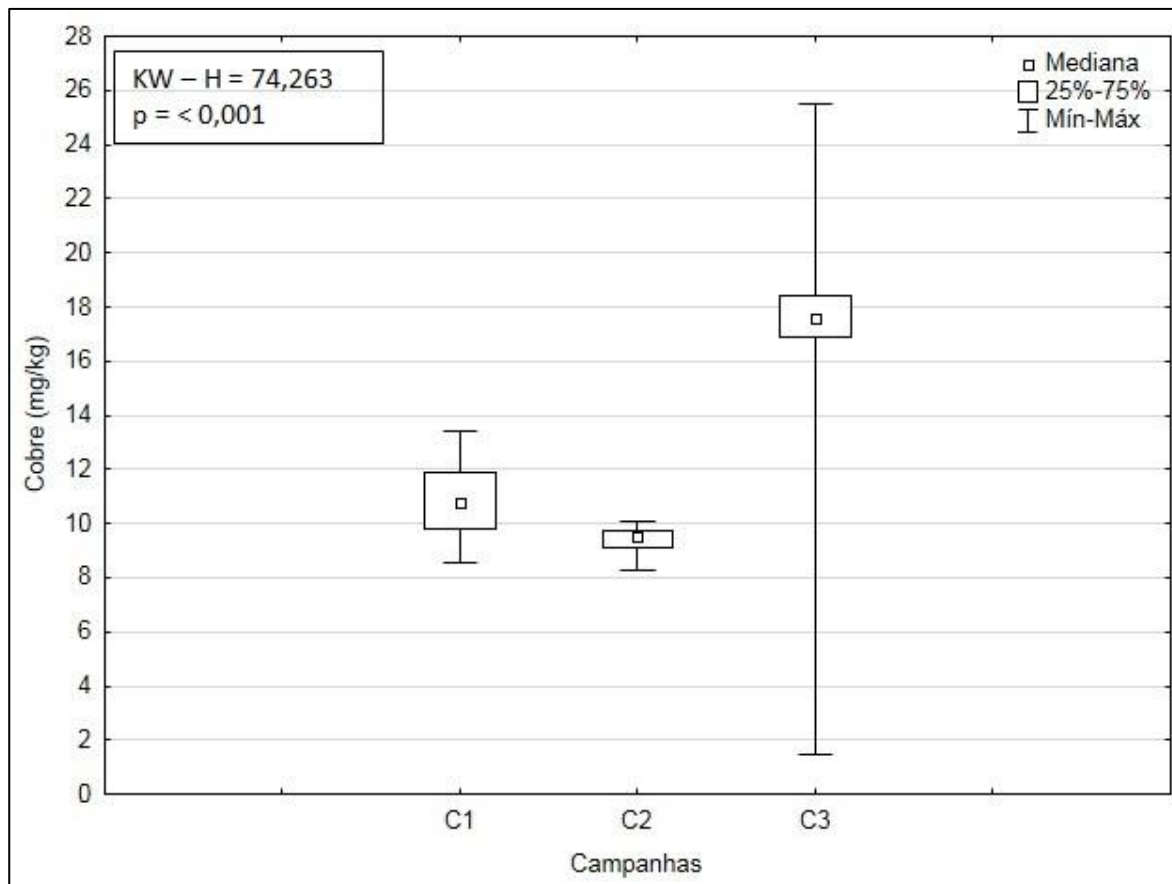
**Figura V.1-36** – Concentrações de cromo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.1-37 são apresentadas as faixas das concentrações de níquel obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a atual campanha apresentou maior intervalo de valores e também maiores valores. Na comparação dos resultados de concentração de níquel nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



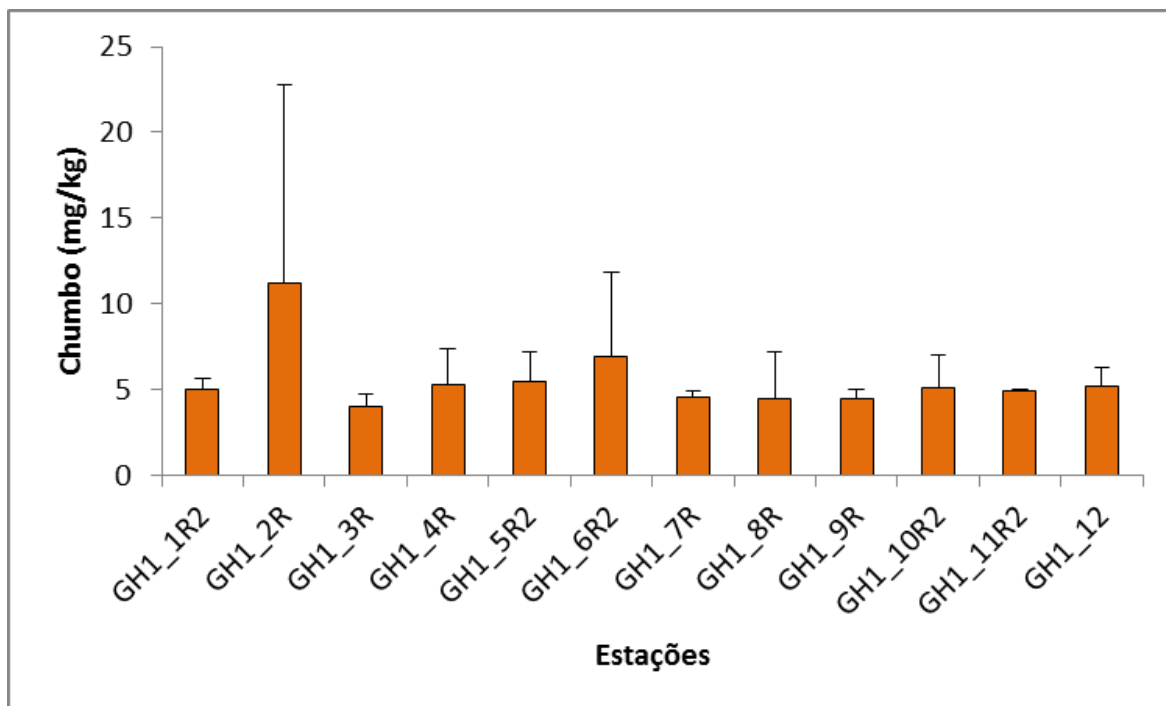
**Figura V.1-37** – Concentrações de níquel (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.1-38 são apresentadas as faixas das concentrações de cobre obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a atual campanha apresentou maior intervalo de valores e maiores valores. Na comparação dos resultados de concentração de cobre nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-38** – Concentrações de cobre (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

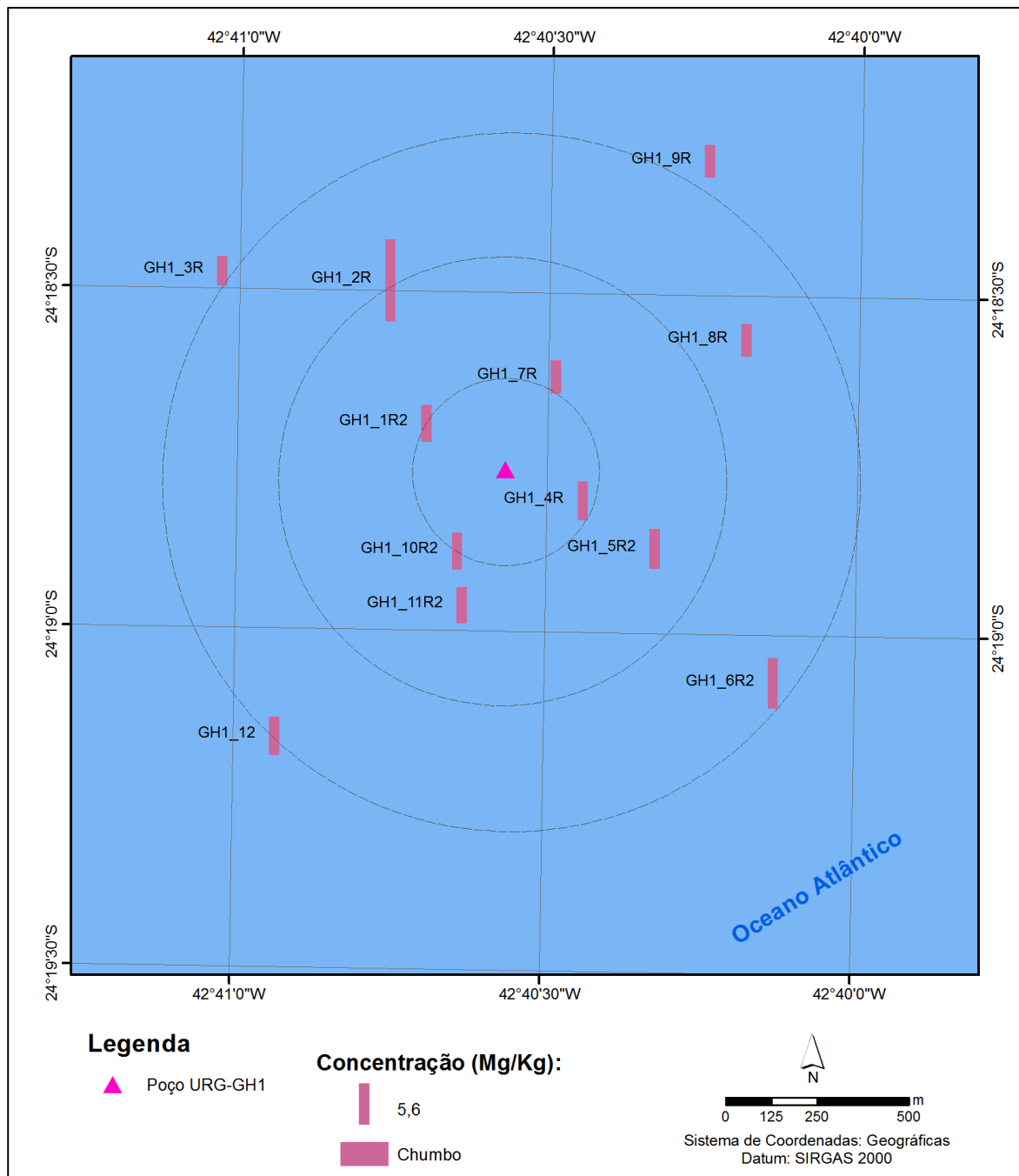
As concentrações de chumbo apresentaram mínimo de  $4,02 \pm 0,74$  mg/kg, na estação GH1\_3R, e máximo de  $11,18 \pm 11,63$  mg/kg, na estação GH1\_2R, com média de  $5,53 \pm 1,92$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-39). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-39** – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

Conforme apresentado na Tabela V.1-9, concentrações de chumbo registradas para a região de estudo apresentam valores entre 4,09 e 21 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012) para as campanhas de monitoramento de Uruguá, sendo portanto maiores do que as encontradas na presente campanha. Nas campanhas de monitoramento do poço GH1 foram detectadas concentrações de chumbo variando entre não detectado e 4,01 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b).

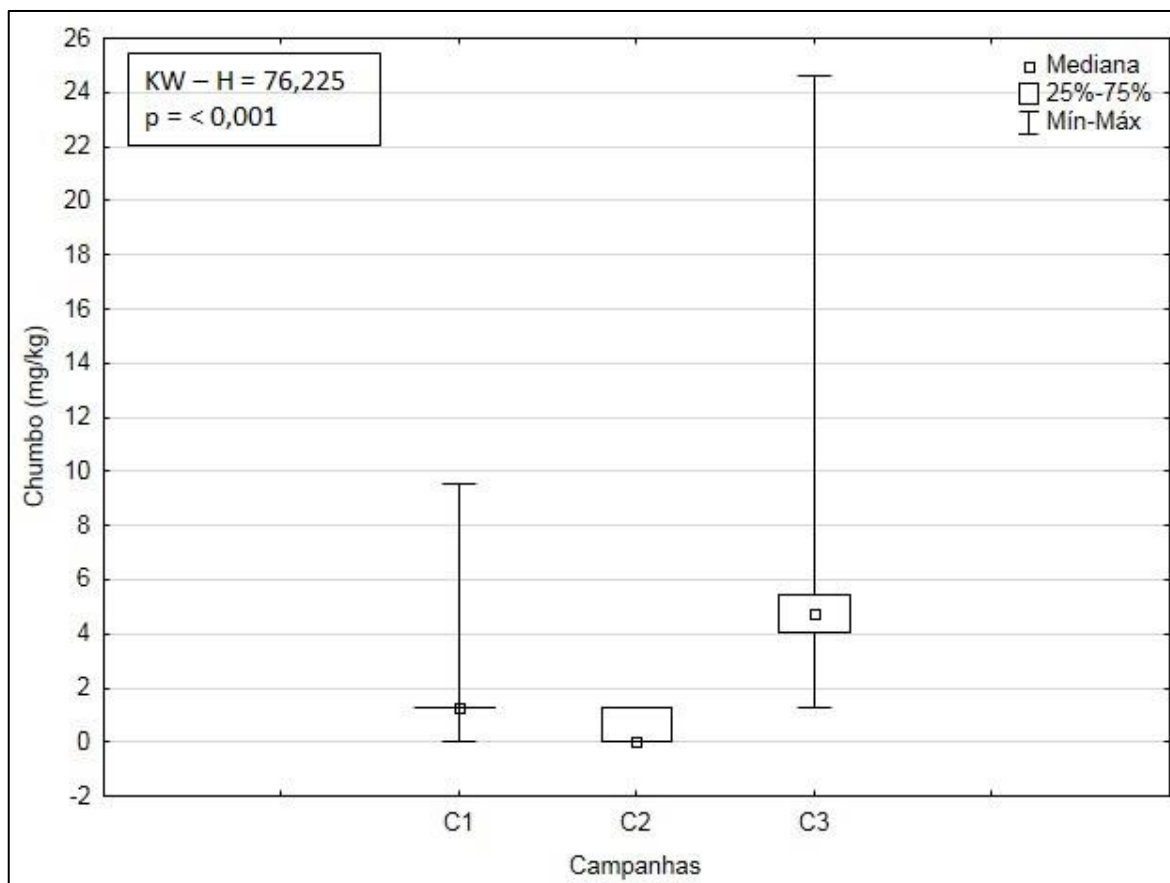
A análise da distribuição espacial das concentrações de chumbo (Figura V.1-40) não permitiu a definição de um padrão de distribuição evidente, mas de maneira geral, maiores concentrações foram encontradas na estação GH1\_2R.



**Figura V.1-40** – Distribuição espacial das concentrações de chumbo (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos

Na Figura V.1-41 são apresentadas as faixas das concentrações de chumbo obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a 3ª campanha apresentou maiores valores para esse metal. Na comparação dos resultados de concentração de chumbo nas campanhas foram detectadas

diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-41** – Concentrações de chumbo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

O cádmio apresentou concentrações abaixo do limite de detecção (LD) da análise (0,1 mg/kg) em todas as estações. Resultado semelhante foi observado nas campanhas de monitoramento do Polo Uruguá, onde foi comum a ocorrência de concentrações de cádmio abaixo do LD, embora tenham sido detectadas concentrações variando de 0,11 a 1,96 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012). Nas campanhas anteriores de monitoramento do poço GH1, também não foram detectadas concentrações de cádmio (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b).

Enfatiza-se que o metal mercúrio esteve abaixo do limite de detecção em todas as estações. Em campanhas de monitoramento anteriores, as concentrações de mercúrio variaram de não detectado a 1,08 mg/kg (Tabela V.1-9).

A Tabela V.1-7 apresenta as concentrações médias dos metais para cada estação amostrada e os valores de referência de TEL e PEL. Ao analisar os resultados obtidos, é possível concluir que a concentração dos metais no sedimento da área de monitoramento do Poço GH1 são inferiores as encontradas nas campanhas de monitoramento de Uruguá e superiores as encontradas nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1 (Tabela V.1-9). Os valores estão em consonância com os valores de referência de TEL e PEL, ou seja, os valores encontrados são muito inferiores ao nível estabelecido por TEL, exceto o cobre, que apresentou concentração máxima superior ao limite de TEL. Isso ocorreu nas estações GH1\_1R2, GH1\_4R e GH1\_6R2. Os índices de qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral foram de: SeQI\_área = 97 e SeQI\_ponto = 96 nas estações GH1\_1R2, GH1\_2R, GH1\_4R, GH1\_5R2, GH1\_6R2 e GH1\_7R. Isso ocorreu devido ao cobre, que apresentou valores maiores que o limite de TEL em 8 das 36 réplicas. O cálculo de ambos os índices é feito em cima dos resultados das réplicas para cada uma das estações. Como alguns valores de cobre ficaram na faixa de valores entre os limites de TEL e PEL, é possível que esse metal cause efeito adverso à biota.

O fator de enriquecimento foi superior a 1 para todos os metais em pelo menos uma estação (Tabela V.1-8). Para o bário, o enriquecimento foi pequeno nas estações GH1\_1R2, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_5R2 e GH1\_9R, moderado nas estações GH1\_2R, GH1\_10R2 e GH1\_12, moderado a severo na estação GH1\_7R, e severo nas estações GH1\_6R2 e GH1\_8R. Para o chumbo, o enriquecimento foi pequeno nas estações GH1\_1R2, GH1\_4R, GH1\_5R2 e GH1\_6R2, moderado nas estações GH1\_7R, GH1\_10R2 e GH1\_12 e moderado a severo nas estações GH1\_2R, GH1\_8R e GH1\_9R. Para os demais metais, o enriquecimento foi pequeno na maioria das estações. Cabe ressaltar que as estações GH1\_1R2 e GH1\_2R foram reposicionadas nesta terceira campanha em relação às estações da segunda campanha de monitoramento, na fase do escopo



da campanha, previamente as amostragens devido à margem de segurança operacional em relação aos obstáculos.

Ao analisar os resultados acima apresentados, é possível concluir que a concentração dos metais no sedimento na área onde foi perfurado o poço GH1 apresenta evidências de baixa contaminação destes parâmetros devido aos valores do fator de enriquecimento, e ao cobre, que ultrapassou o valor de TEL em três estações. Os outros metais não ultrapassaram os valores de referência TEL e PEL (Tabela V.1-9). Porém, é preciso cautela ao analisar os maiores valores de bário e chumbo encontrados na atual campanha, que podem estar associados à atividade de perfuração, principalmente os valores de bário, que apresentaram maiores valores de FE. Os valores dos índices de qualidade do sedimento foram afetados pelos valores mais elevados de cobre, mas não ficaram muito abaixo de 100.

**Tabela V.1-7 – Concentração média de metais (mg/kg) em cada estação da atual campanha de monitoramento ambiental e valores de referência TEL e PEL.**

Estações	Alumínio		Bário		Cobre		Cromo		Ferro		Manganês		Níquel		Chumbo		Vanádio		Zinco	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
<b>GH1_1R2</b>	22.833,33	2.809,51	1.504,00	1.409,85	19,63	1,10	26,30	1,50	20.600,00	1.300,00	661,33	39,80	18,43	1,17	5,03	0,59	44,40	2,65	48,37	4,76
<b>GH1_2R</b>	20.833,33	929,16	1.590,33	945,37	18,03	0,80	25,40	0,79	19.500,00	600,00	634,00	29,55	18,17	0,47	11,18	11,63	42,77	1,29	46,03	2,51
<b>GH1_3R</b>	22.900,00	2.457,64	830,00	272,44	16,43	1,87	23,63	1,80	18.766,67	1.700,98	569,33	55,10	16,60	1,28	4,02	0,74	40,93	2,49	42,53	5,99
<b>GH1_4R</b>	21.700,00	3.080,58	1.064,00	344,02	18,70	1,11	24,93	1,80	19.766,67	1.266,23	631,00	37,72	18,13	0,87	5,32	2,05	42,00	2,72	45,10	4,92
<b>GH1_5R2</b>	20.666,67	2.371,36	1.399,00	1.177,15	17,90	1,18	24,30	1,44	18.866,67	1.616,58	616,00	45,90	17,10	1,28	5,49	1,73	41,07	3,07	42,47	3,19
<b>GH1_6R2</b>	18.000,00	360,56	4.663,33	5.159,58	18,77	5,90	24,57	3,35	19.933,33	4.389,00	509,00	62,55	15,20	0,10	6,89	4,95	39,30	3,41	50,50	17,76
<b>GH1_7R</b>	21.600,00	1.212,44	2.366,67	1.387,53	17,97	1,40	25,97	2,99	19.100,00	953,94	619,00	25,24	18,50	1,25	4,51	0,43	41,10	2,25	49,33	8,40
<b>GH1_8R</b>	13.683,33	8.132,70	4.236,67	2.301,66	11,92	9,10	20,22	11,49	13.533,33	7.300,23	444,00	235,19	13,44	7,15	4,43	2,76	28,80	15,76	45,53	29,68
<b>GH1_9R</b>	22.166,67	2.318,05	1.065,67	336,34	17,53	0,40	24,63	0,15	19.233,33	288,68	622,33	9,45	17,60	0,75	4,45	0,56	41,70	0,70	43,03	1,16
<b>GH1_10R2</b>	21.066,67	3.200,52	1.777,67	2.150,15	17,43	0,15	24,13	0,49	18.733,33	862,17	600,33	16,92	16,87	0,67	5,05	1,93	40,70	2,16	51,33	15,92
<b>GH1_11R2</b>	22.366,67	1.778,58	440,33	89,59	17,40	0,62	24,27	1,07	18.766,67	981,50	631,00	29,14	17,33	1,01	4,89	0,09	41,53	1,76	42,80	2,12
<b>GH1_12</b>	16.566,67	642,91	1.420,00	1.236,50	16,67	0,57	21,73	0,72	16.866,67	665,83	576,67	39,12	15,43	0,90	5,15	1,14	37,13	1,42	39,77	2,02
<b>Máximo</b>	22.900,00		4.663,33		19,63		26,30		20.600,00		661,33		18,50		11,18		44,40		51,33	
<b>Mínimo</b>	13.683,33		440,33		11,92		20,22		13.533,33		444,00		13,44		4,02		28,80		39,77	
<b>Média</b>	20.365,28		1.863,14		17,37		24,17		18.638,89		592,83		16,90		5,53		40,12		45,57	
<b>Desvio Padrão</b>	2.837,20		1.304,44		1,93		1,71		1.843,95		61,38		1,53		1,92		3,98		3,65	
<b>TEL</b>	-		-		18,70		52,30		-		-		-		30,20		-		124,00	
<b>PEL</b>	-		-		108,00		160,00		-		-		-		112,00		-		271,00	

**Tabela V.1-8** – Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação. Valores em laranja indicam enriquecimento pequeno ( $1 < FE < 3$ ), valores em verde claro indicam enriquecimento moderado ( $3 < FE < 5$ ), valores em verde escuro indicam enriquecimento moderado a severo ( $5 < FE < 10$ ) e valores em roxo indicam enriquecimento severo ( $10 < FE < 25$ ).

Estações	Bário	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
GH1_1R2	2,90	0,87	0,77	0,79	0,56	0,66	2,87	0,69	0,71
GH1_2R	3,04	1,19	1,03	0,94	0,82	0,94	6,17	0,92	1,04
GH1_3R	1,21	0,51	0,69	0,62	0,34	0,43	0,91	0,53	0,47
GH1_4R	2,40	0,63	0,77	0,71	0,41	0,51	1,40	0,60	0,57
GH1_5R2	2,95	1,09	1,14	1,05	0,74	0,82	2,76	0,91	0,86
GH1_6R2	10,73	0,72	0,85	0,81	0,38	0,48	1,16	0,66	0,69
GH1_7R	5,02	1,16	1,00	0,94	0,78	0,91	4,10	0,87	0,92
GH1_8R	12,22	1,19	1,58	1,48	0,90	1,01	5,42	1,30	1,20
GH1_9R	1,29	1,38	1,05	1,12	0,90	1,01	4,66	1,01	0,95
GH1_10R2	3,31	1,31	1,08	1,10	0,89	0,95	3,53	0,98	1,16
GH1_11R2	0,63	0,89	0,91	0,82	0,62	0,68	0,67	0,75	0,69
GH1_12	3,38	1,66	1,22	1,30	1,14	1,14	3,83	1,14	1,15

**Tabela V.1-9 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) no sedimento amostrado em campanhas anteriores do poço GH1 e do Campo de Uruguá, Bacia de Santos.**

Fonte		Alumínio	Bário	Cádmio	Cromo	Cobre	Ferro	Mercúrio	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
C1 URG <sup>1</sup>	Mín	6.861,00	26,00	0,11	8,00	6,00	143,00	0,04	131,00	4,00	5,00	12,00	14,00
	Máx	34.500,00	225,00	1,96	26,00	17,00	23.595,00	1,08	686,00	15,00	21,00	71,00	42,00
C2 URG <sup>2</sup>	Mín	9.957,00	18,95	nd	13,84	3,55	11.477,00	nd	161,36	8,57	6,01	20,18	9,98
	Máx	20.023,00	156,88	0,22	27,53	18,71	29.263,00	0,19	1.059,00	19,79	10,53	51,12	35,65
C3 URG <sup>3</sup>	Mín	11.969,33	12,72	nd	13,94	4,05	15.398,11	nd	106,58	6,66	4,09	22,98	18,49
	Máx	35.073,77	176,30	0,29	38,80	26,88	49.147,36	0,81	1.133,94	23,16	11,67	53,28	63,05
C1 GH1 <sup>4</sup>	Mín	6.496,67	146,00	nd	9,72	9,10	8.610,00	nd	480,67	11,07	0,83	21,90	25,53
	Máx	20.566,67	723,33	nd	22,20	12,43	16.166,67	nd	630,00	16,77	4,01	40,27	42,87
C2 GH1 <sup>5</sup>	Mín	4.996,67	240,33	nd	13,10	8,86	9.230,00	nd	418,67	11,43	nd	20,30	29,33
	Máx	6.170,00	1.337,00	nd	17,57	9,87	10.573,33	nd	546,67	13,57	1,25	25,43	54,23

Fonte: 1. Petrobras/Analytical Solutions, 2010a / 2. Petrobras/Analytical Solutions, 2010b / 3. Petrobras/Analytical Solutions, 2012 / 4. Petrobras/Bourscheid, 2014b / 5. Petrobras/Bourscheid, 2015b.

