



**Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas  
Coordenação de Física Aplicada**

# **Caracterização do Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto**

**Genildo Nonato Santos  
Orientador: Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro**

Rio de Janeiro  
Junho de 2011

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas  
Genildo Nonato Santos

# Caracterização do Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto

Dissertação apresentada ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas com o objetivo de obtenção do título de mestrado profissional em física, com ênfase em instrumentação científica, sob a orientação do professor doutor Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro, na coordenação de física aplicada (APL).

Rio de Janeiro  
Junho de 2011

# Resumo

Este trabalho consiste na caracterização de um sistema de instrumentação remota de propósitos gerais, quando aplicado em monitoramento ambiental. Para isso foi desenvolvido um protótipo baseado em uma arquitetura modular [3]. Com este dispositivo foi feita coleta e análise de dados de parâmetros físico-químicos (Condutividade, pH e Temperatura) em diferentes ambientes aquáticos. Ao protótipo construído foi incorporado um dispositivo de Posicionamento Global (GPS) e uma sonda para medidas de parâmetros físico-químicos em ambientes aquáticos, que possuía múltiplos sensores integrados. Foram realizados testes em três ambientes diferentes, em um aquário, no Laboratório de Instrumentação e Medidas (LIM), na água do mar na praia da Urca na cidade do Rio de Janeiro e dentro de um efluente líquido que sofre a ação do despejo de resíduos industriais na região de Santa Cruz na cidade do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental, Instrumentação, efluentes líquidos industriais.

# Abstract

This study is the characterization of a system of general-purpose remote instrumentation, when applied to environmental monitoring. For this we developed a prototype based on the architecture of the Registrar Multipurpose Modular Remote Monitoring [3] so that measures could accomplish this in liquid environments. The prototype device has received a global positioning system (GPS) and a multiparameter probe. Tests were conducted in three different environments, in an aquarium at the Laboratory of Instrumentation and Measures (LIM), in sea water at the Urca beach and in a liquid effluent which suffers the action of waste disposal industry in the region of Santa Cruz in the city of Rio de Janeiro.

Keywords: Environmental monitoring, instrumentation, industrial wastewater.

# Agradecimentos

Ao CBPF por ter me aceito como um membro e pelos recursos disponibilizados para o uso no projeto até aqui.

Ao INT e ao CNPQ pelo apoio financeiro, que contribuiu de forma significativa, para conclusão deste trabalho

Ao professor Doutor Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro, meu orientador, pelos ensinamentos oferecidos.

Ao Alexandre Benevento por todo apoio prestado.

Ao André, ao Gabriel, ao Pedro, ao Rubem e a todos do Laboratório de Instrumentação e Medidas do CBPF pela atenção e auxílio.

Ao DETEC da CMB, em especial a Frederico e Roberto pela oportunidade de realizar as medidas.

A Gil e a Mônica pelo tempo disponibilizado e a todos os membros da coordenação de