#### V.1.4 - Hidrocarbonetos

Os sedimentos marinhos são carreadores e fontes potenciais de contaminantes nos sistemas aquáticos, já que as partículas recobertas por material orgânico, sulfetos e hidróxidos de ferro mantêm os contaminantes orgânicos associados a sua superfície (KENNISH, 1997). Os sedimentos contaminados representam um grande risco para a biota aquática, principalmente para espécies bentônicas e epibentônicas, as mais expostas aos contaminantes de origem sedimentar, aos adsorvidos nas partículas sedimentares e àqueles dissolvidos na água intersticial. A ressuspensão do sedimento pode provocar a liberação desses contaminantes sob forma dissolvida na coluna d'água ou adsorvida a partículas, colocando também em risco os organismos pelágicos, que podem ainda ser contaminados devido ao processo de bioacumulação (GEFFARD *et al.*, 2002).

Os hidrocarbonetos podem ser transportados para os sedimentos por adesão ou incorporação ao material particulado e ao plâncton (VAN VLEET, 1979). Os hidrocarbonetos são formados a grandes pressões no interior da terra e são trazidos para áreas de menor pressão através de processos geológicos, onde podem formar produtos da decomposição da matéria orgânica (petróleo, gás natural, carvão, etc.). Podem ser introduzidos no ambiente por fontes naturais, como combustão de biomassa vegetal e emanações do fundo oceânico, e antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis e derivados, derrames acidentais e descartes de efluentes domésticos e industriais (MAZZERA *et al.*, 1999).

No presente estudo, os hidrocarbonetos compreendem os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's), n-alcanos, mistura complexa não resolvida (MCNR) e hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA's).

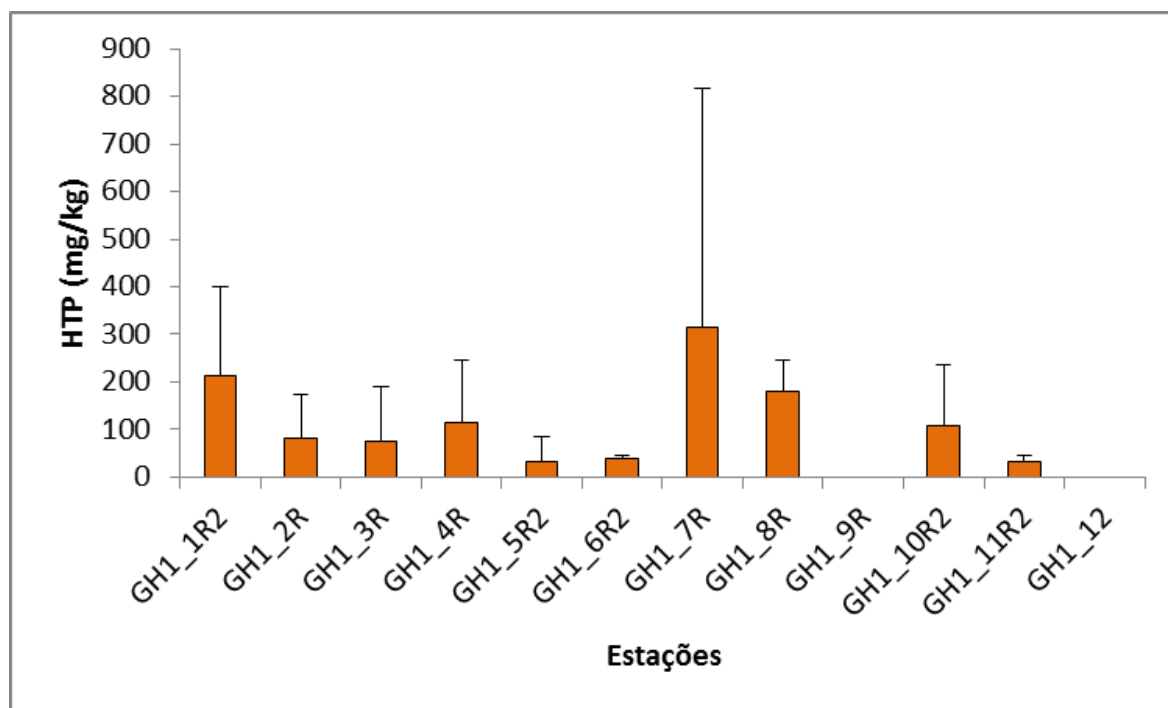
Não foram detectadas concentrações de HPA's em nenhuma das estações deste monitoramento. As concentrações de hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA's) foram observadas em todas as campanhas anteriores no Polo Uruguá e variaram entre 0,0008 e 1,0215 mg/kg, conforme Petrobras/Analytical Solutions (2010a, 2010b, 2012). No entanto, também há registros em que na maioria dos pontos amostrados a concentração de HPA's não superou o limite de detecção do

método de análise (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b).

Foram verificadas concentrações detectáveis de HTP's, n-alcanos e MCNR. Na Tabela V.1-10 são apresentados os resultados desses parâmetros.

As concentrações de HTP's variaram de não detectado, nas estações GH1\_9R e GH1\_12, a  $314,20 \pm 502,38$  mg/kg, na estação GH1\_7R, sendo que a média entre as estações foi de  $99,20 \pm 94,68$  mg/kg (Tabela V.1-10 e Figura V.1-42). Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de HTP's entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos apresentam concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) que variam entre 0,07 e 284,61 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). O estudo realizado por Petrobras/Analytical Solutions (2002), na Bacia de Santos, encontrou concentrações de HTP's entre 2,27 e 10,83 mg/kg. Estes resultados indicam que há indícios de contaminação por estes compostos nas estações localizadas no entorno da locação do Polo Uruguá, no momento das campanhas de monitoramento.

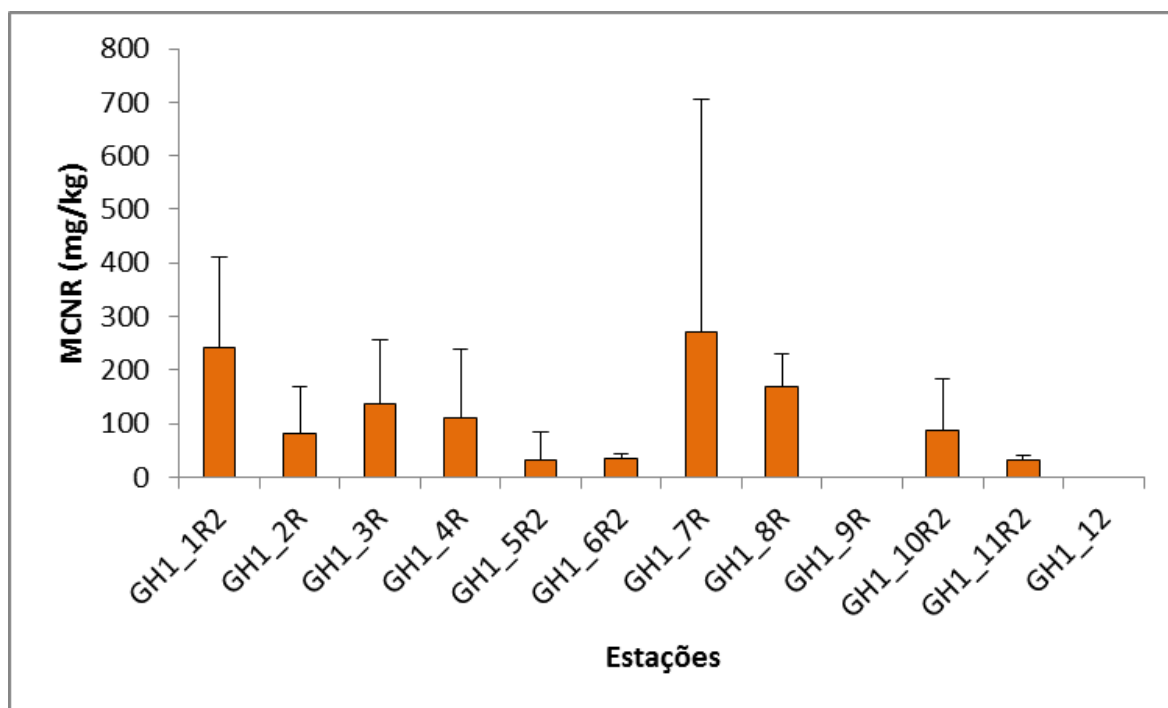


**Figura V.1-42** – Concentração média (mg/kg) de HTP's nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento do poço GH1.

As concentrações de MCNR variaram de não detectado, nas estações GH1\_9R e GH1\_12, a  $271,01 \pm 434,61$  mg/kg, na estação GH1\_7R, sendo que a média entre as estações foi de  $99,63 \pm 90,38$  mg/kg (Tabela V.1-10 e Figura V.1-43). Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de MCNR entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

Diferente da MCNR, que indica a presença de compostos de origem petrogênica em estado degradado, a fração HRP indica contaminação recente do ambiente por compostos do petróleo (COMMENDATORE; ESTEVES, 2004). A abundância relativa da MCNR comparada a dos hidrocarbonetos alifáticos resolvidos do petróleo (HRP) serve de critério de diagnóstico quanto às entradas de petróleo no ambiente. Segundo Lipiatou e Saliot (1991), valores da razão MCNR/HRP superiores a 4 confirmam a presença de resíduos relacionados ao petróleo. Na presente campanha, a maioria das estações, exceto as estações GH1\_9R e GH1\_12, apresentou valores da razão MCNR/HRP superiores a 4 (Tabela V.1-10), indicando portanto presença de resíduos relacionados ao petróleo.

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos não apresentaram concentrações detectáveis de MCNR (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012), exceto nas campanhas de monitoramento do poço GH1. Nessas campanhas foram encontradas concentrações de MCNR variando entre não detectado e 247,47 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). O estudo realizado por Petrobras/Analytical Solutions (2002), na Bacia de Santos, encontrou concentrações de MCNR entre não detectado e 10,830 mg/kg. Estes resultados indicam que há indícios de contaminação por estes compostos nas estações localizadas no entorno da locação do Polo de Uruguá e do poço GH1, no momento das campanhas de monitoramento da fase de operação e de perfuração do poço.

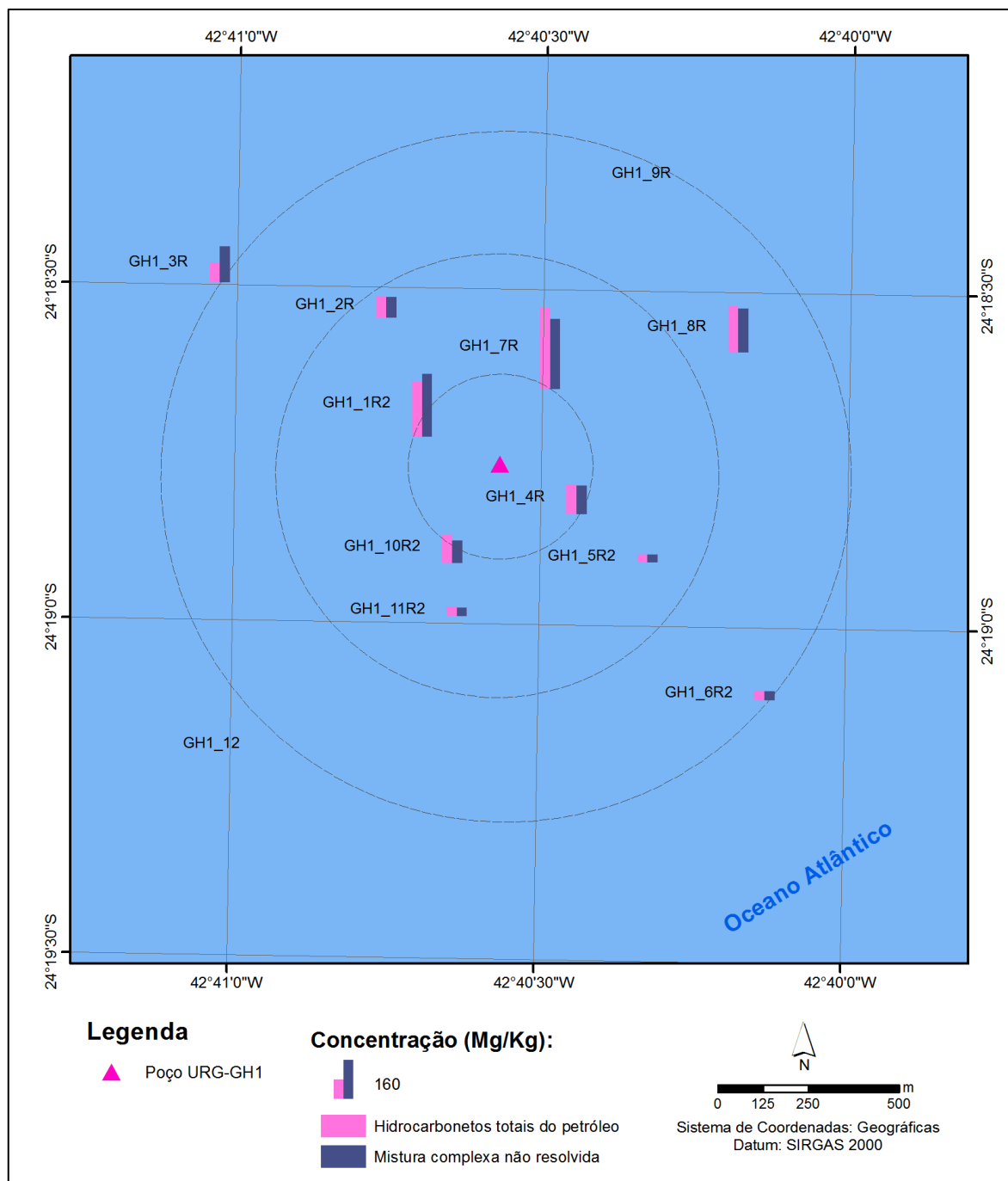


**Figura V.1-43** – Concentração média (mg/kg) de MCNR nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento do poço GH1.

Conforme pode ser observado na Figura V.1-44, as concentrações de HTP's e MCNR não se apresentaram distribuídas uniformemente entre as estações de coleta durante a atual campanha de monitoramento. Não foi verificado um padrão



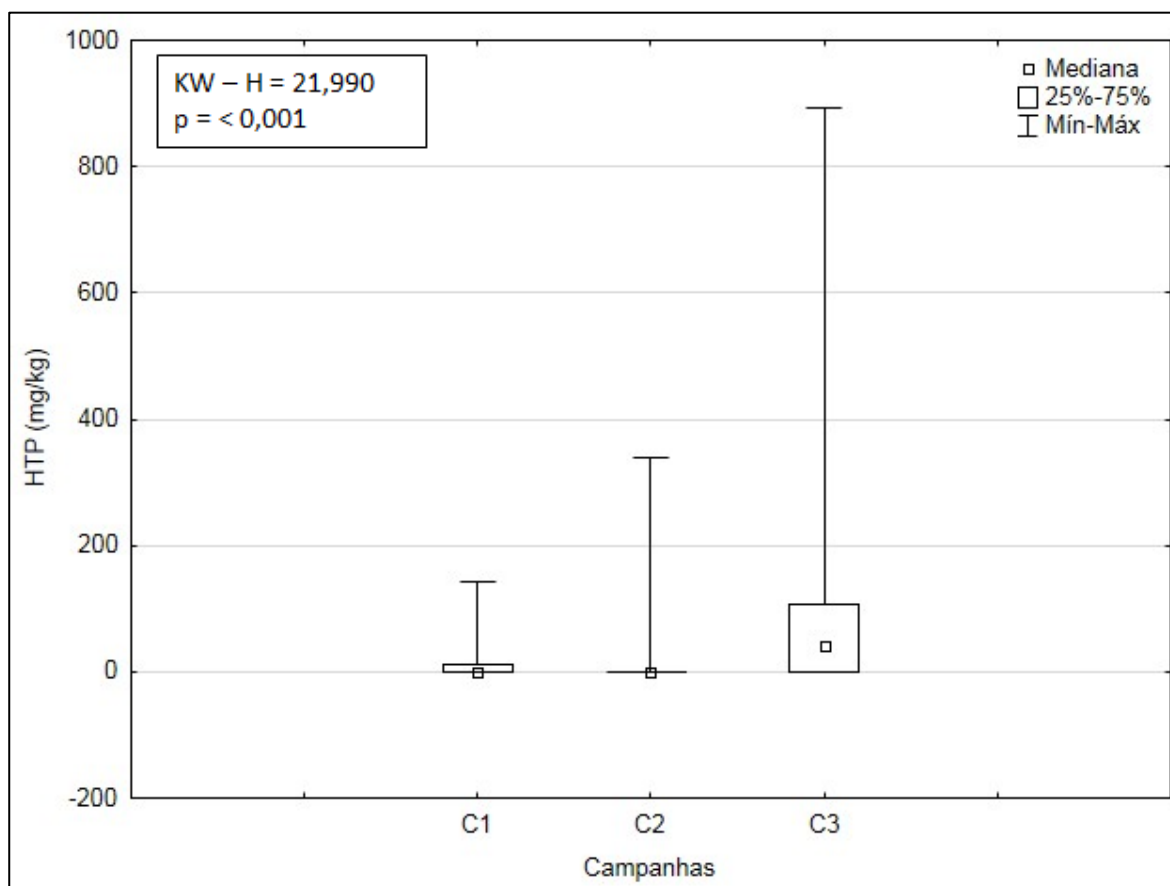
de distribuição espacial desses parâmetros, embora as maiores concentrações possam ser observadas nas estações GH1\_1R2, GH1\_7R e GH1\_8R.



**Figura V.1-44** – Distribuição espacial dos HTP's e MCNR (mg/kg) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento do Poço GH1.

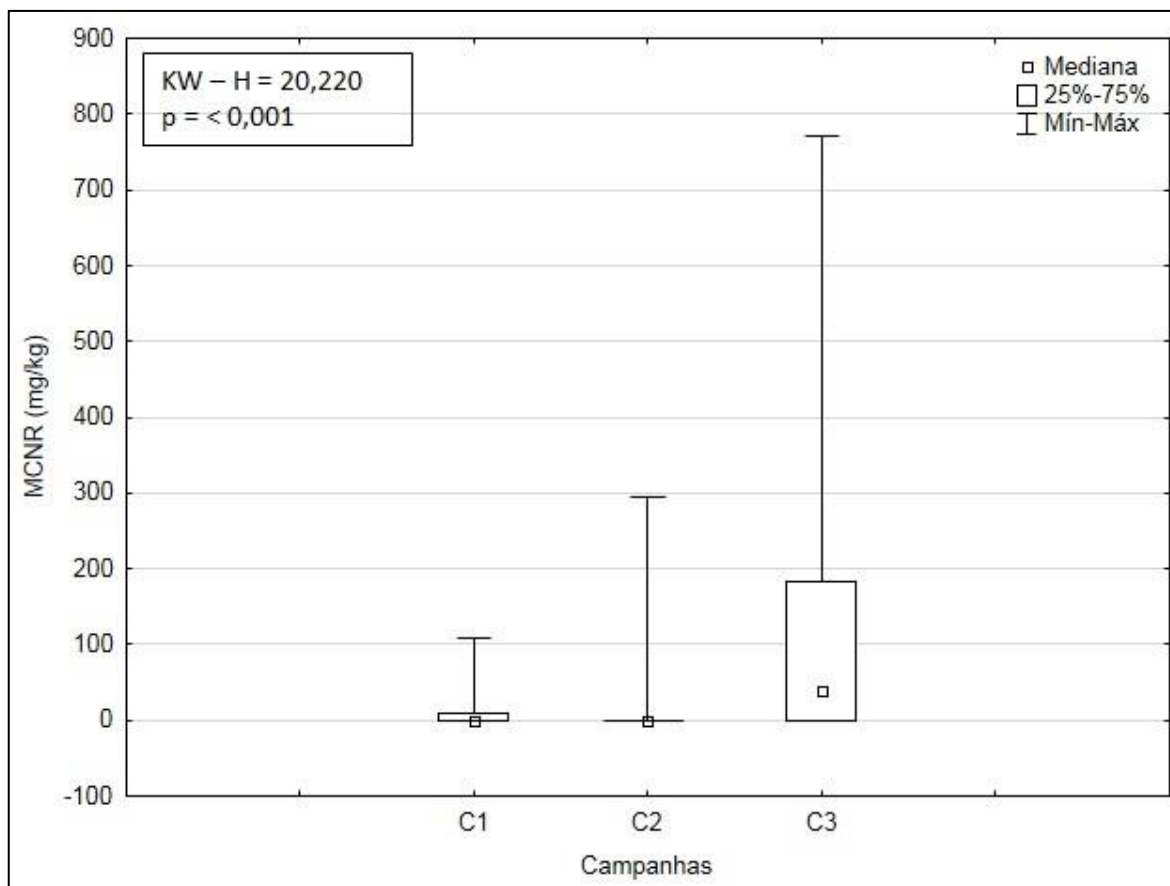
Na Figura V.1-45 são apresentadas as faixas das concentrações de HTP's obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que

a atual campanha apresentou maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de HTP's nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-45** – Concentrações de HTP's (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.1-46 são apresentadas as faixas das concentrações de MCNR obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível verificar que a atual campanha apresentou maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de MCNR nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).

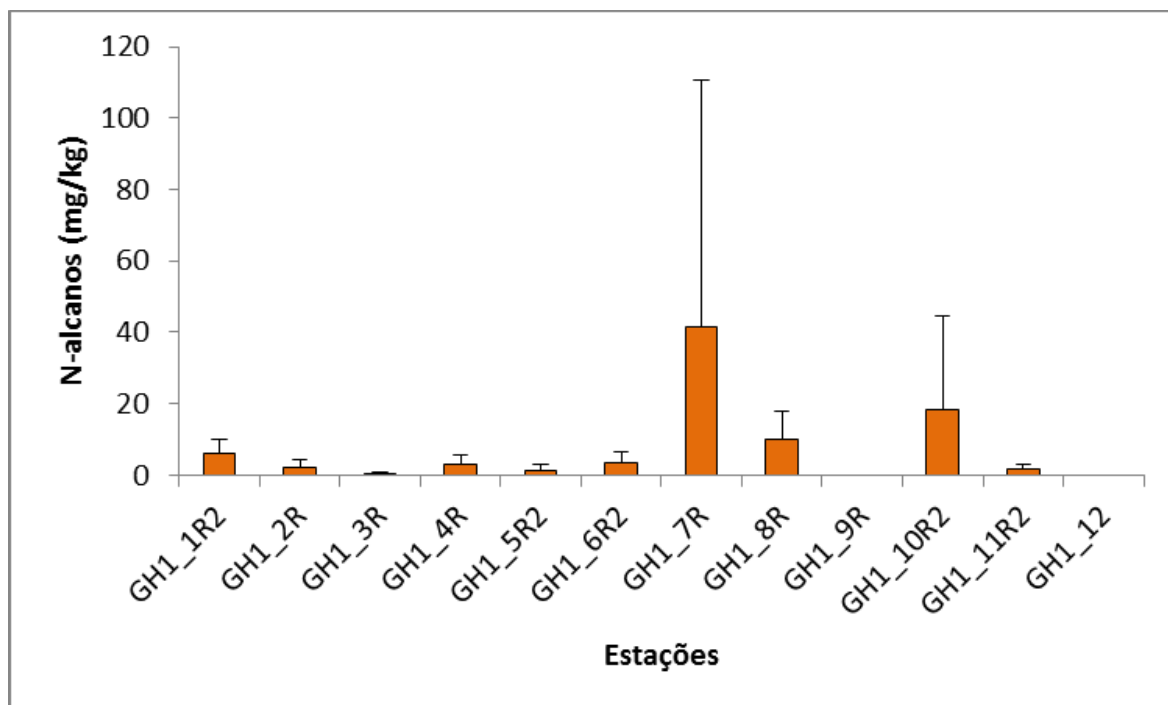


**Figura V.1-46** – Concentrações de MCNR (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

As concentrações de n-alcenos variaram de não detectado, nas estações GH1\_9R e GH1\_12, a  $41,67 \pm 69,19$  mg/kg, na estação GH1\_7R, sendo que a média entre as estações foi de  $7,31 \pm 12,03$  mg/kg (Tabela V.1-10 e Figura V.1-47). Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de n-alcenos entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos apresentam concentrações de n-alcenos abaixo do limite de detecção dos métodos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012), exceto para as campanhas de monitoramento do poço GH1. Nessas campanhas foram encontradas concentrações de n-alcenos variando entre não detectado e 58,94 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). Estes resultados indicam que há indícios de contaminação por estes compostos nas estações localizadas

no entorno da locação do Polo Uruguá e do poço GH1, no momento das campanhas de monitoramento.

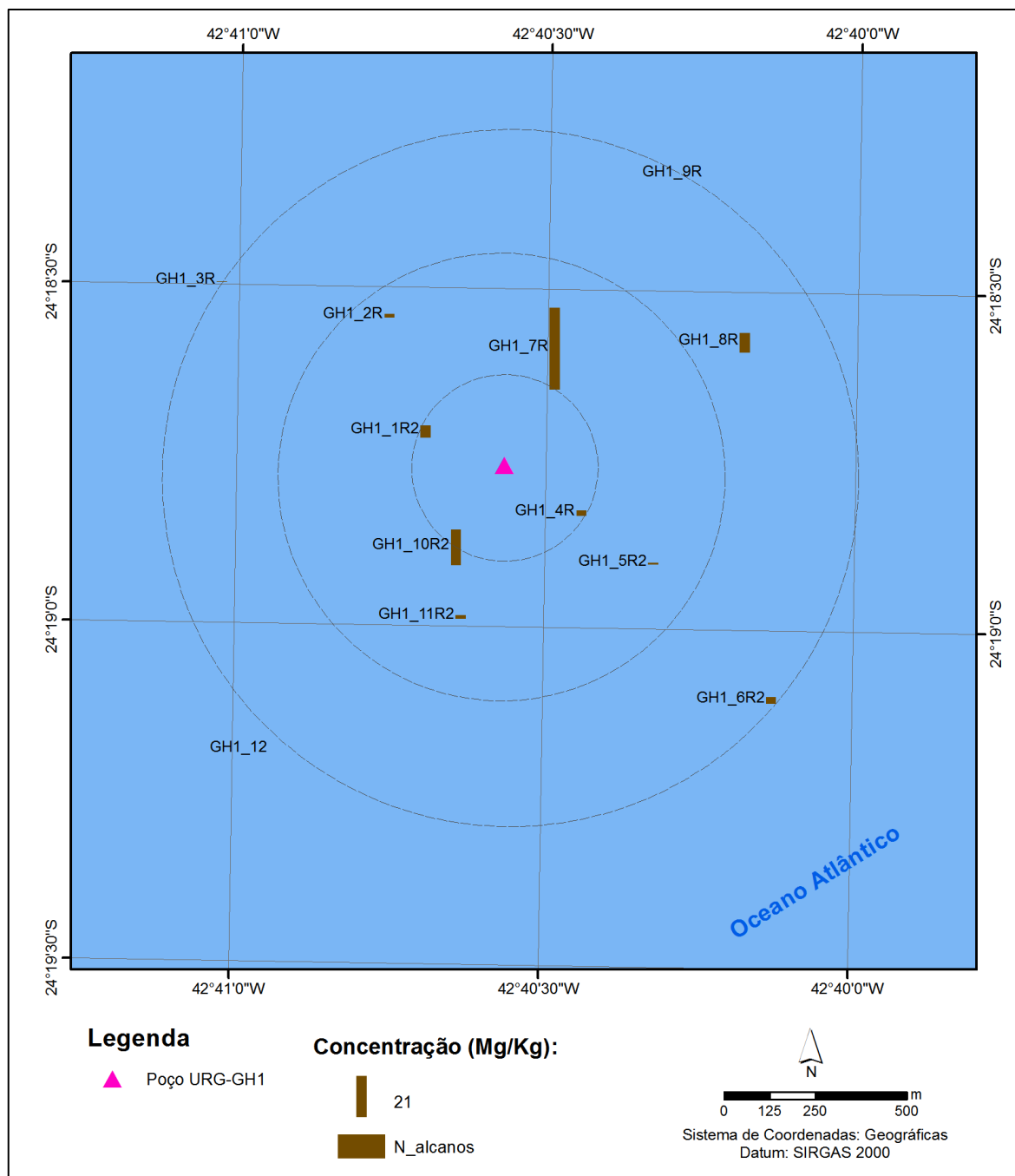


**Figura V.1-47** – Concentração média (mg/kg) de n-alcanos nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento do poço GH1.

Foram verificadas concentrações detectáveis de n-alcanos de C<sub>11</sub> a C<sub>40</sub> na maioria das réplicas de todas as estações, exceto das estações GH1\_9R e GH1\_12 (Tabela V.1-10). O IPC apresentou valores distintos de zero na réplica 2 da estação GH1\_4R (IPC = 0,19), na réplica 3 da estação GH1\_10R2 (IPC = 1,11) e na réplica 3 da estação GH1\_11R2 (IPC = 1,66), apresentando, portanto, valores dentro da escala proposta para a classificação da origem dos n-alcanos. Valores de IPC próximos a 1 indicam contaminação por petróleo (GOGOU *et al.*, 2000), portanto a réplica 3 da estação GH1\_10R2 e a réplica 3 da estação GH1\_11R2 apresentaram indícios de contaminação por petróleo. As demais razões (C<sub>17</sub>/pristano, C<sub>18</sub>/fitano e pristano/fitano) também foram calculadas, mas apresentaram valores nulos, não se enquadrando, portanto, na classificação.

Conforme pode ser observado na Figura V.1-48, as concentrações de n-alcanos não se apresentaram distribuídas uniformemente entre as estações de coleta durante a atual campanha de monitoramento. Não foi verificado um padrão

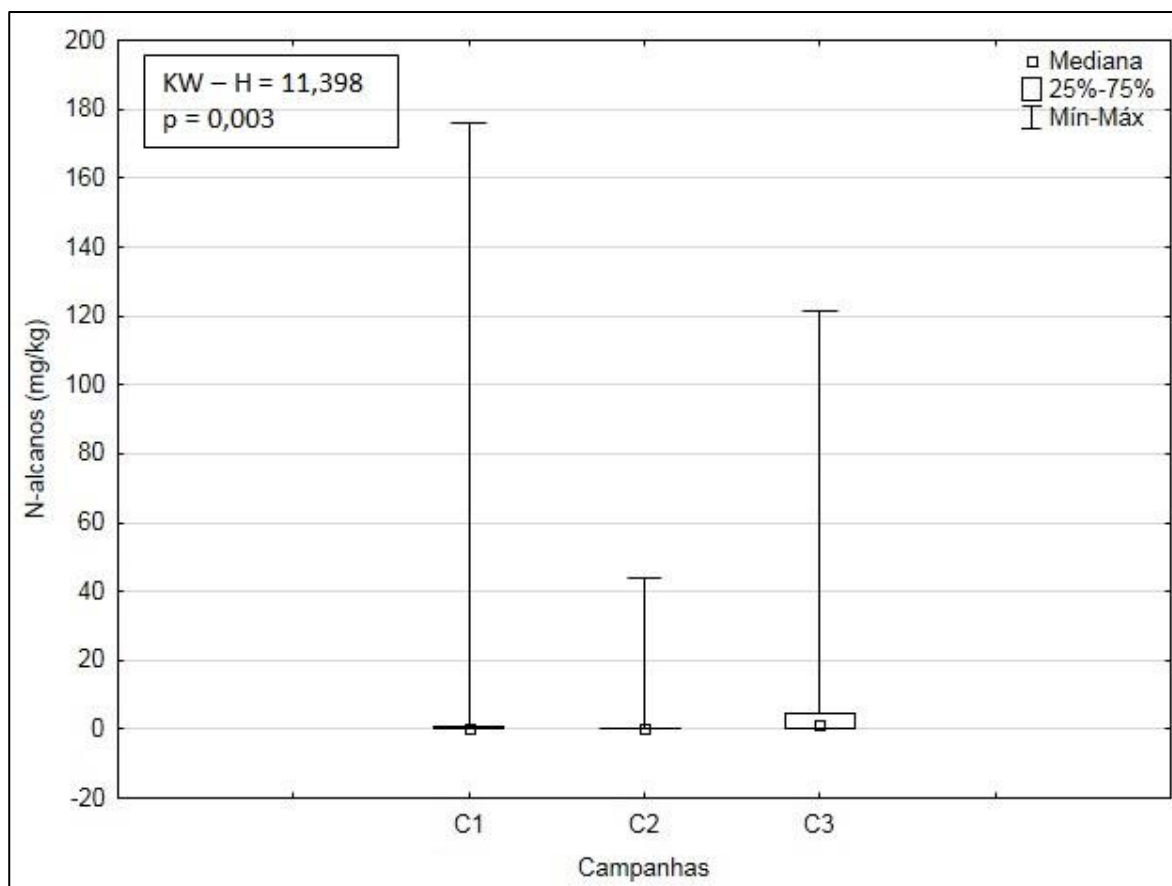
de distribuição espacial desse parâmetro, embora as maiores concentrações possam ser observadas na estação GH1\_7R e na estação GH1\_10R2.



**Figura V.1-48** – Distribuição espacial dos n-alcenos (mg/kg) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento do Poço GH1.

Na Figura V.1-49 são apresentadas as faixas das concentrações de n-alcenos obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. É possível

verificar que a primeira campanha apresentou maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de n-alcenos nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A segunda campanha diferiu significativamente da terceira campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-49** – Concentrações de n-alcenos (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Maiores concentrações de HTP's, MCNR e n-alcenos foram encontradas nas estações mais a nordeste do poço GH1. No entorno do poço GH1 há três poços localizados nessa região, que podem ter influenciado na detecção de hidrocarbonetos nessas estações: 9-URG-13D-RJD (piloto), 7-URG-14HP-RJS (produtor) e 6-URG-3RJS (exploratório).

**Tabela V.1-10** – Concentração média de hidrocarbonetos (mg/kg) e razão MCNR/HRP em cada estação da atual campanha de monitoramento ambiental do poço GH1.

Estações	HTP		N-alcenos		MCNR		MCNR/HRP
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	
<b>GH1_1R2</b>	212,08	± 186,58	6,26	± 3,80	242,12	± 167,87	38,67
<b>GH1_2R</b>	82,97	± 90,23	2,01	± 2,13	80,96	± 88,10	40,26
<b>GH1_3R</b>	75,34	± 114,35	0,38	± 0,33	137,56	± 119,13	366,80
<b>GH1_4R</b>	114,48	± 130,54	2,87	± 2,64	110,13	± 130,00	38,33
<b>GH1_5R2</b>	31,58	± 54,70	1,17	± 2,03	30,41	± 52,67	25,92
<b>GH1_6R2</b>	38,63	± 6,93	3,46	± 3,03	35,17	± 8,65	10,17
<b>GH1_7R</b>	314,20	± 502,38	41,67	± 69,19	271,01	± 434,61	6,50
<b>GH1_8R</b>	178,75	± 68,19	9,91	± 7,89	168,85	± 62,71	17,04
<b>GH1_9R</b>	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	-
<b>GH1_10R2</b>	108,27	± 127,44	18,22	± 26,44	87,04	± 96,69	4,78
<b>GH1_11R2</b>	34,06	± 10,79	1,81	± 1,29	32,26	± 9,73	17,86
<b>GH1_12</b>	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	-

## V.2 - MACROFAUNA BENTÔNICA

Organismos bentônicos são organismos aquáticos, marinhos ou dulcícolas, que vivem em contato com o substrato, seja ele consolidado (costões rochosos, plataformas, navios, entre outras estruturas parcial ou totalmente submersas) ou inconsolidado (composto por material sedimentar). Os que vivem sobre o substrato e podem colonizar substratos consolidados são classificados de epifauna. Os colonizadores do interior do substrato, neste caso em fundos sedimentares inconsolidados, são chamados de infauna (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

A comunidade bentônica é composta principalmente por invertebrados, dos filos Arthropoda, Annelida, Echinodermata e diversos outros, e também por vertebrados. Estes organismos são essenciais à dinâmica dos ecossistemas bentônicos, pois constituem um elemento central nas cadeias alimentares, representando um importante recurso alimentar para grandes crustáceos, cefalópodes, peixes e até aves. Por conta de seus hábitos de vida, muitos organismos escavam galerias e tubos, aumentando assim a oxigenação e disponibilizando material (orgânico e inorgânico) que estava em camadas mais profundas do sedimento (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

A distribuição, ocorrência e abundância dos organismos da macrofauna bentônica dependem das características ambientais predominantes, principalmente quanto à composição granulométrica do substrato, profundidade, disponibilidade de alimento e estabilidade do ambiente. Diferentes tipos de sedimentos podem condicionar comunidades distintas, não apenas em relação à composição e estrutura desta comunidade, mas também quanto à dominância em termos de grandes grupos taxonômicos (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

O modo característico de vida dos organismos bentônicos junto ao fundo, local de acúmulo de contaminantes, o predomínio de formas de pouca mobilidade, e a sua permanência relativamente longa no substrato, possibilitam a utilização destes organismos em programas de diagnóstico e monitoramento ambiental. Organismos que vivem dentro ou sobre o substrato refletem, com maior precisão, as condições ambientais anteriores ao momento da amostragem, quando

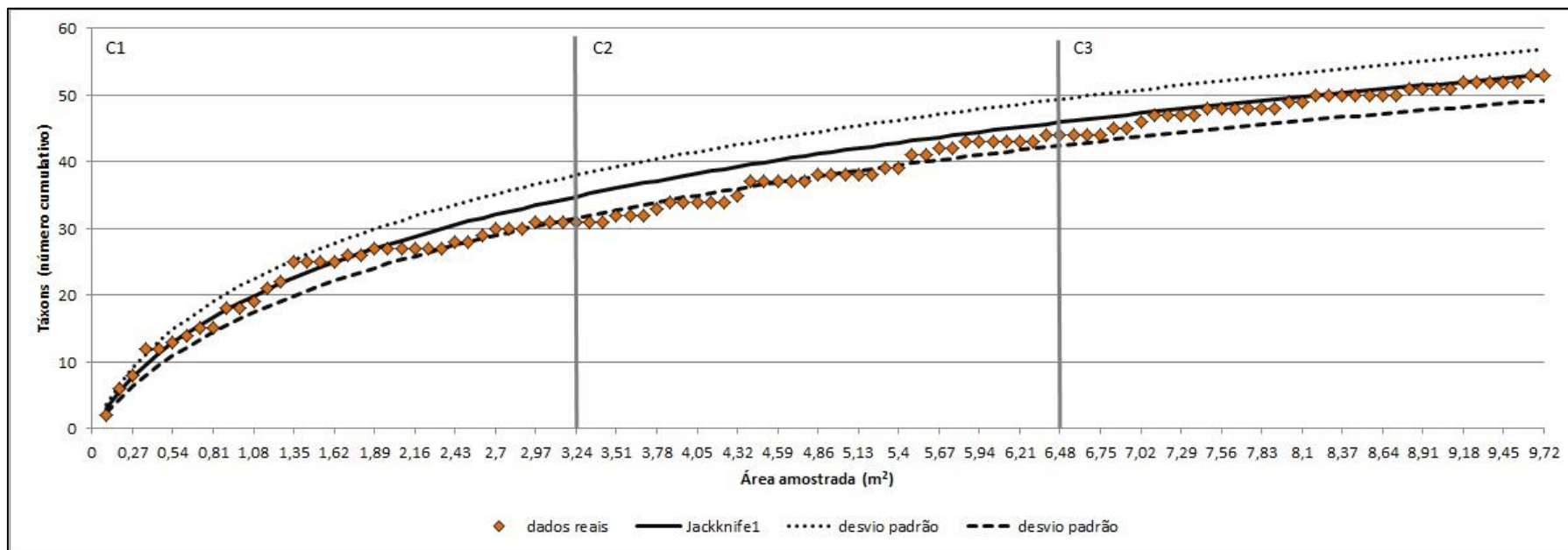


comparados com formas que vivem na coluna d'água (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

### **V.2.1 - Avaliação da Amostragem**

Ao todo foram coletadas 108 réplicas (36 em cada campanha) com uma área de 900 cm<sup>2</sup> (30 x 30 cm) cada, o que equivale a um total de 9,72 m<sup>2</sup> amostrados.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados evidencia um incremento maior de taxa entre a 1<sup>a</sup> e 21<sup>a</sup> réplica (27 taxa), ou seja, mais da metade dos taxa foi coletado nas primeiras réplicas da primeira campanha (Figura V.2-1). Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve bem próxima da distribuição esperada, pois quase todos os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife, exceto algumas réplicas da segunda campanha, que estiveram abaixo do valor do desvio padrão. Esse resultado evidencia a importância do esforço amostral realizado no poço GH1, pois a distribuição real dos dados se aproxima muito da distribuição esperada para a área.

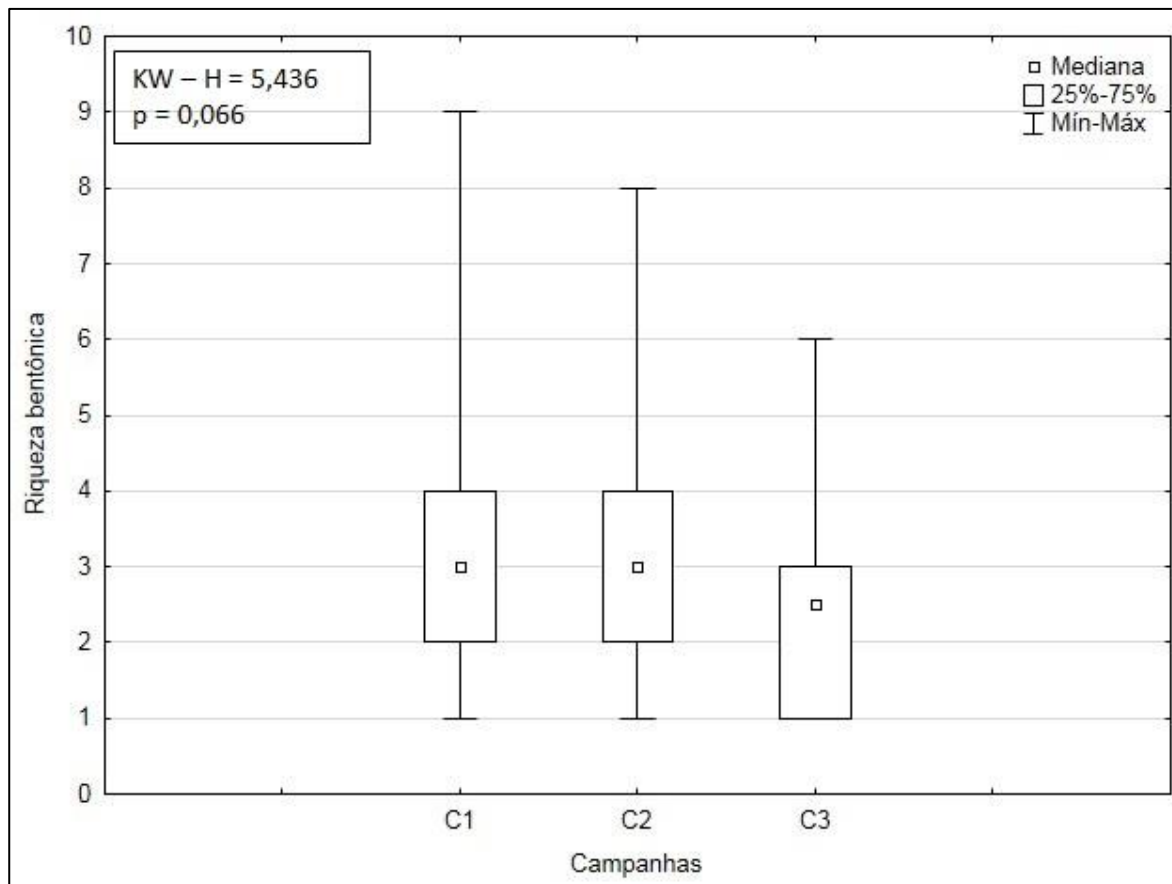


**Figura V.2-1** – Número cumulativo de taxa por área amostrada encontrado ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

## V.2.2 - Análise Qualitativa

A amostragem da comunidade bentônica nas doze estações de coleta registrou um total de 32 taxa, dentre os quais, 2 foram identificados a nível de filo, 1 a nível de subfilo, 3 a nível de classe, 1 a nível de subclasse, 2 a nível de ordem, 16 a nível de família, 7 a nível de gênero e nenhum foi identificado em nível de espécie. À vista disso, as comunidades foram descritas qualitativamente pelo número de taxa e não pelo número de espécies. Nas campanhas de monitoramento realizadas no Polo Uruguá - Bacia de Santos, local bem próximo às estações de coleta do presente trabalho, encontraram número de taxa total variando de 14 a 50 taxa por campanha (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012), sendo superiores aos encontrados na atual campanha. Já nas campanhas anteriores de monitoramento do poço GH1, o número de taxa variou entre 4 e 14 (31 taxa no total), e entre 4 e 12 taxa (30 taxa no total), corroborando os dados de número de taxa total encontrados na presente campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). A lista completa com os taxa encontrados é apresentada no Anexo IX-3.

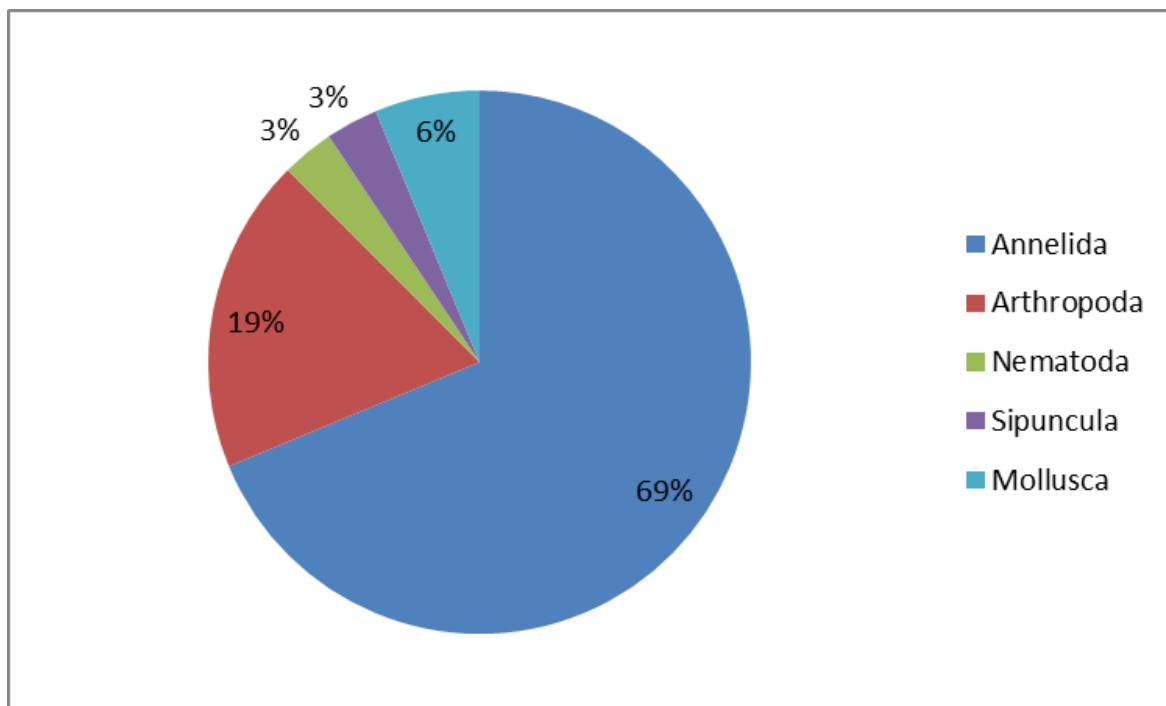
Na Figura V.2-2 são apresentadas as riquezas de taxa obtidas nas campanhas de monitoramento do poço GH1. Os maiores valores e a maior amplitude de valores foi encontrada na primeira campanha. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as três campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

**Figura V.2-2** – Box plots representativos dos valores de riqueza ( $n^{\circ}$  de taxa) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

A atual campanha encontrou organismos pertencentes a cinco filos bentônicos (Mollusca, Sipuncula, Arthropoda, Annelida e Nematoda). A maioria dos filos (Annelida, Nematoda, Sipuncula e Arthropoda) foram registrados nos programas de monitoramento citados anteriormente. De maneira geral, o filo com maior número de taxa foi Annelida, com riqueza total de 22 taxa (Figura V.2-3). Esse grupo se destacou em relação aos demais que tiveram riqueza máxima de 6 taxa (Arthropoda) e mínima de 1 taxa (Nematoda e Sipuncula). Vale ressaltar que os organismos pertencentes aos filos Nematoda e Sipuncula não foram identificados. Por este motivo, o resultado desses grupos não pôde ser descrito com grande precisão.



**Figura V.2-3** – Porcentagem de riqueza de taxa dos filos bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

A dominância de anelídeos na comunidade bentônica de substrato inconsolidado corrobora os dados da literatura. Em campanhas de monitoramento realizadas no local e nas proximidades, esses organismos, com destaque para os poliquetas, foram descritos como o grupo dominante nessas comunidades (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b). Os organismos da Classe Polychaeta distinguem-se dos outros anelídeos pela presença de duas projeções laterais em cada segmento, os parapódios, que são providos de cerdas. Apresentam capacidade de construir tubos e até mesmo galerias, onde vive o animal. Sua importância foi notada em praticamente todos os ecossistemas bentônicos e habitam, em sua maioria, as camadas superficiais do substrato participando assim na movimentação, reciclagem e aeração das camadas superficiais destes mesmos sedimentos. Possuem alto potencial reprodutivo e representam aproximadamente um terço do número total de espécies de zoobentos (AMARAL *et al.*, 2004).

O filo Arthropoda, que esteve representado por organismos do subfilo Crustacea, também foi bastante representativo na atual campanha. Esse filo

possui grande importância nas comunidades bentônicas, sendo fortemente representado pelos crustáceos (LANA *et al.*, 1996; SEREJO *et al.*, 2007). Os artrópodes possuem atuação ecológica bem ampla nos ecossistemas aquáticos, que é decorrente da grande diversidade de estratégias de obtenção de recursos desenvolvidas por esses organismos, sendo elementos-chave para esses sistemas (CUMMINS & KLUG, 1979).

No presente estudo, os moluscos encontrados pertenciam às classes Caudofoveata e Bilvalvia. Mollusca é um dos maiores filos de invertebrados em número de espécies (DIAZ; PUYANA, 1994; RUPPERT *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2007). Na Bacia de Santos, os gastrópodes e bivalves são grupos muito representativos nas comunidades bentônicas.

A macrofauna de substratos inconsolidados da plataforma brasileira é composta majoritariamente pelos filos Mollusca, Annelida (poliquetas) e Arthropoda (crustáceos) (BRASIL *et al.*, 2007; LANA *et al.*, 1996; SOARES-GOMES *et al.*, 2009), conforme observado nos dados da atual campanha. As campanhas de monitoramento realizadas no Polo Uruguá - Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012) também encontraram dominância de anelídeos, moluscos e artrópodes. Esses filos também foram encontrados nas campanhas anteriores de monitoramento do poço GH1, exceto o filo Mollusca na primeira campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b).

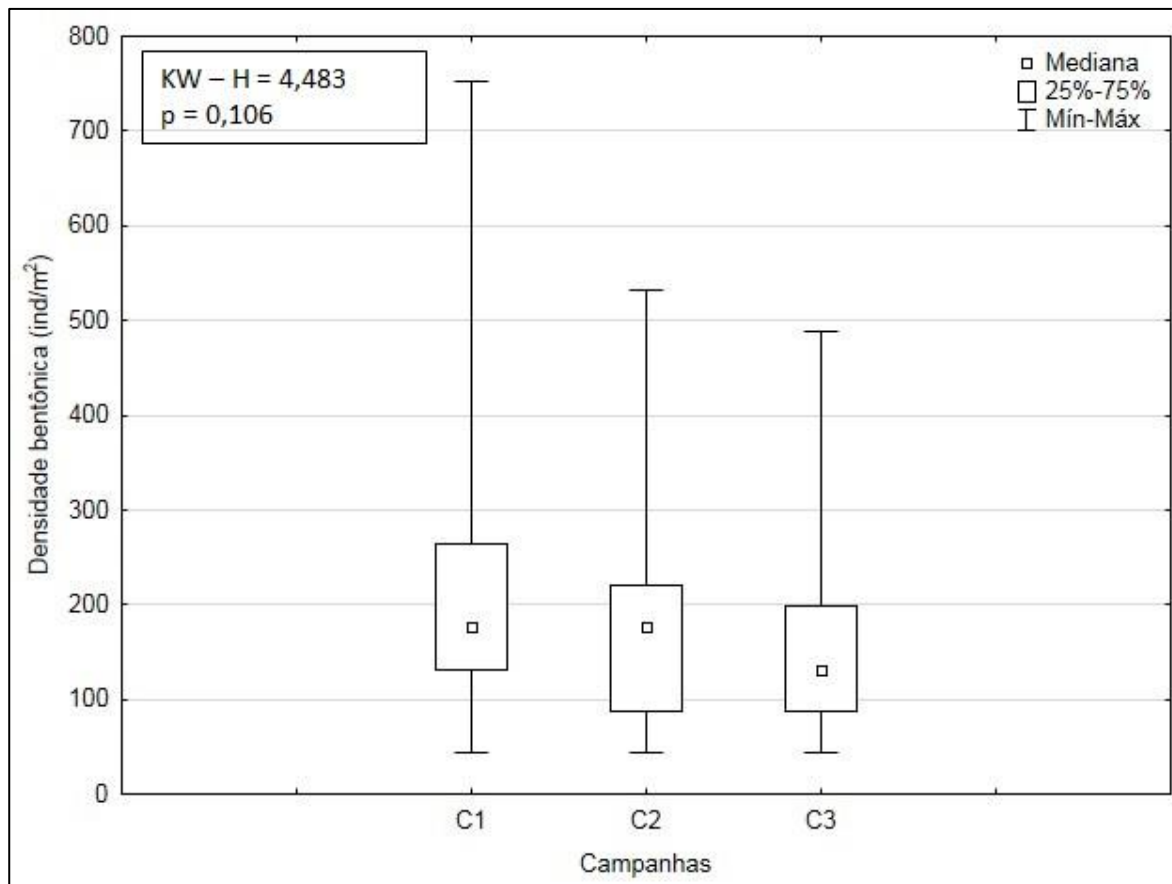
Os indivíduos dos filos Nematoda e Sipuncula só foram identificados em nível de filo. No entanto, os mesmos são reconhecidamente menos ricos na Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015b) e nas comunidades bentônicas marinhas de maneira geral (SOARES-GOMES *et al.*, 2009; LANA *et al.*, 1996).

### **V.2.3 - Análise Quantitativa**

A densidade média de organismos bentônicos obtida na presente campanha foi de  $449,08 \pm 159,93$  ind./m<sup>2</sup>, variando de 265 ind./m<sup>2</sup> em GH1\_5R2 até 708 ind./m<sup>2</sup> na estação GH1\_7R. Campanhas de monitoramento realizadas no Polo Uruguá - Bacia de Santos encontraram densidade média de 308,52; 1700,71 e

661,56 ind./m<sup>2</sup>, na primeira (setembro de 2009), segunda (janeiro de 2010) e terceira (dezembro de 2010 e janeiro de 2011) campanha desse monitoramento, respectivamente, com valores de densidade mínima de 41,33 ind./m<sup>2</sup> e a máxima de 1.078,74 ind./m<sup>2</sup> entre as 3 campanhas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012), corroborando os dados de densidade encontrados na presente campanha, que estiveram dentro do intervalo de valores descritos na literatura para o local. Já na primeira campanha de monitoramento do poço GH1 a densidade variou entre 309 e 1.594 ind./m<sup>2</sup> (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b), sendo, portanto, maior que a encontrada na presente campanha. Na segunda campanha de monitoramento do poço GH1, a densidade variou entre 88,33 e 324 ind./m<sup>2</sup>, sendo, portanto, menor do que a encontrada na presente campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo IX-3.

Na Figura V.2-4 é apresentada a densidade de macrofauna obtida nas três campanhas do poço GH1. A atual campanha apresentou os menores valores de densidade. Não foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

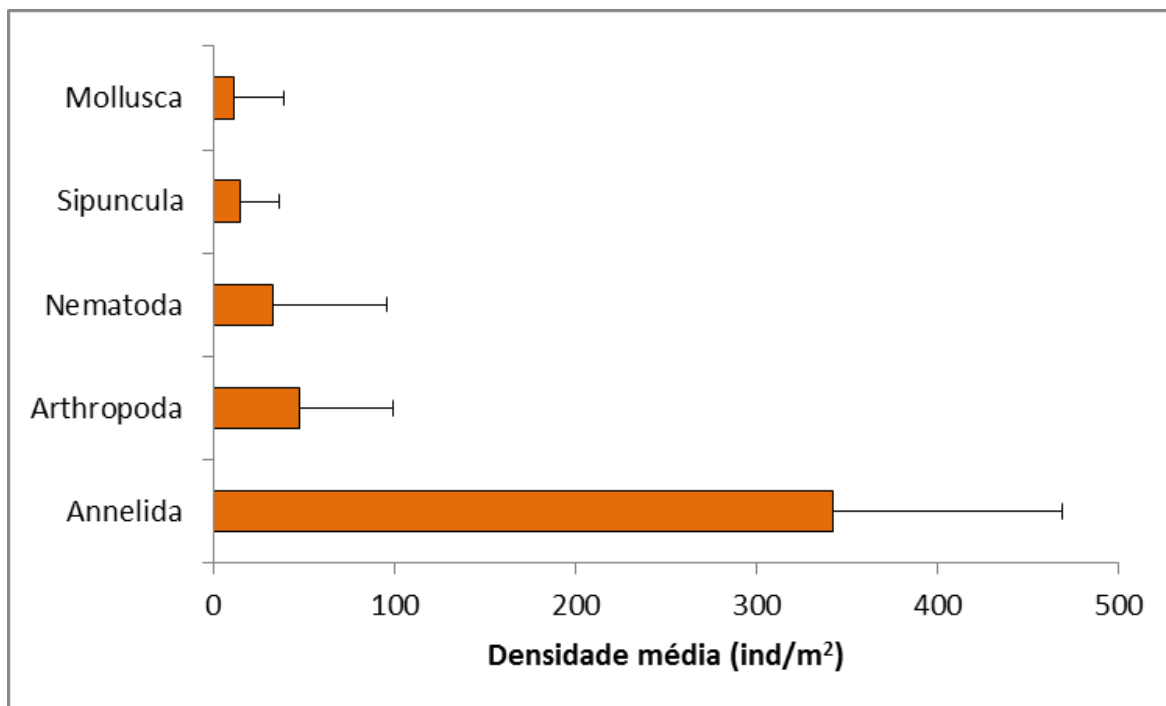


\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

**Figura V.2-4** – Box plots representativos da densidade ( $\text{ind./m}^2$ ) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Além de apresentar maior número de taxa (ver Figura V.2-3), o filo dos anelídeos também apresentou a maior densidade de organismos nas comunidades bentônicas do local, registrando média de  $342,42 \pm 126,96 \text{ ind./m}^2$ . Os outros grupos tiveram valores muito inferiores, dos quais foram encontrados valores 31 vezes menores ou inferiores. Arthropoda foi o segundo grupo com maior densidade ( $47,75 \pm 51,39 \text{ ind./m}^2$ ), seguido por Nematoda ( $33,17 \pm 63,12 \text{ ind./m}^2$ ). Os filos Sipuncula e Mollusca tiveram as menores densidades,  $14,67 \pm 21,66 \text{ ind./m}^2$  e  $11,08 \pm 27,61 \text{ ind./m}^2$ , respectivamente (Figura V.2-5).





**Figura V.2-5** – Densidade de organismos (ind./m<sup>2</sup>) dos filos bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. A barra representa a média das 12 estações  $\pm$  desvio-padrão.

Nas comunidades bentônicas das regiões Sudeste e Sul do Brasil, os poliquetas estão entre os grupos mais bem representados tanto em abundância quanto em número de espécies (AMARAL; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2004). Devido a sua abundância são fundamentais no controle de outras populações, além de serem fonte de alimento para diversos grupos como peixes, aves, crustáceos, dentre outros. Por este motivo, os poliquetas contribuem significativamente nas cadeias alimentares das comunidades bentônicas (AMARAL; MIGOTTO, 1980).

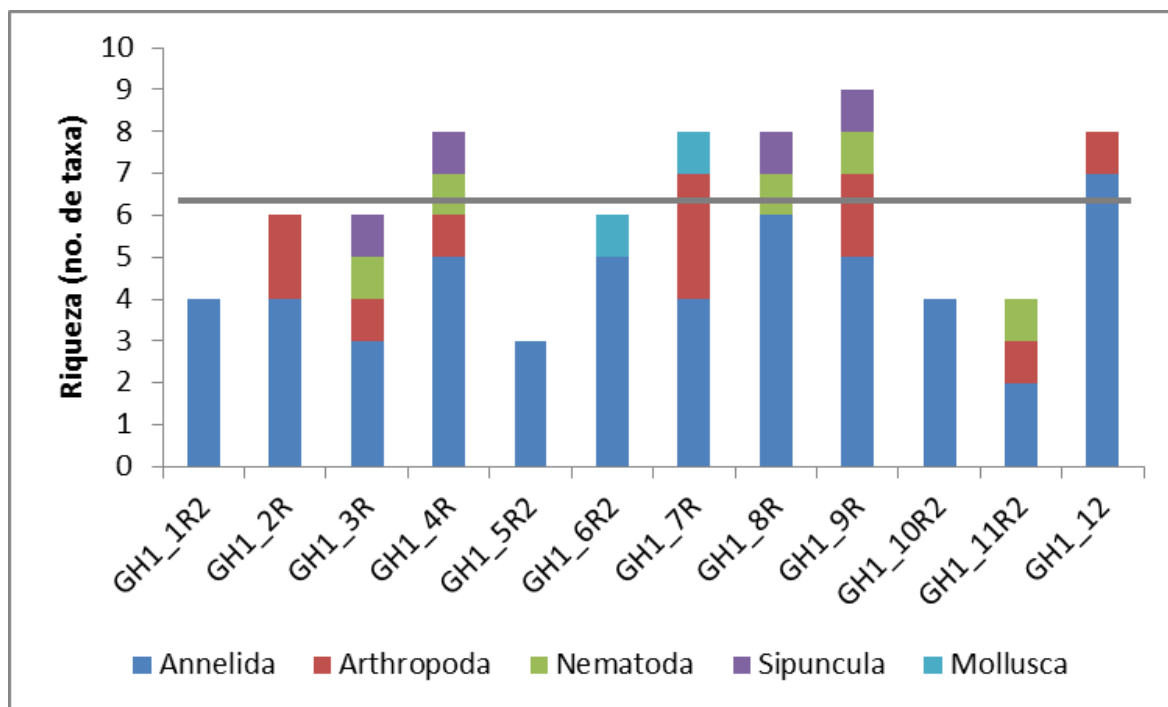
#### **V.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos**

De maneira geral, os valores de riqueza total entre as estações foram distintos. A riqueza de taxa variou de 3 (GH1\_5R2) a 9 taxa (GH1\_9R). A riqueza média das estações foi de  $6,17 \pm 2,04$  taxa (Figura V.2-6). Não foram encontradas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ).

As comunidades bentônicas possuem forte variação espacial, devido à variação nos fatores ambientais do local (LANA, 1994; SOARES-GOMES *et al.*, 2009). A diferença entre os dados do presente trabalho pode estar relacionada com a variação espacial natural observada nessas comunidades.

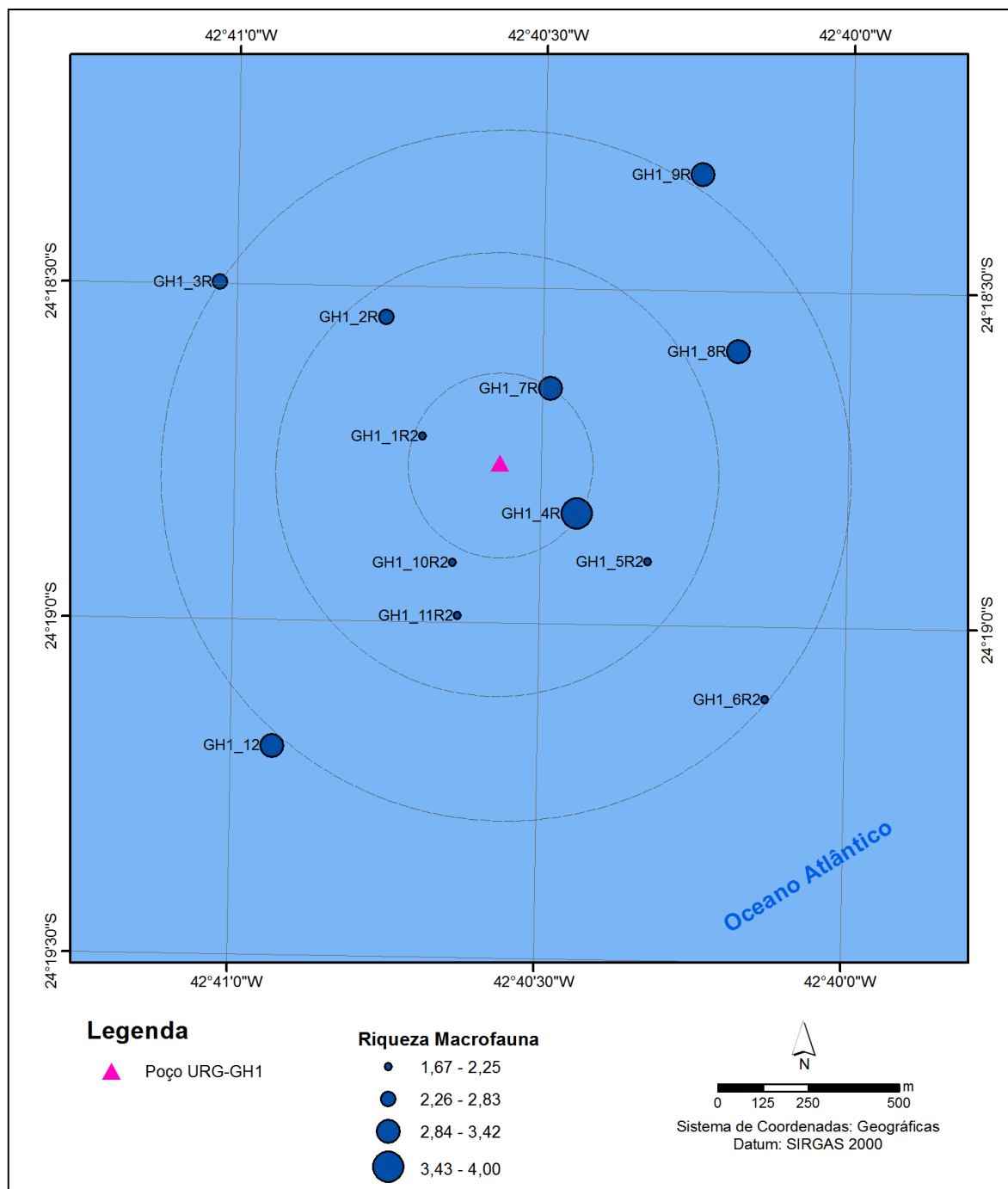
Apesar da diferença na riqueza total, a contribuição dos diferentes filos nas estações foi bastante similar. Em todos os pontos de amostra os anelídeos foram o grupo dominante, seguidos pelos artrópodes, que foram encontrados em todas as estações, exceto nas estações GH1\_1R2, GH1\_5R2, GH1\_6R2, GH1\_8R e GH1\_10R2 (Figura V.2-6). O filo Nematoda ocorreu somente nas estações GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_8R, GH1\_9R e GH1\_11R2, enquanto que o filo Sipuncula ocorreu somente nas estações GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_8R e GH1\_9R. Já o filo Mollusca ocorreu somente nas estações GH1\_6R2 e GH1\_7R.

A grande ocorrência de espécies e indivíduos de Polychaeta (Annelida) é uma característica encontrada em algumas áreas da região Sudeste-Sul da plataforma brasileira (AMARAL; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2004), sendo característica do local de estudo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).



**Figura V.2-6** – Número de taxa dos filos bentônicos nas doze estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase de pós-perfuração). A linha cinza representa a média das estações.

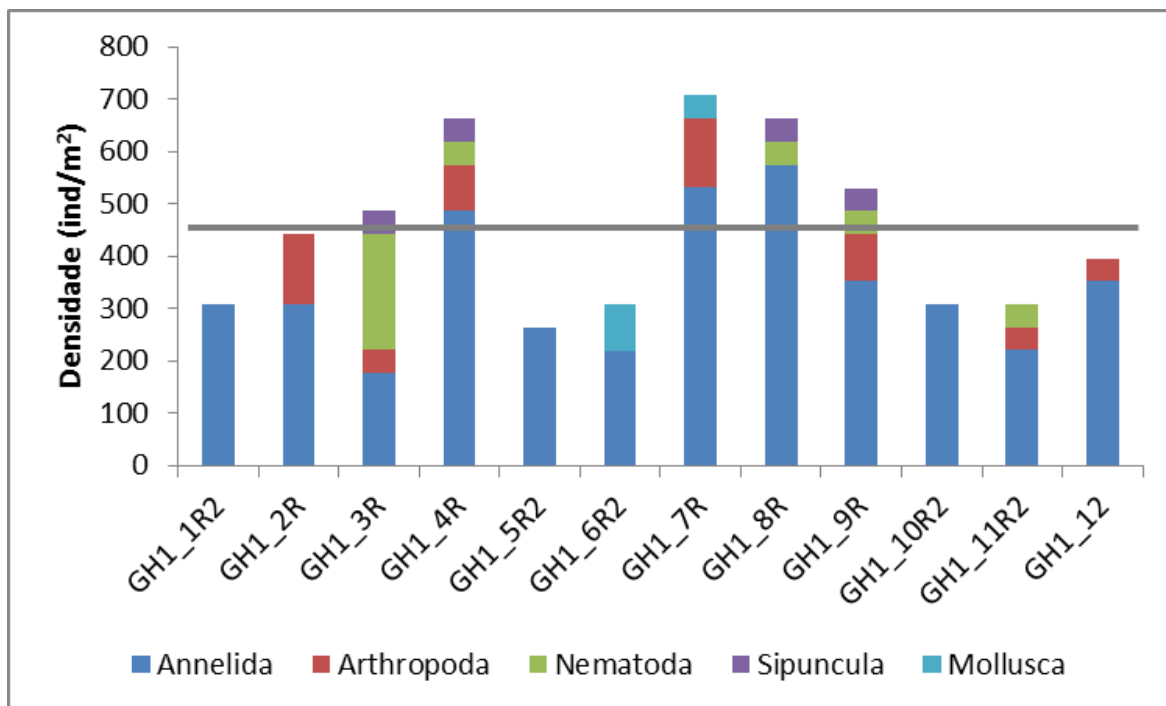
De maneira geral, foram encontrados maiores valores de riqueza a leste e nordeste do poço GH1 (Figura V.2-7).



**Figura V.2-7** – Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na terceira campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase de pós-perfuração).

Comparando a densidade total das estações de coleta foi possível observar pequena dispersão dos dados em torno da média ( $449,08 \pm 159,93$  ind./m<sup>2</sup>), resultado que pode ser confirmado visualmente no gráfico. Esse resultado sugere muita similaridade entre as estações de coleta do monitoramento (Figura V.2-8). Esse resultado é comprovado pela análise estatística, pois não foram encontradas diferenças significativas entre as estações de coleta (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

Com exceção das estações GH1\_4R, GH1\_7R e GH1\_8R, que apresentaram maior densidade proporcional média de Arthropoda em comparação com as demais, a contribuição em densidade nas estações de amostragem foi similar, devido a grande abundância de anelídeos em todas as amostras. Os outros filos, que apresentaram menores densidades, variaram aleatoriamente nas estações devido aos tamanhos populacionais menores (Figura V.2-8). Portanto, para os dados qualitativos, não foram observadas diferenças marcantes entre as estações de coleta do presente trabalho, indicando grande similaridade entre as mesmas, que apresentaram variação considerada natural e comum nesse tipo de comunidade. Ademais, a ocorrência de populações menos abundantes é comum na natureza, e as mesmas são de grande importância para a manutenção do equilíbrio ecológico dos ecossistemas (RICKLEFS, 2003).



**Figura V.2-8** – Densidade de organismos ( $\text{ind./m}^2$ ) dos filós bentônicos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos. A barra representa o total das 3 réplicas.

De maneira geral, foram encontradas maiores densidades a leste e nordeste do poço GH1 (Figura V.2-9).

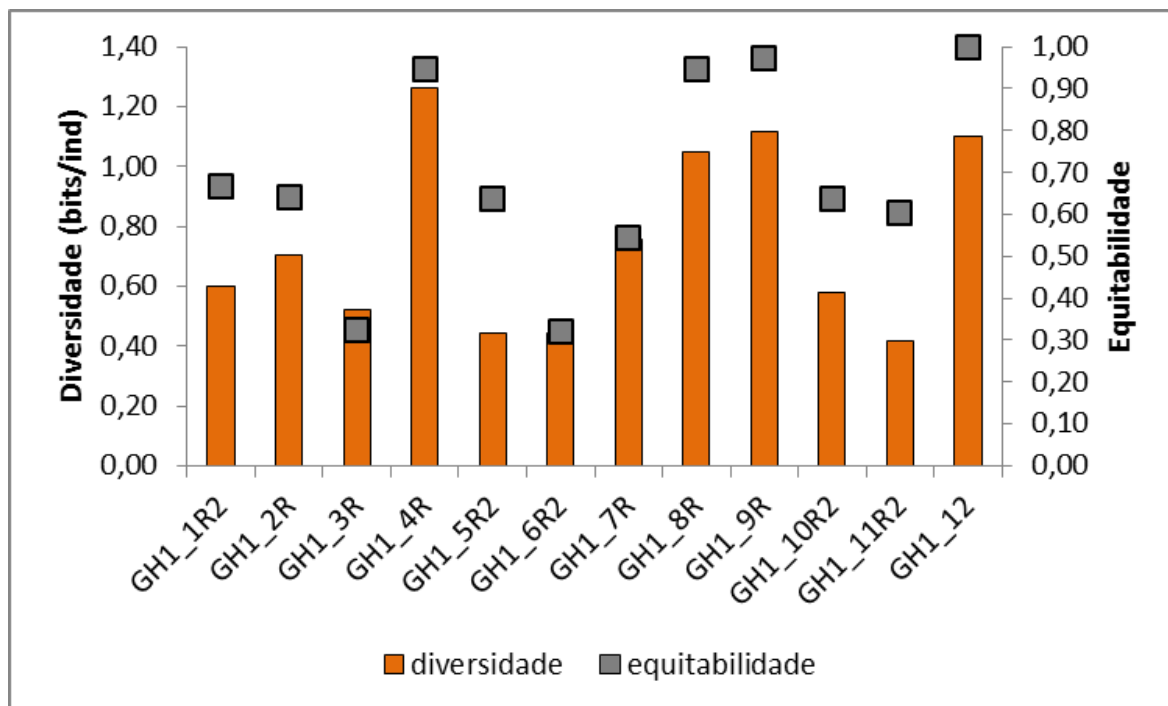


**Figura V.2-9** – Distribuição espacial da densidade total (ind./m<sup>2</sup>) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1 (fase de pós-perfuração).

O índice de Shannon (H'), o qual mensura a diversidade de espécies, teve valor médio de  $0,75 \pm 0,30$  nas estações de coleta. As estações de coleta foram pouco similares para este parâmetro, variando consideravelmente em torno da

média. Não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de diversidade da macrofauna bentônica entre as diferentes estações amostrais (ANOVA,  $p > 0,05$ ). O valor mínimo observado, registrado na estação GH1\_11R2, foi de 0,42 e o máximo foi de 1,26, na estação GH1\_4R. Esse resultado está diretamente relacionado com o fato de essas estações terem sido aquelas onde foram registrados um dos valores mínimos e um dos valores máximos para os parâmetros de riqueza e densidade de organismos. Isso porque esse índice leva em consideração a riqueza e a distribuição das abundâncias entre os taxa (SHANNON, 1948).

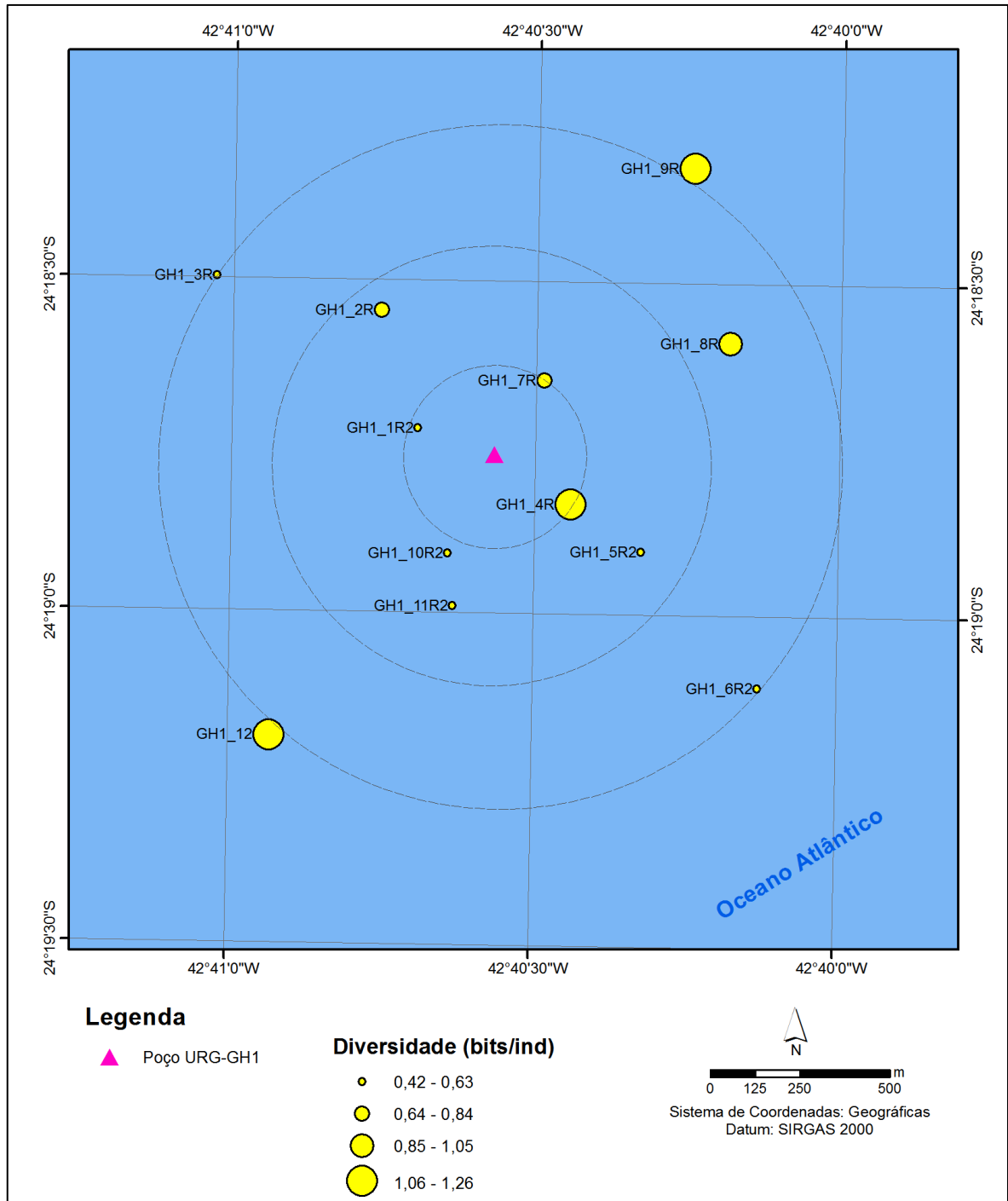
As comunidades bentônicas nas diferentes estações amostrais registraram uma equitabilidade média de  $0,69 \pm 0,24$ . Bem como os valores da diversidade, os valores de equitabilidade também não foram similares entre as 12 estações de coleta do monitoramento. Apesar disso, não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de equitabilidade da macrofauna bentônica entre as diferentes estações amostrais (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ). As estações GH1\_3R e GH1\_6R2 registraram o menor valor (0,32) e a GH1\_12, o maior (1,00) (Figura V.2-10). O índice de equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) avalia a uniformidade de distribuição de indivíduos entre espécies dentro da comunidade. Este índice varia de 0 a 1, e os valores próximos a 1 indicam uma comunidade mais diversificada, enquanto que valores próximos a zero indicam que a quantidade de organismos está distribuída de maneira menos equitativa entre as espécies (PIELOU, 1977). Portanto, os valores observados indicam uma boa distribuição entre as abundâncias das espécies dessa comunidade, indicando uma comunidade equitativa, exceto nas estações GH1\_3R e GH1\_6R2, em que os valores de equitatividade foram baixos.



**Figura V.2-10** – Índices ecológicos da comunidade bentônica nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

Não foi observado um padrão de distribuição espacial para a diversidade e a equitabilidade (Figura V.2-11 e Figura V.2-12). De maneira geral, os maiores valores de ambos os parâmetros estão localizados a leste e nordeste do poço GH1.



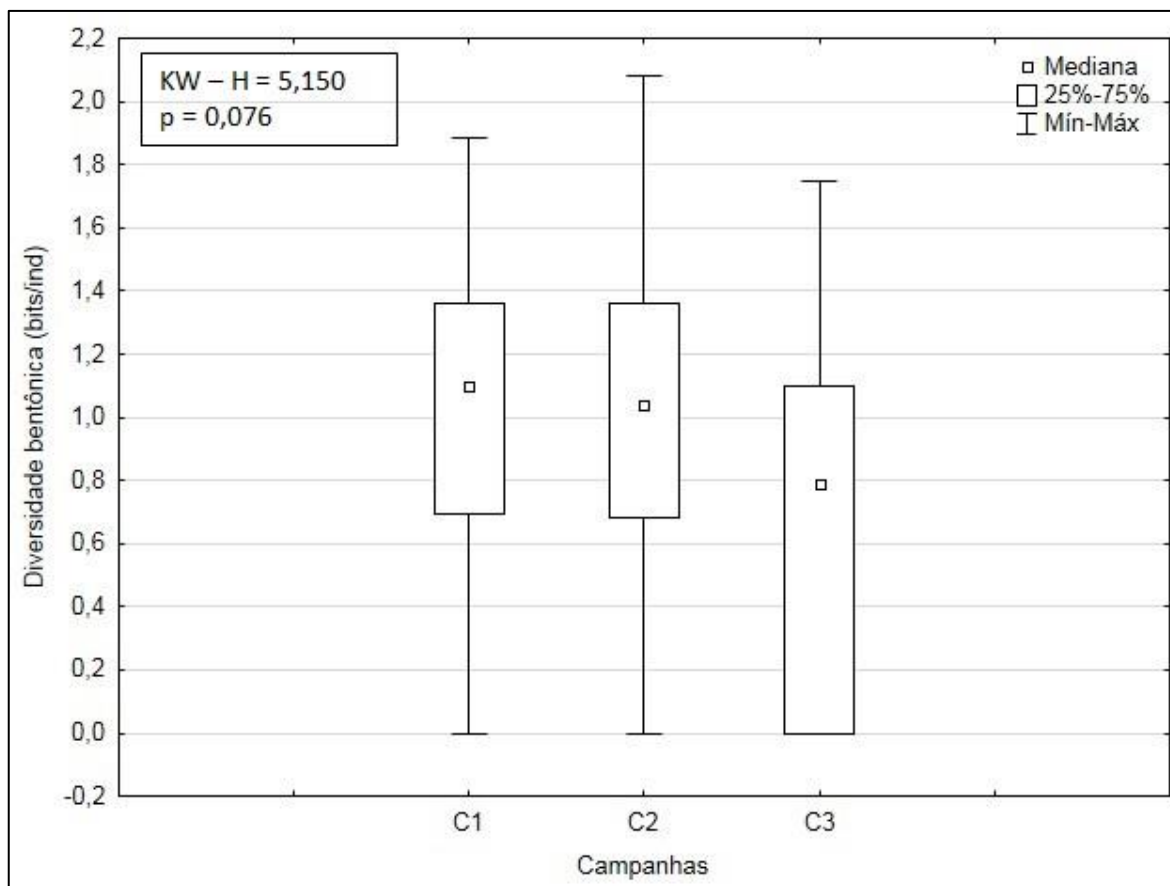


**Figura V.2-11 – Distribuição espacial da diversidade (bits/ind.) da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos**



**Figura V.2-12** – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

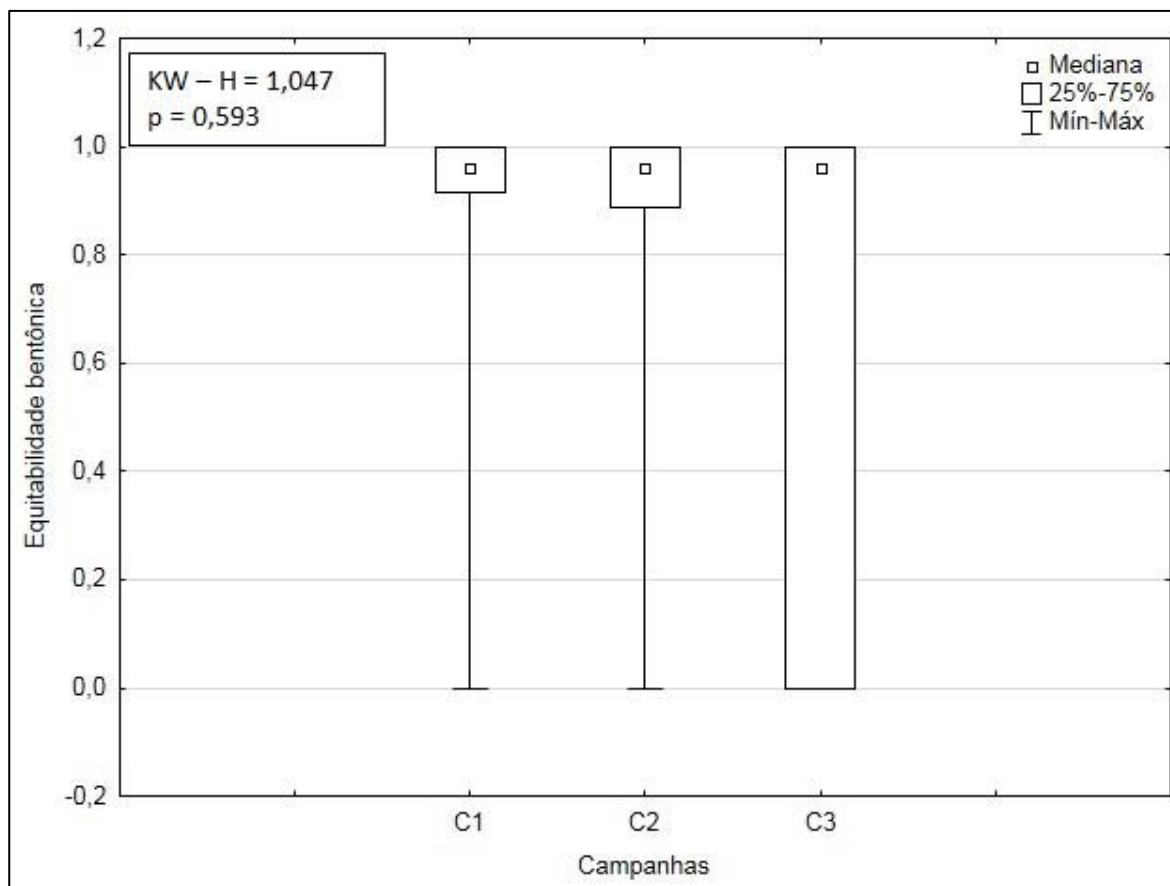
Na Figura V.2-13 é apresentada a diversidade da macrofauna obtida nas três campanhas do poço GH1. A 2ª campanha apresentou os maiores valores de diversidade. Não foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

**Figura V.2-13** - Box plots representativos da diversidade (bits/ind) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

Na Figura V.2-14 é apresentada a equitabilidade de macrofauna obtida nas três campanhas do poço GH1. A equitabilidade foi semelhante entre as campanhas de monitoramento e não foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

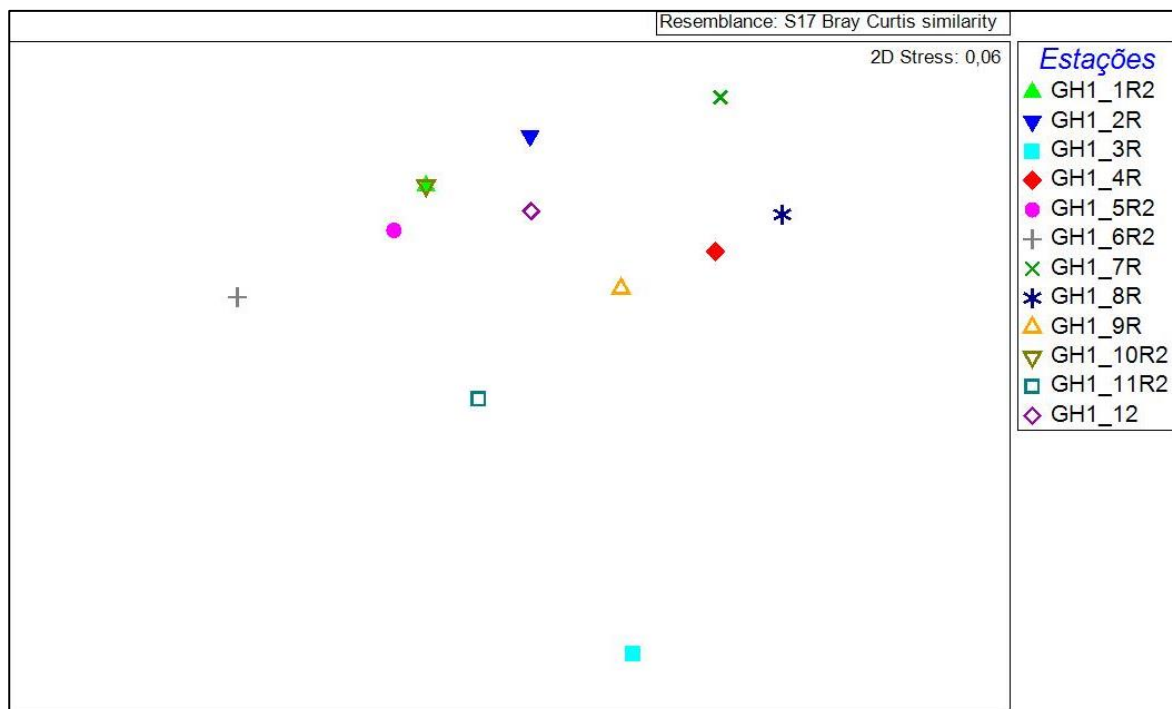
**Figura V.2-14** - Box plots representativos da equitabilidade das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1.

A baixa diversidade de espécies pode ocorrer em regiões onde os fatores físico-químicos são bastante limitantes, onde há baixa disponibilidade de recursos ou, ainda, em locais sujeitos a impactos antrópicos. Por este motivo, os índices de diversidade e equitabilidade são uma ferramenta bastante útil para caracterizar as comunidades aquáticas. Em condições adversas, pode ocorrer a exclusão de determinadas espécies, favorecendo a dominância de outras mais adaptadas às adversidades, o que se reflete no resultado dos índices ecológicos (RICKLEFS, 2003; SHANNON, 1948; GRAY, 1981). Na presente campanha, a comunidade apresentou baixa diversidade e alta equitatividade na maioria das estações.

#### V.2.4.1 - MDS e Análise de Cluster

A análise de escalonamento multidimensional (MDS) é uma técnica não métrica que permite a visualização da matriz da distância entre objetos em um espaço reduzido, preservando as distâncias entre eles (MELO & HEPP, 2008; SCHOLTEN & CALDEIRA, 1997). Desta forma, o MDS preserva a ordem da inter-relação entre as amostras e permite uma observação somente do quanto as amostras são próximas ou afastadas. O gráfico gerado através da análise de MDS mostra as distâncias entre as estações (Figura V.2-15). O mesmo mostra as estações de coleta distribuídas aleatoriamente, ou seja, sem padrão de diferenciação bem definido, sugerindo não terem ocorrido maior ou menor similaridade entre as estações de coleta da presente campanha, exceto a estação GH1\_3R, que ficou separada das demais. Não foi observada a formação de nenhum grupo claro através dessa análise. Esse resultado reflete o padrão observado para os parâmetros avaliados dessas comunidades, onde não foram observadas grandes diferenças entre as estações de coleta.

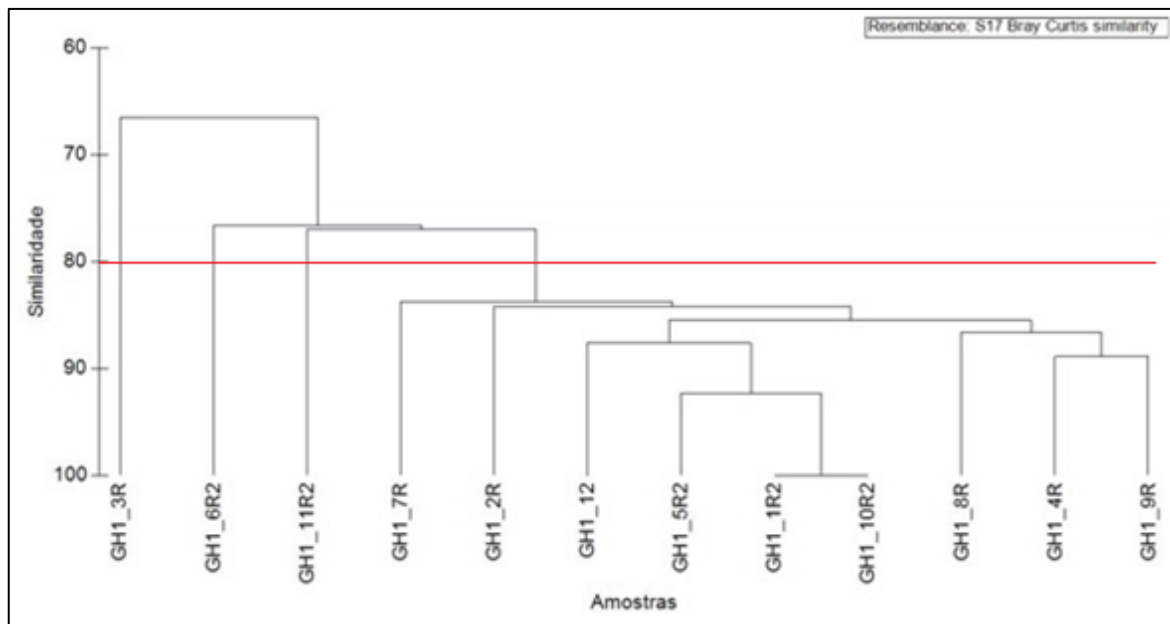
O valor de *stress* do MDS foi de 0,06, ficando abaixo do limite máximo aceitável para ser um resultado confiável. Valores de *stress* ideais são aqueles menores que 0,2, correspondendo a uma boa ordenação dos dados (CLARKE & WARWICK, 2001).



**Figura V.2-15** – Distâncias obtidas através da matriz de semelhança entre as densidades das 12 estações amostrais geradas pela análise de ordenamento multidimensional para a comunidade bentônica amostrada durante a atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

A análise de *Cluster* agrupa pares de objetos mais similares entre si, reunindo-os em função de similaridades decrescentes, facilitando o reconhecimento de amostras com características semelhantes. O dendrograma gerado a partir da análise de *Cluster* para as doze estações amostradas durante a atual campanha de monitoramento indica que as estações possuem similaridade superior a 65% (distância de Bray-Curtis). Essa análise reflete grande similaridade entre as estações de coleta, sem um padrão muito claro de distribuição dos organismos (Figura V.2-16). A estação GH1\_3R foi a que mais se diferenciou das demais. Com 80 % de similaridade observa-se a formação de quatro grupos de estações: i) GH1\_3R, ii) GH1\_6R2, iii) GH1\_11R2 e iv) demais estações.

Somando esta análise com as outras do presente trabalho, é possível concluir que os grupos formados indicam pequenas variações, que podem ser naturais ou refletir os impactos antrópicos de empreendimentos que já existem na região, na estrutura dessas comunidades, que representam a distribuição em manchas das comunidades bentônicas, conforme encontrado em ambientes naturais.



**Figura V.2-16** – Dendrograma da matriz de distâncias comparando as densidades de organismos da comunidade bentônica, observadas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos.

Através da análise dos parâmetros qualitativos (riqueza e composição de taxa) e quantitativo (densidade), bem como a avaliação dos filos encontrados e sua respectiva variação nas estações de coleta, não foram detectadas diferenças marcantes entre as estações de coleta. As análises multivariadas confirmaram esse resultado demonstrando similaridade entre os pontos. Além disso, com poucas exceções, os dados da presente campanha corroboraram os dados da literatura tanto para plataforma continental brasileira como para as proximidades da área amostrada na presente campanha.

## **VI - ANÁLISE INTEGRADA**

É apresentada a seguir a análise integrada dos dados coletados para a terceira campanha de monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos. Neste estudo procurou-se investigar as relações entre as variáveis biológicas, físico-químicas (granulometria, nutrientes e matéria orgânica) e contaminantes, e verificar a existência de relações entre as respostas biológicas e as variáveis ambientais.

### **VI.1 - RELAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE MACROZOOBENTOS COM O AMBIENTE**

#### **VI.1.1 - Relações entre Granulometria, Matéria Orgânica e Nutrientes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos**

As correlações de Spearman realizadas entre os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes e os dados de indicadores biológicos de macrozoobentos, apresentaram duas correlações positivas significativas.

Neste caso, densidade e riqueza correlacionaram-se positivamente com carbonatos ( $r = 0,59$  e  $r = 0,61$ , respectivamente).



**Tabela VI.1-1 - Correlações de Spearman entre dados de granulometria e matéria orgânica e nutrientes e dados de diversidade, equitatividade, riqueza e densidade total de macrozoobentos das amostras de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos. Correlações significativas estão destacadas em vermelho  $p < 0,05$ .**

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitatividade
<b>MOT</b>	0,17	0,38	0,32	0,05
<b>COT</b>	-0,09	-0,17	-0,17	-0,37
<b>Carbonatos</b>	<b>0,59</b>	<b>0,61</b>	0,38	0,25
<b>NT</b>	0,20	-0,13	0,14	-0,02
<b>PT</b>	-0,16	-0,26	-0,01	0,20
<b>Cascalho</b>	0,34	0,27	0,16	0,19
<b>AMG</b>	-0,02	0,03	0,17	0,04
<b>AG</b>	-0,31	-0,01	-0,14	-0,08
<b>AM</b>	-0,43	-0,35	-0,43	-0,47
<b>AF</b>	-0,25	-0,17	-0,30	-0,32
<b>AMF</b>	0,42	0,20	0,28	-0,07
<b>Silte</b>	0,48	0,46	0,51	0,53
<b>Argila</b>	-0,33	-0,31	-0,33	-0,24
<b>Mediana</b>	-0,03	-0,08	0,29	0,56

Legenda: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; MOT: matéria orgânica total; COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total.

Após analisadas as correlações de Spearman, as relações entre os indicadores biológicos (densidade, riqueza, equitatividade e diversidade) e as variáveis físico-químicas do sedimento (granulometria, matéria orgânica e nutrientes), foram também investigadas através de uma análise de componentes principais (ACP). Para essa análise, as variáveis biológicas foram inseridas como variáveis ativas, e as físico-químicas, de granulometria, como variáveis suplementares.

A partir da análise de componentes principais (ACP), observou-se a distribuição espacial das estações na área de estudo, considerando-se as respostas biológicas em relação às variações ambientais. Na ACP apresentada (Figura VI.1-1), os dois primeiros eixos explicaram 93,95% da variação, sendo que o primeiro eixo explicou 83,95% e o segundo explicou 10,00% da variação dos dados.

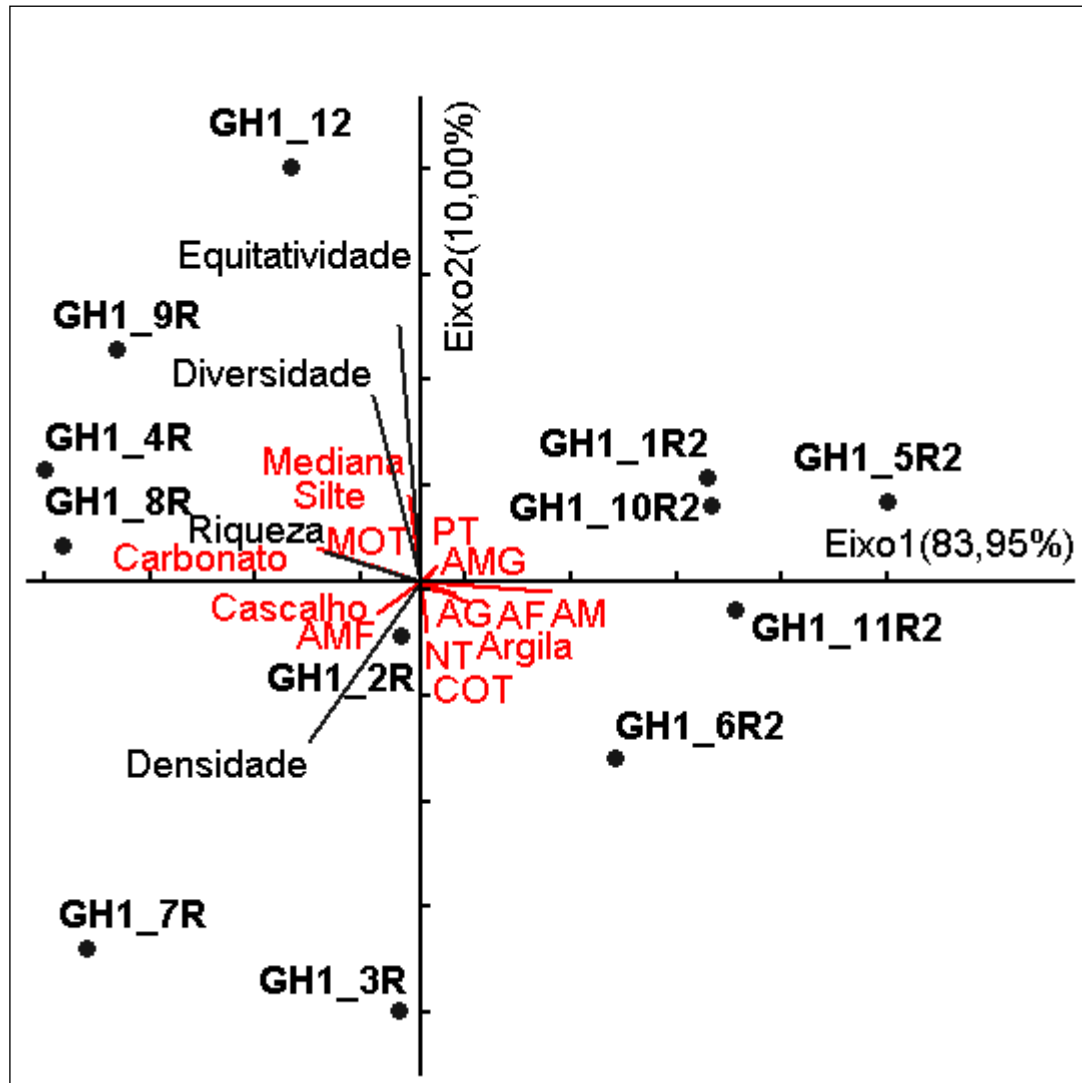
As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância  $d$  ao centro do plano (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983), que deve ser maior ou igual a  $(2/m)^{0,5}$ , onde  $m$  = número de

variáveis. Dessa forma, para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,71.

De maneira geral, as estações de coleta estiveram significativamente ( $p = 0,001$ ) distribuídas ao longo do eixo 1 da ACP, enquanto que a distribuição ao longo do segundo eixo não foi significativa. Nessa análise, as estações GH1\_1R2, GH1\_5R2, GH1\_6R2, GH1\_10R2 e GH1\_11R2 estiveram distribuídas positivamente ao longo do eixo 1, correlacionando-se negativamente e significativamente com a diversidade ( $r = -0,85$ ), riqueza ( $r = -0,95$ ), densidade ( $r = -0,96$ ). E na porção negativa do eixo 1, ocorreram as estações GH1\_2R, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_7R, GH1\_8R, GH1\_9R e GH1\_12, que apresentaram relação positiva com a diversidade, riqueza e densidade.

Como a variação explicada ao longo do eixo 2 não foi significativa, foram consideradas as relações e variações observadas apenas ao longo do eixo 1.

As relações observadas na ACP apontam as potenciais estações amostrais positivamente e negativamente relacionadas aos indicadores biológicos, indicando, portanto, que, das relações encontradas nas correlações de Spearman, as estações GH1\_2R, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_7R, GH1\_8R, GH1\_9R e GH1\_12 estão potencialmente apresentando as relações positivas entre densidade e carbonatos e entre riqueza e carbonatos (ver Tabela VI.1-1 e Figura VI.1-1). Embora tais relações com as variáveis ambientais não tenham sido significativas nessa ACP, pois a distância das variáveis ambientais ao centro é inferior a 0,71, essa análise presta boa informação a respeito da distribuição das estações em função das suas respostas biológicas e torna possível, considerações acerca das correlações apresentadas anteriormente.



Legenda: AG, areia grossa, AMG, areia muito grossa, AM, areia média, AMF, areia muito fina, AF, areia fina, NT, nitrogênio total, PT, fósforo total, COT, carbono orgânico total, MOT, matéria orgânica total.

**Figura VI.1-1** - Análise de componentes principais dos indicadores biológicos de macrozoobentos, sobrepondo-se as variáveis ambientais (granulometria, nutrientes e matéria orgânica) sobre o plano da ACP. Coleta de sedimento da 3ª campanha monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.

## VI.1.2 - Relações entre Contaminantes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos

As correlações de Spearman entre os metais, os hidrocarbonetos e os indicadores biológicos de macrozoobentos não apresentou nenhuma correlação significativa (Tabela VI.1-2).

**Tabela VI.1-2** - Correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos coletados durante a 3ª campanha de monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitatividade
HTP	0.41	0.00	0.16	-0.18
N-alcanos	0.18	-0.13	-0.04	-0.30
MCNR	0.43	-0.01	0.07	-0.28
Alumínio	0.01	-0.17	-0.15	-0.25
Bário	0.10	0.10	0.07	-0.11
Cobre	-0.21	-0.17	0.01	-0.18
Chumbo	-0.49	-0.32	-0.13	-0.05
Cromo	0.06	-0.03	0.13	-0.12
Ferro	-0.12	-0.07	0.02	-0.19
Manganês	-0.10	-0.18	0.09	0.18
Níquel	0.17	-0.02	0.18	0.00
Zinco	0.06	-0.07	-0.03	-0.34
Vanádio	-0.01	-0.12	0.10	0.07

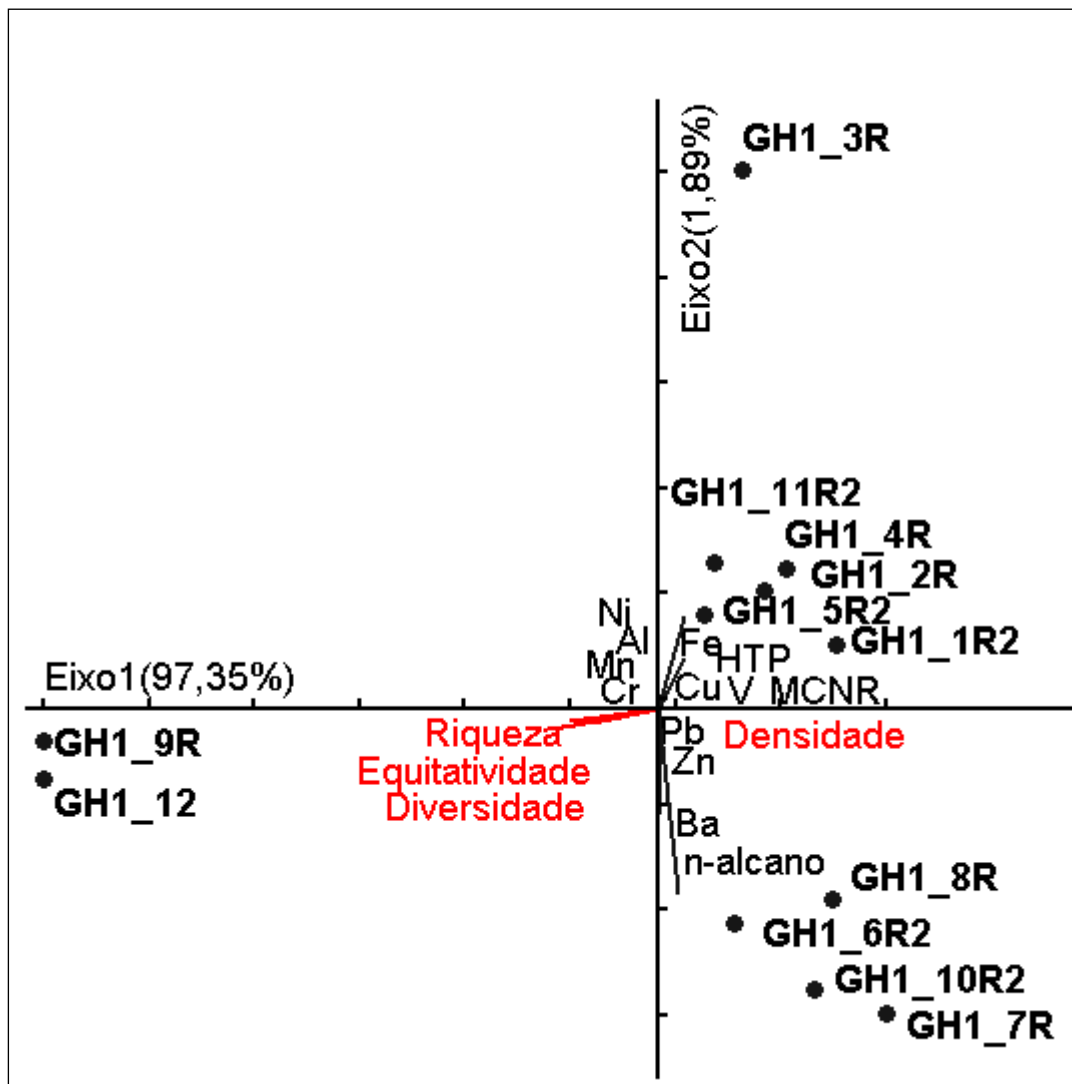
Legenda: HTP: Hidrocarbonetos totais de petróleo; MCNR: Mistura complexa não resolvida.

Para complementar a análise das relações entre metais e hidrocarbonetos com os indicadores biológicos foi realizada uma ACP, a qual permite a visualização da distribuição das estações de coleta em função da concentração dos contaminantes (os quais foram considerados como variáveis ativas na ACP) e dos indicadores biológicos (inseridos como variáveis suplementares na ACP). Dessa forma, conforme pode ser visualizado na Figura VI.1-2, os dois primeiros eixos da ACP explicaram 99,24% da variação, sendo 97,35% e 1,89% relativos ao primeiro e segundo eixo, respectivamente.

Para avaliar as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP, a distância  $d$  ao centro do plano (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983) foi

determinada. Dessa forma, foram consideradas, para fins de interpretação, apenas as variáveis com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,39.

De maneira geral, as amostras distribuíram-se significativamente ( $P = 0,001$ ) ao longo do eixo 1 da ACP. No entanto, não foi significativa a distribuição ao longo do eixo 2. Na porção positiva do eixo 1 distribuíram-se as estações GH1\_1R2, GH1\_2R, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_5R2, GH1\_6R2, GH1\_7R, GH1\_8R, GH1\_10R2 e GH1\_11R2. Essas estações apresentaram significativa correlação positiva com HTP ( $r = 0,99$ ), n-alcanos ( $r = 0,97$ ), MCNR ( $r = 0,99$ ) e Zn ( $r = 0,63$ ) e correlação negativa com riqueza ( $r = -0,40$ ), diversidade ( $r = -0,46$ ) e equitatividade ( $r = -0,50$ ). Na porção negativa do eixo 1 ocorreram as estações GH1\_9R e GH1\_12, em que os valores de HTP, n-alcanos e MCNR foram nulos e que portanto, nesta ACP, tais estações estiveram negativamente correlacionadas com essas variáveis e também com Zn. Além disso, essas estações apresentaram relação positiva com riqueza ( $r = -0,40$ ), diversidade ( $r = -0,46$ ) e equitatividade ( $r = -0,50$ ). Não foram verificadas correlações da distribuição das estações amostrais em relação à densidade bentônica e nem com as demais variáveis de metais, pois essas variáveis não apresentaram significativa correlação com o eixo 1.



Legenda: Al, alumínio / Ba, bário / Cr, cromo / Cu, cobre / Fe, ferro / Mn, manganês/Ni, níquel/V, vanádio / Zn, zinco / HTP: Hidrocarbonetos totais de petróleo; MCNR: Mistura complexa não resolvida/ GH1, estações de coleta do poço GH1, 12 estações.

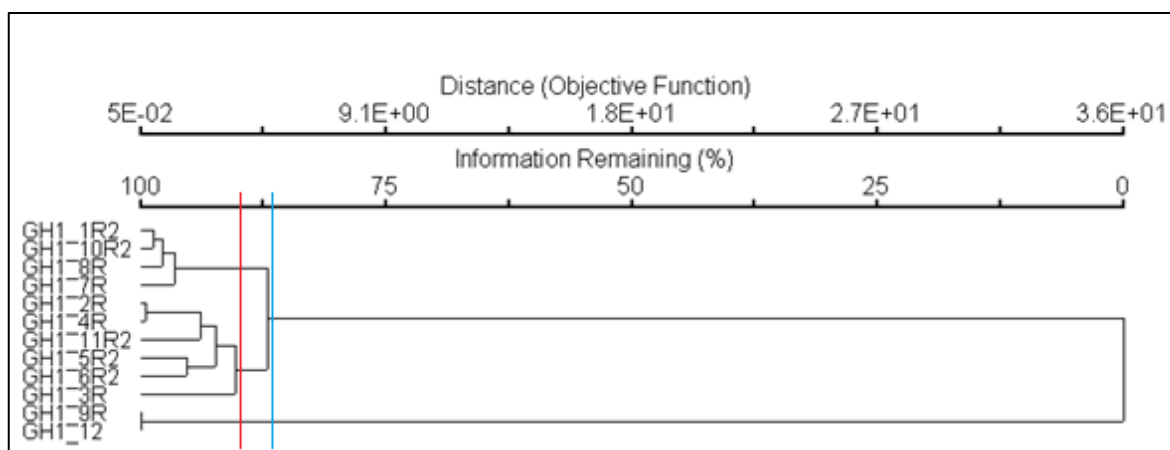
**Figura VI.1-2** - Análise de componentes principais entre os contaminantes e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.

### VI.1.3 - Padrão de Relação das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas

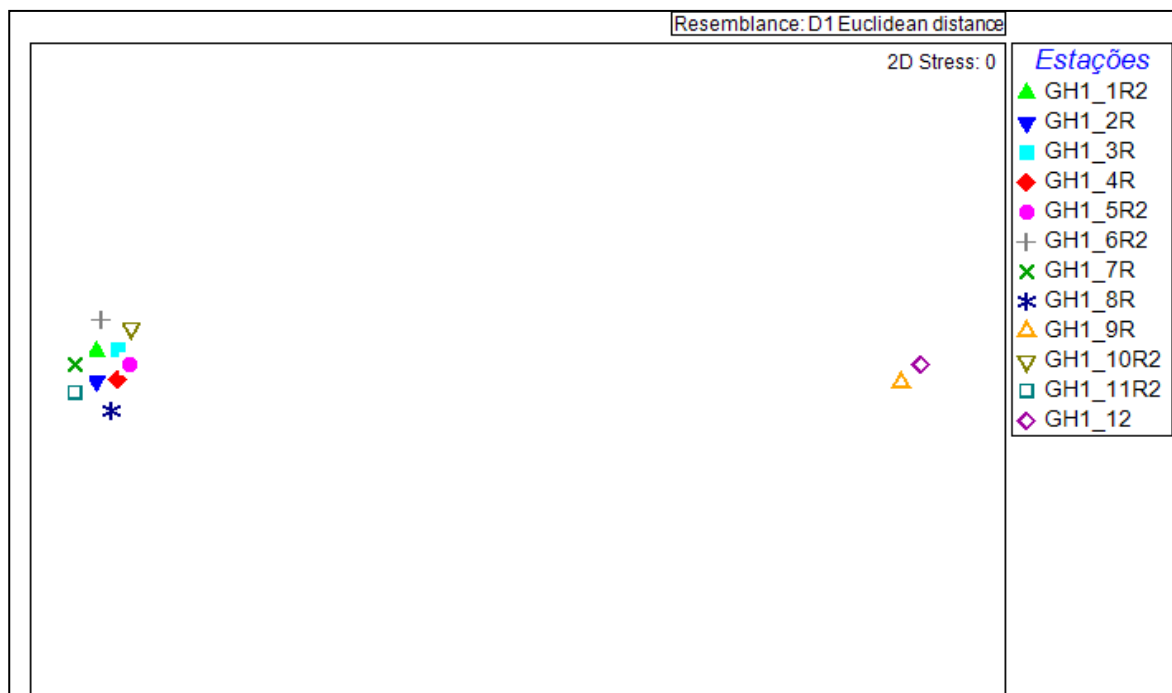
Visando analisar a distribuição espacial das amostras de sedimento em relação às variáveis ambientais e biológicas, foram realizadas duas análises: uma de agrupamento (*cluster*), e outra de escalonamento multidimensional.

Na Figura VI.1-3 é apresentado o gráfico resultante da análise de agrupamento. Nesse *cluster*, verifica-se a formação de dois grupos principais com 87,1% de similaridade (linha azul), em que um grupo é formado pela maioria das estações e outro apenas pelas estações GH1\_9R e GH1\_12. Com maior similaridade (90,5%, linha vermelha), observa-se três grupos, em que o maior grupo, composto pela maioria das estações se divide em dois: i) GH1\_1R2, GH1\_10R2, GH1\_8R e GH1\_7R; ii) GH1\_2R, GH1\_4R, GH1\_11R2, GH1\_5R2, GH1\_6R2 e GH1\_3R. Esse padrão foi semelhante ao observado na ACP. Separando, principalmente as estações GH1\_9R e GH1\_12 das demais, devido a não detecção dos contaminantes HTP, MCNR e n-alcanos.

Com relação à MDS resultante (Figura VI.1-4), esse mesmo padrão é evidenciado, fortalecendo a formação de dois grupos distintos entre as estações amostrais. Nessa análise o *stress* foi 0, mostrando-se satisfatório.



**Figura VI.1-3** - Análise de agrupamento, das 12 estações de amostragem de sedimento da terceira campanha de monitoramento do poço GH1, com base nos dados ambientais e biológicos.



**Figura VI.1-4** - Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas dos sedimentos coletados nas estações da terceira campanha monitoramento do poço GH1, Bacia de Santos.

É interessante acrescentar que os resultados dessas análises evidenciam uma distribuição amostral semelhante à observada na ACP realizada para os dados de contaminantes (Figura VI.1-2), enquanto que pouco se assemelhou à distribuição das amostras obtidas através da ACP realizada entre indicadores biológicos e variáveis de granulometria, nutrientes e matéria orgânica (Figura VI.1-1). Isso pode estar indicando que o comportamento das amostras está sendo mais influenciado pelos contaminantes que pelas demais variáveis.

No atual estudo, apesar não terem sido encontradas diferenças significativas dos índices biológicos entre as estações, verificou-se variação espacial das estações amostrais em relação aos indicadores biológicos e em relação à qualidade do sedimento. Sabe-se que as comunidades bentônicas possuem forte variação espacial, a qual está fortemente influenciada pelos fatores ambientais locais (LANA *et al.*, 1994; SOARES-GOMES *et al.*, 2009). Nesse contexto, algumas estações (GH1\_2R, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_7R, GH1\_8R, GH1\_9R e GH1\_12) apresentaram valores mais altos de densidade e riqueza bentônica, juntamente com potenciais correlações positivas dessas variáveis com carbonatos



(Tabela VI.1-1 e Figura VI.1-1). Apesar das concentrações de carbonato tampouco terem variado significativamente entre as estações.

É importante destacar que a qualidade, concentração e disponibilidade de nutrientes e da matéria orgânica, bem como a composição granulométrica do sedimento são fatores relevantes para a distribuição e estruturação da comunidade bentônica em ecossistemas aquáticos (GONÇALVES *et al.*, 1998; ESTEVES, 2011). De maneira geral, sabe-se que diferentes tipos de substratos são capazes de hospedar comunidades de invertebrados que diferem em biomassa, densidade total e riqueza (VITOUSEK, 1990). É por isso, que alguns taxa de macroinvertebrados bentônicos são restritos a tipos de substratos, que potencializam o estabelecimento das comunidades. Substratos mais diversificados oferecem maior disponibilidade de habitats e microhabitats, alimentos e proteção, como, por exemplo, proteção de correntes e predadores (CARVALHO & UIEDA, 2004). Além disso, a diversidade bentônica marinha está teoricamente relacionada à diversidade de habitats e estabilidade de habitats de uma dada área (GRAY *et al.*, 2002).

O acúmulo de matéria orgânica no sedimento é importante por favorecer o desenvolvimento dos organismos bentônicos nesse ambiente, uma vez que eles têm a capacidade de processar a energia proveniente de detritos e matéria orgânica presentes no sedimento. Em diferentes ambientes aquáticos, os macrozoobentos dependem, em grande parte, da produção da matéria orgânica autóctone ou alóctone que sedimenta no fundo, podendo dessa forma processar a matéria orgânica sedimentada (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Embora os organismos bentônicos apresentem estreita relação com o processamento de matéria orgânica, a qual influenciam os indicadores biológicos, não foram observadas relações significativas entre os indicadores biológicos bentônicos e matéria orgânica e nutrientes, influenciando a distribuição espacial das amostras.

Em relação aos contaminantes, não se observou correlações de Spearman significativas, no entanto verificou-se na ACP (Figura VI.1-2) potenciais relações positivas das estações GH1\_1R2, GH1\_2R, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_5R2, GH1\_6R2, GH1\_7R, GH1\_8R, GH1\_10R2 e GH1\_11R2 com HTP, n-alcanos, MCNR e Zn e relação negativa com riqueza, diversidade e equitatividade. Além

disso, observou-se que as estações GH1\_9R e GH1\_12, apresentaram relações inversas a essas, devido aos valores nulos de HTP, n-alcanos e MCNR. Padrão semelhante ocorreu nas demais análises de *cluster* e MDS (Figura VI.1-3 e Figura VI.1-4), indicando que o comportamento das amostras está sendo mais influenciado pelos contaminantes que pelas demais variáveis.

Outra questão é o cobre, que embora não tenha sido protagonista em termos de relação significativa com as variáveis biológicas, ultrapassou os valores de referência de TEL nas estações GH1\_1R2, GH1\_4R e GH1\_6R2. Assim sendo, a concentração deste metal na área de estudo poderá causar efeito adverso à biota, apesar de não ter sido verificado nesse estudo.

Nesse sentido, é importante destacar que os metais contidos na água e no sedimento exercem um importante papel na função biológica de muitos organismos (LORENZI *et al.*, 2006), podendo influenciar positivamente ou negativamente suas funções, dependendo de como estão dispostos no sistema aquático. Além disso, concentrações de metais no sedimento, podem ser tóxicas à fauna bentônica, por serem potencialmente bioacumuláveis e biomagnificáveis (TUNDISI *et al.*, 2011).

## **VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 3ª campanha de monitoramento ambiental (fase pós-perfuração, 2º retorno) da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço GH1. Os resultados referem-se à qualidade do sedimento e caracterização da macrofauna bentônica local, com o objetivo de estabelecer um diagnóstico ambiental que sirva como base para comparações com as campanhas anteriores à perfuração do poço GH1, de forma a subsidiar a avaliação de possíveis alterações que venham a ocorrer em função da atividade.

Ao analisar a granulometria dos sedimentos no entorno do local onde foi perfurado o poço GH1 foi possível observar pouca variação na distribuição granulométrica, uma vez que em todas as amostras houve predomínio da fração correspondente ao silte. Os valores de carbonato indicaram taxas intermediárias (30 a 50%), ou seja, todas as estações amostradas foram classificadas como sedimentos litobioclásticos.

As concentrações médias de carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica total (MOT) foram de  $1,10 \pm 0,27\%$  e  $7,66 \pm 0,60\%$ , respectivamente, nas amostras coletadas no entorno do poço GH1, sendo superiores as encontradas nas duas primeiras campanhas de monitoramento. Essas maiores concentrações podem possivelmente estar associadas com a atividade de perfuração, que causa revolvimento no sedimento e pode aumentar a disponibilidade de COT e MOT para a coluna d'água e para o sedimento do entorno do ponto de perfuração.

As concentrações de nitrogênio total e fósforo total foram inferiores em relação aos valores encontrados na bibliografia existente para a região de estudo, exceto as concentrações da segunda campanha de monitoramento do poço GH1, que foram um pouco menores. Estas diferenças estão provavelmente relacionadas à variabilidade natural. De maneira geral as maiores concentrações destes compostos foram encontradas nas estações mais próximas do poço GH1.

Quanto aos metais, as concentrações no sedimento da área de monitoramento do Poço GH1 são inferiores as encontradas nas campanhas de monitoramento de Uruguá e superiores as encontradas nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço GH1. Não foi possível definir um padrão

de distribuição evidente, o que indica uma distribuição uniforme na concentração dos metais analisados entre as estações. De maneira geral, o alumínio e o ferro apresentaram maiores concentrações nas estações mais distantes do poço GH1, enquanto que o manganês e o bário apresentaram maiores concentrações a leste do poço. Já o cromo, o níquel e o cobre apresentaram maiores concentrações nas estações do eixo noroeste-sudeste do poço GH1. Essa uniformidade é corroborada pelo fato de apenas o níquel ter apresentado diferença significativa entre as estações de coleta.

Os valores estão em consonância com os valores de referência de TEL e PEL, ou seja, os valores encontrados são muito inferiores ao nível estabelecido por TEL, exceto o cobre, que apresentou concentração máxima superior ao limite de TEL. Isso ocorreu nas estações GH1\_1R2, GH1\_4R e GH1\_6R2. Os índices de qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral foram de: SeQI\_área = 97 e SeQI\_ponto = 96 nas estações GH1\_1R2, GH1\_2R, GH1\_4R, GH1\_5R2, GH1\_6R2 e GH1\_7R. Isso ocorreu devido ao cobre, que apresentou valores maiores que o limite de TEL em 8 das 36 réplicas. Como alguns valores de cobre ficaram na faixa de valores entre os limites de TEL e PEL, é possível que esse metal cause efeito adverso à biota.

O fator de enriquecimento foi superior a 1 para todos os metais em pelo menos uma estação. Para o bário, o enriquecimento foi pequeno nas estações GH1\_1R2, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_5R2 e GH1\_9R, moderado nas estações GH1\_2R, GH1\_10R2 e GH1\_12, moderado a severo na estação GH1\_7R, e severo nas estações GH1\_6R2 e GH1\_8R. Para o chumbo, o enriquecimento foi pequeno nas estações GH1\_1R2, GH1\_4R, GH1\_5R2 e GH1\_6R2, moderado nas estações GH1\_7R, GH1\_10R2 e GH1\_12 e moderado a severo nas estações GH1\_2R, GH1\_8R e GH1\_9R. Para os demais metais, o enriquecimento foi pequeno na maioria das estações.

É possível concluir que a concentração dos metais no sedimento na área onde foi perfurado o poço GH1 apresenta evidências de baixa contaminação destes parâmetros devido aos valores do fator de enriquecimento, e ao cobre, que ultrapassou o valor de TEL em três estações. Porém, é preciso cautela ao analisar os maiores valores de bário e chumbo encontrados na atual campanha, que podem estar associados à atividade de perfuração, principalmente os valores

de bário, que apresentaram maiores valores de FE. Os valores dos índices de qualidade do sedimento foram afetados pelos valores mais elevados de cobre, mas não ficaram muito abaixo de 100.

Não foi detectada a presença de HPA's nas amostras analisadas. Foram verificadas concentrações detectáveis de HTP's, n-alcanos e MCNR. As concentrações de HTP's variaram de não detectado a  $314,20 \pm 502,38$  mg/kg, enquanto que as concentrações de MCNR variaram de não detectado a  $271,01 \pm 434,61$  mg/kg. As concentrações de n-alcanos variaram de não detectado a  $41,67 \pm 69,19$  mg/kg. Na presente campanha, a maioria das estações, exceto as estações GH1\_9R e GH1\_12, apresentou valores da razão MCNR/HRP superiores a 4, indicando portanto presença de resíduos relacionados ao petróleo.

Foram verificadas concentrações detectáveis de n-alcanos de C<sub>11</sub> a C<sub>40</sub> na maioria das réplicas de todas as estações, exceto das estações GH1\_9R e GH1\_12. O IPC apresentou valores distintos de zero na réplica 2 da estação GH1\_4R (IPC = 0,19), na réplica 3 da estação GH1\_10R2 (IPC = 1,11) e na réplica 3 da estação GH1\_11R2 (IPC = 1,66), apresentando, portanto, valores dentro da escala proposta para a classificação da origem dos n-alcanos. Valores de IPC próximos a 1 indicam contaminação por petróleo, portanto a réplica 3 da estação GH1\_10R2 e a réplica 3 da estação GH1\_11R2 apresentaram indícios de contaminação por petróleo.

De forma geral, as concentrações de hidrocarbonetos permitem inferir que a região apresenta indicativos de contaminação por estes compostos, e conclui-se que os sedimentos na região de entorno do poço GH1 apresentam indícios de resíduos relacionados ao petróleo no momento da campanha de pós-perfuração. Maiores concentrações desses parâmetros foram encontradas nas estações mais a leste e a nordeste do poço. No entorno há três poços localizados nessa região, que podem ter influenciado na detecção de hidrocarbonetos nessas estações: 9-URG-13D-RJD (piloto), 7-URG-14HP-RJS (produtor) e 6-URG-3RJS (exploratório).

O filo Annelida, representado pela classe Polychaeta, ocorreu em todas as estações, além de ter sido o grupo taxonômico mais abundante e com maior riqueza específica nas doze estações.

A estação GH1\_9R se destacou por apresentar o maior número de taxa (9), enquanto a estação GH1\_5R2 obteve o valor mínimo, que foi de 3 taxa, nas proximidades do poço GH1. As maiores densidades foram observadas nas estações GH1\_4R, GH1\_7R e GH1\_8R.

Todas as estações de amostragem apresentaram baixa diversidade de espécies ( $0,42 < H' < 1,26$ ) e a estação GH1\_4R foi a que apresentou a maior diversidade específica ( $H' = 1,26$ ).

Na presente campanha, as doze estações variaram em relação à equitabilidade, com valores relativamente altos na maioria das estações ( $\Delta$ : 0,32 – 1,00), exceto nas estações GH1\_3R e GH1\_6R2, em que os valores de equitatividade foram baixos. As espécies aparecem em abundâncias consideradas uniformes na maioria das estações, com variações pouco significativas.

Segundo a análise de agrupamento pelo método de *Cluster*, as estações possuem similaridade superior a 65% (distância de Bray-Curtis). Essa análise reflete grande similaridade entre as estações de coleta, sem um padrão muito claro de distribuição dos organismos. A estação GH1\_3R foi a que mais se diferenciou das demais. Com 80 % de similaridade observa-se a formação de quatro grupos de estações: i) GH1\_3R, ii) GH1\_6R2, iii) GH1\_11R2 e iv) demais estações

Através da análise dos parâmetros qualitativos (riqueza e composição de taxa) e quantitativo (densidade), bem como a avaliação dos filos encontrados e sua respectiva variação nas estações de coleta, não foram detectadas diferenças marcantes entre as estações de coleta. As análises multivariadas confirmaram esse resultado demonstrando similaridade entre os pontos. Além disso, com poucas exceções, os dados da presente campanha corroboraram os dados da literatura tanto para plataforma continental brasileira como para as proximidades da área amostrada na presente campanha.

No presente estudo, embora não tenham sido observadas diferenças significativas dos indicadores biológicos (riqueza, densidade, diversidade e equitatividade) entre as estações, observou-se variação espacial das estações amostrais em relação a esses índices, e em relação à qualidade do sedimento. As estações GH1\_2R, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_7R, GH1\_8R, GH1\_9R e GH1\_12

apresentaram os maiores valores de densidade e riqueza bentônica, juntamente com as maiores concentrações de carbonatos.

Com relação aos contaminantes avaliados neste estudo, não foram verificadas correlações de Spearman significativas desses com os indicadores biológicos. No entanto avaliou-se potenciais relações positivas das estações GH1\_1R2, GH1\_2R, GH1\_3R, GH1\_4R, GH1\_5R2, GH1\_6R2, GH1\_7R, GH1\_8R, GH1\_10R2 e GH1\_11R2 com HTP, n-alcanos, MCNR e Zn e relações negativas com riqueza, diversidade e equitatividade. Adicionalmente, as estações GH1\_9R e GH1\_12, apresentaram relações inversas às citadas acima, principalmente devido aos valores nulos de HTP, n-alcanos e MCNR. Por fim, conclui-se que a variação espacial observada entre as estações amostrais está sendo mais influenciada pela concentração dos contaminantes, que pelas demais variáveis.

Os dados apresentados referentes à qualidade dos sedimentos e à macrofauna bentônica permitiram caracterizar satisfatoriamente a qualidade ambiental da região do entorno do poço GH1, no momento da campanha de pós-perfuração, 2º retorno, e permitiram a comparação com os dados das campanhas anteriores, indicando alguns possíveis impactos referentes à atividade de perfuração do poço, principalmente em relação ao bário e chumbo, que apresentaram fator de enriquecimento moderado, e o cobre, que ultrapassou o valor de TEL em três estações. O bário e o chumbo podem estar relacionados às atividades de perfuração e o cobre, devido aos elevados valores de suas concentrações, pode ter causado possíveis efeitos adversos à biota. Além disso, a maioria das estações, exceto as estações GH1\_9R e GH1\_12, apresentou valores da razão MCNR/HRP superiores a 4, indicando portanto presença de resíduos relacionados ao petróleo e a réplica 3 da estação GH1\_10R2 e a réplica 3 da estação GH1\_11R2 apresentaram indícios de contaminação por petróleo devido aos valores do IPC.





## VIII - BIBLIOGRAFIA

AGUIAR NETO, A. B.; FREIRE, G. S. S.; GOMES, D. F.; GOUVEIA, S. T. **Distribuição geoquímica de metais pesados em sedimentos de manguezais de Icapuí** – CE. In: 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. Campinas. 2007.

AMARAL, A. C. Z. & MIGOTTO, A. E. Importância dos Anelídeos Poliquetas na Alimentação da Macrofauna Demersal e Epibentônica da Região de Ubatuba. São Paulo: Bolm Inst. Oceanogr., v. 29, p. 31-35, 1980.

AMARAL, A. C. Z. & ROSSI-WONGTSCHOWSKI. **Biodiversidade Bentônica da Região Sudeste-Sul do Brasil – Plataforma externa e talude superior**. Instituto Oceanográfico – USP (Série documentos Revizee: Score Sul). 2004, 216p.

AMARAL, A. C. Z. et al. Filo Annelida – Classe Polychaeta. In: **Biodiversidade Bentônica da Região Sudeste-Sul do Brasil – Plataforma Externa e Talude Superior**. AMARAL, A. C. Z. & ROSSI-WONGTSCHOWSKI (ed.). Instituto Oceanográfico – USP (Série documentos Revizee: Score Sul), 2004, p. 114-125.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Anelídeos poliquetos da costa brasileira: Aphroditidae e Polynoidae**. Brasília, CNPq, 1982a, 46 p.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Anelídeos poliquetos da costa brasileira: características e chave para famílias; glossário**. Brasília, CNPq, 1982b, 47 p.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Anelídeos poliquetos da costa brasileira: Polyodontidae, Pholoidae, Sigalionidae e Eulepethidae**. Brasília, CNPq, 1984, 54 p.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. Anelídeos poliquetos da costa brasileira. 5. Pisionidae, Chrysopetalidae, Amphinomidae e Euphrosinidae. **Rev. Bras. Zool.**, 11 (2): 361-390, 1994.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Annelida Polychaeta: características, glossário e chaves para famílias e gêneros da costa brasileira.** Campinas, Editora da Unicamp, 1996, 124 p.

AMARAL, A. C. Z.; RIZZO, A. E.; ARRUDA, E. P. **Manual de identificação dos invertebrados marinhos da região sudeste-sul do Brasil.** v. 1. São Paulo, Edusp, 287, 2005.

APOSTILA de Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais. 2. ed. revisada e ampliada, Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

APRILE, F. M.; BOUVY, M. **Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacurá river basin, northeastern Brazil.** Braz. J. Aquat. Sci. Technol., 2008, 12(1):1-8.

ASMUS. **Geologia da margem continental brasileira.** In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. (coords.). Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília: DNPM. 1984, p. 443-472.

BARROS, L. C.; VALENÇA, L. M. M.; MANSO, V. A. V.; MADRUGA FILHO, J. D.; OLIVEIRA, J. A. R. **Textura, Composição e Arredondamento dos Sedimentos da Plataforma Continental Interna Adjacente às Desembocaduras Sul do Canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, Norte do Estado de Pernambuco.** Estudos Geológicos, v. 17(1). p. 58-60, 2007.

BIZZI, L. A. SCHOBENHAUS, C. VIDOTTI R. M. e GONÇALVES J. H. (eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.** CPRM, Brasília, DF, 2003.

BOEBEL, O.; DAVIS, R. E.; OLLITRAUT, M.; PETERSON, R. G.; RICHARD, P. L.; SCHMID, C. & ZENK, W. **The intermediate depth circulation of the Western South Atlantic.** Geophys. Res. Lett., 26(21):3329-3332, 1999.

BOWMAN, T. E.; GRUNER, H. **The families and genera of Hyperiidea (Crustacea: Amphipoda)**. Washington, Smithsonian Institution Press, 1973, 64 p.

BRASIL, A. C. S.; SILVA, L. F. & AMARO, F. D. **Annelida - Polychaeta de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência. 2007, p. 237-252.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**, de 08 de novembro de 2012. Seção 1, p. 66.

BRAY, E. E.; EVANS, E. D. **Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of sources beds**. Geochimica and Cosmochimica Acta, 1961. 22 v. 2-15 p.

BROWN & FISCHER. **Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: Examples from Brazilian Rift and Pull-apart Basins**. In: C.E. Payton (Ed.) Seismic Stratigraphy – Applications to hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, p. 213-248, 1977.

CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E. & IKEDA, Y. **Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight – Summer of 1991**. J. Geophys. Res., 100 (C9):18537-18550, 1995.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**. In: Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 2007.

CARVALHO, E. M. & UIEDA, V. S. Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia** 21(2):287-293, 2004.

CENPS/PDEDS/AMA. **Coleta, preservação, acondicionamento, tratamentos e análises de bordo de amostras para monitoramento ambiental costeiro e oceânico**, 2009.

CETESB. **Sedimentos**: determinação da distribuição granulométrica – método de ensaio. 1995. Disponível em:  
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/L6160.pdf>>.

CETESB. **Sistema Estuarino Santos e São Vicente**. 2001. Disponível em:  
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/61-publicacoes-e-relatorios---relatorios-de-qualidade>>. Acesso em: 16 set. 2013.

CHANG, H. K.; ASSINE, M. L.; CORRÊA, F. S.; TINEN, J. S.; VIDAL, A. C.; KOIKE. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. **Rev. bras. geociênc.**, v. 38, 2008.

CHESTER, R. **Marine Geochemistry**. 2nd ed. Liverpool: Blackwell Publishing Company, 2003.

CLARKE, K. R. K. & WARWICK, R. M. **Change in marine communities**: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth: PRIMER-E Ltd., 2001, p. 176.

COLOMBO, J. C.; PELLETIER, E.; BROCHU, C.; KHALL, M.; CATOGGIO, J. A. Determination of hydrocarbon sources using n-alkanes and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de la Plata Estuary, Argentina. **Environmental Science & Technology**, v.23, p.888-894, 1989.

COMMENDATORE, M. G.; ESTEVES, J. L. Natural and anthropogenic hydrocarbons in sediments from the Chubut River (Patagonia, Argentina). **Marine Pollution Bulletin**, v.48, n.9-10, 2004, p.910-918, 2004.

CUMMINS, K. W. & KLUG, M. J. **Feeding ecology of stream invertebrates.** Annual Reviews in Ecology and Systematics, v. 10, p. 147-172, 1979.

CUTLER, E. B.; CUTLER, N. J. **Sipuncula from southern Brazil.** Bolm Inst. Oceanogr., São Paulo, 29 (1): 1-8, 1980.

DIAS, J. A. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos:** uma introdução à oceanografia geológica. (Versão Preliminar), 2004. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAANHMAJ/a-analise-sedimentar-conhecimentos-dos-sistemas-marinhos>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

DIAZ, J. M. M. & PUYANA, M. H. **Moluscos del Caribe Colombiano.** Santafé de Bogotá: Colciencias. Fundación Natura, 1994. p. 291

DITADI, A. S. F.; MIGOTTO, A. E. **O filo Sipuncula – Guia para coleta, identificação e manutenção em laboratório.** Brasília, CNPq, 1982, 44 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. **Brazos river bar:** a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, v. 27, p. 3-26, 1957.

GARRAFFONI, A. R. S.; LANA, P. C. Species of Terebellides (Polychaeta, Terebellidae, Trichobranchinae) from the Brazilian coast. **Iheringia, Sér. Zool.**, 93 (4): 355-363, 2003.

GEFFARD, O. H. M.; BUDZINSKI, H.; HIS, E.; SEAMAN, M. N. L. & GARRIGUES, P. **Relationships between contaminant levels in marine sediments and their**

**biological effects uon embryos of oyster *Crassostrea gigas*.** *Environ. Toxicol. Chem.*, 21:2310-2318, 2002.

GODOI, S. S. **Dinâmica quase-geostrófica do sistema corrente do Brasil no embaçamento de São Paulo (23,5° - 27° S).** Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005, 151 p.

GOGOU, A.; BOULOUBASSI, I.; STEPHANOU, E. G. **Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean:** 1. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments. *Marine Chemistry*, 2000. 68 v., 265-282 p.

GOMES, F. C. et al. **Metal concentration, fluxes, inventories and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira Bays:** A comparative study. *Marine Pollution Bulletin*, v. 59, p. 123 – 133, 2009.

GONÇALVES A.; OLIVEIRA, M. A. M. D.; MOTTA, S. D. O. Geologia da Bacia de Pelotas e da plataforma de Florianópolis. **Boletim de Geociência da Petrobras**, 22:157-174, 1979.

GONÇALVES, J. F. JR,; CALLISTO, M.; FONSECA, J. J. Relações entre a composição granulométrica do sedimento e as comunidades de macroinvertebrados bentônicos nas lagoas Imboassica, Cabiúnas e Comprida (Macaé, RJ). In: Francisco Esteves. (Org.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ).** Rio de Janeiro: UFRJ, v. 1, p. 299-310, 1998.

GRAY, J. **The Ecology of Marine Sediments:** An introduction to the structure and function of benthic communities. Cambridge University Press, Cambridge, 1981, 265 pp.

GRAY, S.; WU, R. S.; OR, Y. Y. **Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment**. Marine Ecology Progress Series, 238 249–279, 2002.

HELTSHE, J. F.; FORRESTER, N. E. **Estimating species richness using the jackknife procedure**. *Biometrics*, v. 39, p. 1-11. 1983.

HUC, A. Y. **Origin and formation of organic matter in recent sediments and its relation to kerogen**. In: RASHID, M. A. 1985. Geochemistry of marine humic compounds. Springer-Verlag, New York. 1980, 300 p.

KENNISH, M. J. **Pollution impacts on marine biotic communities**. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 1997.

KENSLEY, B. **Deep-water Atlantic Anthuridea (Crustacea: Isopoda)**. Washington, Smithsonian Institution Press, 1982, 60 p.

KENSLEY, B.; KOENING, M. L. Two new species of *Quantanthur* from Brazil (Crustacea, Isopoda, Anthuridae). **Proc. Biol. Soc. Wash.**, 91 (4): 953-962, 1978.

KREBS, C. J. **Ecological methodology**. Menlo Park: Addison Wesley Longman, 1999, p. 620.

KUMAR, N.; GAMBOA, L. A. P. **Evolution of the São Paulo Plateau (southeastern Brazilian margin) and implications for the early history of the South Atlantic**. Geological Society of America Bulletin, Boulder, Colo., v. 90, part 1, p. 281, 1979.

LACERDA, L. D. & MARINS, R. V. **Geoquímica de Sedimentos e o Monitoramento de Metais na Plataforma Continental Nordeste Oriental do Brasil**. *Geochemica Brasiliensis*, 20(1):123-135, 2006.

LANA, P. C. Organismos Bênticos e Atividades de Monitoramento. Oceanografia Biológica Bentos, Diagnóstico ambiental Oceânico e costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil: Petrobrás Fundespa. In: IKEDA, I. (Org.). Oceanografia Biológica Bentos, Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Rio de Janeiro: PETROBRÁSFUNDESPA, 1994. p. 10-21.

LANA, P. C.; CAMARGO, M. G.; BROGIM, R. A. & ISAAC, V. J. **O bentos da costa brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar, 1996.

LARSONNEUR, C. **La caryographie des dépôts meubles sur le plateau continental français**: méthode mise du points et utilisée en Manche. *Journal Redi oceanog*, 2: 34-39, 1977.

LEGECKIS R.; GORDON, A. L. **Satellite observations of the Brazil and Falkland currents - 1975 to 1976 and 1978**. *Deep-Sea Research*, v. 29, p. 375-401, 1982.

LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. **Numerical ecology**. *Developments in environmental modelling*, 3. Elsevier Scientific Publ. Co., Amsterdam, The Netherlands. xvi + 419 pp. [xii, xiv, 239], 1983.

LIPIATOU, E.; SALIOT, A. Hydrocarbon contamination of the Rhone delta and western Mediterranean. **Marine Pollution Bulletin**, v.22, n.6, p. 297-304, 1991.

LORENZI, A. H.; CAIN, D. J.; PARCHASO, F.; THOMPSON, J. K.; LUOMA, S. N.; HORNBERGER, M. I.; DYKE, J. L. **Near-Field Receiving Water Monitoring of Trace Metals and a Benthic Community Near the Palo Alto Regional Water Quality Control Plant in South San Francisco Bay, California: 2007**. U.S. Geological Survey Open File Report 2008-1180. Menlo Park, California, 2006, 127 pp.



MACDONALD, D. D.; CARR, R. S.; CALDER, F. D.; LONG., E. R. and INGERSOLL, C. G. **Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters.** Ecotoxicology, v. 5, p. 253-278, 1996.

MACHADO, G. M. V. **Análise morfossedimentar da praia, antepraia e plataforma continental interna da linha de costa do Parque Nacional de Jurubatiba - Rio de Janeiro.** Quaternary and Environmental Geosciences, v. 02(1), p. 01-17, 2010.

MACKENZIE, F. T.; VER, L. M.; SABINE, C.; LANE, M. & LERMAN, A. C, N, P, S global biogeochemical cycles and modeling of global change. In: R. WOLLAST, F. MACKENZIE, & L. CHOU (Eds.) **Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change**, v. 4, p. 2-61. Berlin Heidelberg: Springer – Verlag, 1993.

MARINS, R. V.; FREIRE, G. S. S.; MAIA, L. P.; LIMA, J. P. R. & LACERDA, L. D. Impacts of land-based activities on the Ceará coast, NE Brazil. In: LACERDA, L. D.; KREMER, H. H.; KJERVFE, B.; SALOMONS, W.; MARSHALL-CROSSLAND, J.I. & CROSSLAND, J. C. (Eds.) **South American Basis: LOICZ Global change assessment and synthesis of river catchment – coastal sea interaction and human dimensions.** LOICZ Reports & Studies, n. 21, p. 92-98, 2002.

MAZZERA, D.; HAYES, T.; LOWENTHAL, D.; ZIELINSKA, B. **Quantification of Polycyclic Aromatic Hidrocarbons in Soil at Mcurdo Station, Antarctica.** The Science of Total Environmental, 299; 65:7, 1999.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. PC-ORD. **Multivariate Analysis of Ecological Data.** Version 6.03, 2011.

MELO, A. S. & HEPP, L. U. **Ferramentas estatísticas para análises de dados provenientes de biomonitoramento.** Oecologia Brasiliensis, v. 12, n. 3, p. 463-486, 2008.

---

MELO, G. A. S. **Manual de identificação dos Brachyura (Caranguejos e Siris) do litoral brasileiro**. São Paulo: Plêiade, 1996, 603 p.

MELO, G. A. S. **Manual de identificação dos Crustacea Decapoda do litoral brasileiro**: Anomura, Thalassinidea, Palinuridea, Astacidea. São Paulo: Plêiade, 1999, 551 p.

MILLERO, F. J. **Chemical Oceanography**. 2nd ed. Flórida: CRC Press, 2002, p. 343-356.

MIRANDA, L. B. **Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente**: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP). Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 1982, 123 p.

MONTÚ, M. Malacostraca – Peracarida. Amphipoda. Hyperiidia. In: YOUNG, P. S. (ed.). **Catalogue of Crustacea of Brazil**. Rio de Janeiro, Museu Nacional, p. 595-603. (Série livros n. 6), 1998.

MÜLLER, T. J.; IKEDA, Y.; ZANGENBERG, N. & NONATO, L. V. **Direct measurements of the western boundary currents between 20°S and 28°S**. J. Geophys. Res., 103(C3):5429-5443, 1998.

NYBAKKEN, J. W.; BERTNESS, M. D. **Marine Biology**: An Ecological Approach. (6 Ed.). San Francisco: Pearson, Benjamin Cummings, 2005.

OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. P.; EVANS, R. H.; BROWN, O. B. **Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas Currents**. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, v. 35, n. 12, p. 1971-1990, 1988.

PELLENS, I.; BELLOTTO, V.; KUROSHIMA, K., & ABREU, J. **Resultados Preliminares Da Distribuição De Fósforo E Suas Formas Nos Sedimentos Da**

---

**Plataforma Continental Do Estado De Santa Catarina.** Brazilian Journal Of Aquatic Science And Technology, 2(1), p. 51-60, 1998.

PEREIRA, M. J. & FEIJÓ, F. J. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 8 (1):219-234, 1994.

PEREIRA, M. J. & MACEDO, J. M. A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na plataforma continental sudeste brasileira. **Boletim Geociência da Petrobras**, 4:3-11, 1990.

PEREIRA, M. J. et al. **Estratigrafia da Bacia de Santos:** análise das sequências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, Anais, 1:65-79, 1986.

PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009, p. 631.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Ambiental da Bacia de Santos.** Protocolo acordado entre PETROBRAS, Ministério do Meio Ambiente e IBAMA, 2002.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 1ª Campanha (Setembro/2009). Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos, 2010a.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 2ª Campanha (Janeiro/2010). Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos, 2010b.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 3ª Campanha (Dezembro/2010 e Janeiro/2011). Projeto de

---

Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos, 2012.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 4ª Campanha (Novembro/2011). Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos, 2013.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 5ª Campanha (Dezembro/2012). Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos, 2014a.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 6ª Campanha (Janeiro/2014). Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos, 2015a.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 7ª Campanha (Fevereiro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo do Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos, 2016.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 1ª Campanha (Janeiro/2013). Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos - Poço Uruguá - GH1, 2014b.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 2ª Campanha (Janeiro/2014). Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos - Poço Uruguá - GH1, 2015b.

PETROBRAS/ENSR-AECOM. **Estudo de Impacto Ambiental**. Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo elaborado para a implantação do empreendimento no Polo BS-500, Bacia de Santos, 2007.

PETROBRAS/ICF. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental**. Desenvolvimento da Produção de Petróleo no Bloco BM-S 40, Áreas de Tiro e Sídon, Bacia de Santos, 2010.

PETROBRAS/ICF/BMA. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental**. Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica Bacia de Santos (AGBS), 2006.

PIELOU, E. C. **Mathematical Ecology**. New York: John Wiley. 1977, 385 pp.

PIRES-VANIN, A. M. S. Malacostraca – Peracarida. Marine Isopoda. Anthuridea, Asellota (pars), Flabellifera (pars), and Valvifera. In: YOUNG, P. S. (ed.). **Catalogue of Crustacea of Brazil**. Rio de Janeiro: Museu Nacional. p. 605-624 (Série Livros n.6), 1998.

PORTILHO-RAMOS, R. C.; RIO-NETTO, A. M.; BARBOSA, C. F. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno superior da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. **Rev. Bras. Paleont.**, 9(3):349-354, 2006.

PRAHL, F. G.; ERTEL, J. R.; GONI, M. A.; SPARROW, M. A.; EVERSMEYER, B. **Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Whashington margin**. Geochimica et Cosmochimica Acta. USA: Elsevier Science. v. 58, n. 14, p. 3.035 – 3.048, 1994.

PULGATI, F. H.; FACHEL, J. M. G.; RUSSO, L.; PERALBA, M. C.; POZZEBON, D. **Identificação da Área Alterada pela Presença de Fluidos de Perfuração na Atividade Exploratória Marítima**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador. 2005, 6 p.

RASHID, M. A. **Geochemistry of marine humic compounds**. Springer-Verlag, New York. 1985, 300 p.

REZENDE, J. H. M. **Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste durante o verão**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 2003, 120 p.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003, p. 503.

RIOS, E. **Compendium of Brazilian sea shells**. Rio Grande, Evangraf, 2009, 668 p.

RIZZO, A. E.; AMARAL, A. C. Z. Nephthyidae (Annelida: Polychaeta) from São Paulo State, Brazil, including a new record for the Brazilian coast. **Biota Neotropica**, 7 (3): 253-263, 2007.

ROUSE, G. W.; PLEIJEL, F. **Polychaetes**. New York, Oxford University Press, 2001, 354 p.

RUPPERT, E.; FOX, R. S. & BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados – Uma abordagem funcional-evolutiva**. 7 ed., São Paulo: Roca, 2005, 1145 p.

SANTOS, F. N.; CAETANO, C. H. S.; ABSALÃO, R. S. & PAULA, T. S. **Mollusca de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência, 2007. p. 207-236.

SCHOLTEN, M. & CALDEIRA, P. Z. **O senso do escalonamento multidimensional**. *Análise Psicológica*, v. 1, n. 15, p. 63-85, 1997.

SELVARAJ, K.; RAM MOHAN, V.; SZEFER, P. Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches. **Marine Pollution Bulletin**, 49: 174-185, 2004.

SEREJO, C. S.; YOUNG, P. S.; CARDOSO, I. A.; TAVARES, C. R.; ABREU, C. R.; SENNA, A. R.; AMÂNCIO, I. C. & SITROP, D. J. P. **Crustacea de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência, 2007, p. 253-270.

SHANNON, C. E. A. **Mathematical Theory of Communication**. Bell System Technical Journal, v. 27, p. 44, 1948.

SILVEIRA, I. C. A. DA; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. A. Corrente do Brasil ao largo da Costa leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2. p. 171-183, 2000.

SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. **Nature**, v. 163, p. 688, 1949.

SOARES-GOMES, A.; PITOMBO, F. B. & PAIVA, P. C. **Bentos de sedimentos não consolidados**. Biologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2009, p. 319-336.

SOUZA, M. C. A. **A corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas**. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2000, 178 p.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMEWW. 22<sup>a</sup> Ed. Centennial Edition, 2005.

STANTON, N. **Caracterização Crustal da Margem Sudeste Brasileira através de magnetometria e Suas Implicações Tectônicas**. Tese de doutorado. Faculdade de Geologia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2009, 138 p.

STEINHAUER, M. S.; BOEHM, P. D. **The composition and distribution of saturated and aromatic hydrocarbons in near shore sediments, river sediments, and coastal peat of Alaskan Beaufort Sea: implications for**

detecting anthropogenic hydrocarbon inputs. Mar. environ. Res., 33: 223- 253. 1992.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

SUMMONS, R. E. **Biogeochemical cycles**: a review of fundamental aspects of organic matter formation, preservation and composition. In: Engel, M. H. & Macko, S. A. (Eds.), Organic Geochemistry. Nova York: Plenum Press, v. 11, p. 3-21, 1993.

TAYLOR, S. R. **Abundance of chemical elements in the continental crust**: a new table. Geochim. Cosmochim. Acta. 1964, 28:1273-1285.

TCHERNIA, P. **Descriptive regional oceanography**. Pergamon Press. Oxford and New York. Vol. 3, 1st Ed. 249 p., 1980.

THOMÉ, J. W.; GIL, G.; BERGONCI, P. E. A.; TARASCONI, J. C. **As conchas das nossas praias**. 2 ed. – revisada e ampliada. Porto Alegre: Redes, 2010, 223 p.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos. 2008, 632p.

TUNDISI, J. G. et al. **Análise de índice de metais em fauna de macro invertebrados bentônicos no município de São Carlos-SP**: sub-bacias do rio do Monjolino e Ribeirão do feijão. II simpósio de ecologia, SP. 2011.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Physical and Chemical Properties Models**. Pollution Prevention Framework, 2005. Disponível em: <[www.epa.gov/opFT/sf/pubs/p2frame-june05a2.pdf](http://www.epa.gov/opFT/sf/pubs/p2frame-june05a2.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2010.



\_\_\_\_\_ **Method 3051A.** Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils.

\_\_\_\_\_ **Method 3550C.** Ultrasonic extraction.

\_\_\_\_\_ **Method 3630C.** Silica gel Cleanup.

\_\_\_\_\_ **Method 6010C.** Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.

\_\_\_\_\_ **Method 7471B.** Mercury in solid or semisolid waste (manual cold-vapor technique).

\_\_\_\_\_ **Method 8015D.** Nonhalogenated organics using GC/FID.

\_\_\_\_\_ **Method 8270D.** Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

VALENTIN, J. L. **Ecologia Numérica - Uma introdução a Análise Multivariada de dados Ecológicos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012, p. 168

VAN VLEET, E. S.; QUINN, J. G. **Diagenesis of marine lipids in ocean sediments.** Deep Sea Research, n. 26, p. 1225-1236. 1979.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

VITOUSEK, P. M. **Biological invasions and ecosystem processes:** towards integration of population biology and ecosystem studies. *Oikos* 57:7-13, 1990.

VOLKMAN, J.; O'LEARY, T.; SUMMONS, R.; BENALL, M. Biomarker composition of some asphaltic coastal bitumens from Tasmania, Australia. **Organic geochemistry**, v.18, n.5, p.668-682, 1992.

---

WASSERMAN, J. C.; WASSERMAN, M. A. **Comportamento de metais em sedimentos**. In: NETO, J. A. B.; WALNER-KERSANACH, M. e PATCHINEELAM, S. M. (Ed). Poluição Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2008, p.197-236.

WOITKE, P. et al. **Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube**. Chemosphere, 51: 633–642, 2003.

## ***IX - ANEXOS***



***Anexo IX-1 – Cartas de Destinação de Resíduos***



**AMBIENTAL BR**  
Desentupidora e Dedetizadora

- Desentupimentos
- Hidrojateamento
- Sucção de resíduos
- Entrega de água
- Controle de pragas
- Limpeza de reservatórios
- Caçambas
- Retro escavadeira
- Aspiração industrial (pó fino e grosso)

### Declaração Técnica de Prestação de Serviço

**CNPJ: 09.495.652/0001-19**

**Empresa: Lotica Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria AMB**  
**Local: Bento Gonçalves, 4085 sala 208**  
**Partenon /Poa**

A empresa **Ambiental BR Sistemas de Limpeza Manutenção e Transportes Ltda**, no dia 07/01/2015 prestou serviço de:

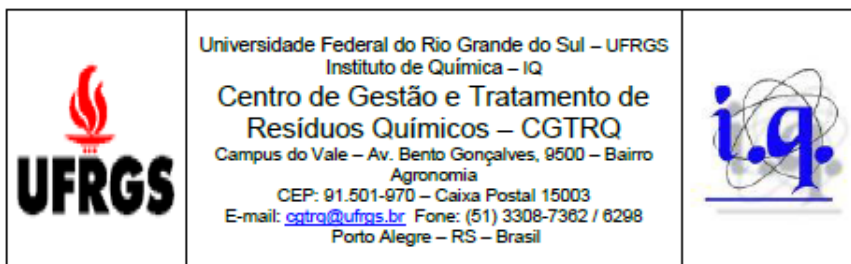
\* Locação de caminhão para transportar resíduo classe I, tratamento do resíduo que estava contaminado com formol.

\* Foi coletado na cidade de Porto Alegre e transportado para cidade de Capela de Santana.

\* Descarte por conta da Contratada

**Porto Alegre, 18 de março de 2015.**

Rua Seis de Novembro, 58 - Protásio Alves - Cep: 91270-320 - Porto Alegre - RS  
Fone/Fax: (51) 3382.9999 - contato@ambientalbr.com.br - www.ambientalbr.com.br



Of. CGTRQ – 009/2015

Porto Alegre, 20 de março de 2015.

Prezado Senhor

O CGTRQ é um Órgão Auxiliar do Instituto de Química, que centraliza em suas instalações os resíduos químicos das atividades de graduação, pesquisa e projetos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, adequando-os e encaminhando-os para tratamento final de resíduos perigosos.

Informamos que este órgão está fazendo o apoio técnico para retirada dos resíduos químicos gerados na empresa **Lógica Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S** por tempo indeterminado.

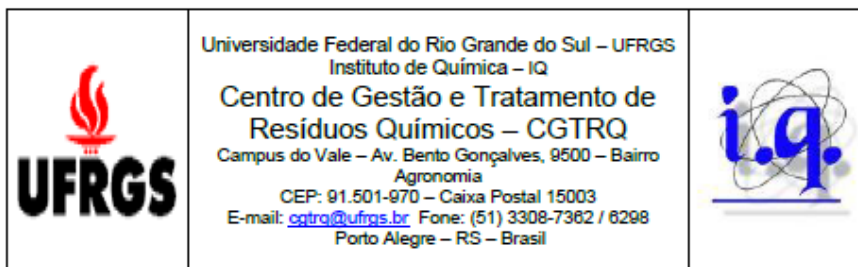
Este apoio consiste em:

- Orientar o pessoal envolvido na instituição quanto à forma adequada de segregação, classificação, armazenamento e rotulagem dos resíduos gerados;
- Recolher os resíduos após devidamente identificados e armazenados em embalagens próprias;

Os resíduos químicos coletados são: formol 4% em água;

Tratamento aplicado: armazenamento temporário e encaminhamento para estação de tratamento de efluentes licenciada pelo órgão ambiental.





Informamos ainda a UFRGS (Campus do Vale) opera sob a  
licença de operação da Fepam LO nº 4978/2014.

Atenciosamente



Greice Vanin Oliveira  
Química CRQ 05201875  
Chefe da Divisão Técnica CGTRQ

Ao senhor

**Paulo Eduardo Aydos Bergonci, Biól. Msc. - Sócio-Gerente**  
Coordenador do Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais (LAPEA)  
LÓTICA Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S  
Av. Bento Gonçalves, n. 4085, sala 208, 90650-003, Partenon, Porto Alegre, RS  
(51) 3319-3477 / (51) 8341-5746



***Anexo IX-2 – Cartas de Recusa e Aceite de Tombamento***





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS



Of. 53/13/IB

Porto Alegre, 04 de junho de 2013.

Senhor Diretor:

O Instituto de Biociências da UFRGS compromete-se em ser fiel depositário do material biológico (macroinvertebrados aquáticos: Mollusca, Crustacea, Polychaeta, dentre outros grupos) que será coletado durante a Execução de Estudos e Projetos de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração & Produção na Bacia de Santos, de acordo com o Plano de Trabalho aprovado pelo IBAMA.

Atenciosamente,



Prof. João Ito Bergonci,  
Diretor.

Ilmo. Sr.  
**NELSON SILVEIRA**  
M.D. Diretor de Meio Ambiente  
Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente Ltda

Instituto de Biociências – Gerência Administrativa  
Av. Bento Gonçalves, 9500, Bloco IV, Sala 207, Prédio 43433  
Campus do Vale – Bairro Agronomia  
CEP 91501-970 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul/RS – Brasil  
Fone 0 xx 51 – 33087753/ fax 0 xx 51 – 33087755  
E-mail: biologia@ufrgs.br





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**



#### ATESTADO

Atestamos para os fins que se fizerem necessários, que Daniel Pereira depositou material bentônico proveniente da Área Geográfica da Bacia de Campos, da região da Bacia de Santos e refere-se a Execução de Estudos e Projetos de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração e Produção na Bacia de Santos sob coordenação da Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente LTDA. Junto ao material, foi entregue a cópia da Licença de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico emitida pelo Ministério do Meio Ambiente: Processo Ibama No 02001.005368/03-31, Autorização de Captura Nº 314/2013, com validade de 5 anos.

Foram recebidos os seguintes empreendimentos referentes ao estudo acima citado:

2012 – BP2 – 1ª Campanha PMAEper Poço Baúna (TP2);  
2013 – SP3 – 1ª Campanha de PMAEper\_SP3;  
2013 – GH1 – 1ª Campanha PMAE\_per\_GH1\_PP;  
2013 – SP3 – 2ª Campanha de PMAEper\_SP3;  
2014 – TP2 2ª campanha de PMAEper\_TP2;  
2014 – GH1 2ª Campanha PMAE\_per\_GH1\_PP;  
2014 – FRC 1ª Campanha PMAEper\_FRC\_SP2.

Porto Alegre, 14 de julho de 2014.

  
Prof. Dr. **João Ito Bergonci**,  
Diretor.

Ao Senhor  
**NELSON SILVEIRA**  
M.D. Diretor de Meio Ambiente  
Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente Ltda.

Instituto de Biociências – Gerência Administrativa  
Av. Bento Gonçalves, 9500, Bloco IV, Prédio 43433, Sala 207  
Campus do Vale – Bairro Agronomia  
CEP 91501-970 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil  
Fone: +55 51 3308-7753 Fax: +55 51 3308-7755  
E-mail: [biologia@ufrgs.br](mailto:biologia@ufrgs.br) – [biociencias@ufrgs.br](mailto:biociencias@ufrgs.br)



***Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço GH1, Bacia de Santos***





---

Táxon	Resultado (ind./m <sup>2</sup> )
Filo Annelida	
Subfilo Polychaeta	
Polychaeta N.Det.	<b>2.084</b>
Classe Sedentaria	
Subclasse Palpata	
Ordem Canalipalpata	
Família Longosomatidae	
Longosomatidae N.Det.	<b>44</b>
Família Sternaspidae	
Gênero Sternaspis	
<i>Sternaspis</i> sp.	<b>44</b>
Família Spionidae	
Spionidae N.Det.	<b>308</b>

---

---

Táxon	Resultado (ind./m <sup>2</sup> )
Gênero Polydora	
<i>Polydora</i> sp.	44
Gênero Boccardia	
<i>Boccardia</i> sp.	44
Família Trichobranchidae	
Gênero Terebellides	
<i>Terebellides</i> sp.	44
Família Sabellidae	
Sabellidae N.Det.	44
Ordem Scolecida	
Família Capitellidae	
Capitellidae N.Det.	132
Família Cossuridae	

---

---

Táxon	Resultado (ind./m <sup>2</sup> )
Cossuridae N.Det.	133
Família Orbiniidae	
Orbiniidae N.Det.	44
Família Opheliidae	
Opheliidae N.Det.	132
Gênero <i>Travisia</i>	
<i>Travisia</i> sp.	44
Família Paraonidae	
Paraonidae N.Det.	308
Família Maldanidae	
Maldanidae N.Det.	44
Classe Errantia	
Subclasse Aciculata	

---

Táxon	Resultado (ind./m²)
Ordem Eunicida	
Família Lumbrineridae	
Lumbrineridae N.Det.	88
Ordem Phyllodocida	
Família Glyceridae	
Glyceridae N.Det.	88
Família Goniadidae	
Goniadidae N.Det.	220
Família Nephtyidae	
Nephtyidae N.Det.	44
Gênero Nephtys	
<i>Nephtys</i> sp.	44
Família Nereididae	

---

Táxon	Resultado (ind./m <sup>2</sup> )
	Nereididae N.Det. <b>44</b>
	Família Syllidae
	Syllidae N.Det. <b>88</b>
Filo Arthropoda	
Subfilo Crustacea	
Classe Ostracoda	
	Ostracoda N.Det. <b>132</b>
Classe Maxillopoda	
Subclasse Copepoda	
	Copepoda N.Det. <b>44</b>
Classe Malacostraca	
Subclasse Eumalacostraca	
Ordem Isopoda	

---

---

Táxon	Resultado (ind./m <sup>2</sup> )
Família Anthuridae	
	Anthuridae N.Det. <b>132</b>
Ordem Amphipoda	
	Amphipoda N.Det. <b>133</b>
Ordem Tanaidacea	
	Tanaidacea N.Det. <b>88</b>
Família Apseudidae	
Gênero Carpoapseudes	
	<i>Carpoapseudes</i> sp. <b>44</b>
Filo Sipuncula	Sipuncula N.Det. <b>176</b>
Filo Nematoda	Nematoda N.Det. <b>398</b>

---

---

Táxon	Resultado (ind./m <sup>2</sup> )
Filo Mollusca	
Classe Caudofoveata	
	Caudofoveata N.Det. <b>89</b>
Classe Bivalvia	
	Bivalvia N.Det. <b>44</b>

---





***Anexo IX-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica***



**X - EQUIPE TÉCNICA**

<b>Profissional</b>	Fernanda Trieveiler
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
<b>Formação Profissional</b>	Bióloga
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio 25476-03
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	296244
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Ana Carolina dos Passos
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
<b>Formação Profissional</b>	Oceanógrafa
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	AOceano 2149
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	5517676
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Diego Nunes Engelke
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
<b>Formação Profissional</b>	Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	-
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	6128839
<b>Assinatura</b>	

---

<b>Profissional</b>	Marla Sonaira Lima
<b>Empresa</b>	-
<b>Formação Profissional</b>	Bióloga
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio 58878-03
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	3307746
<b>Assinatura</b>	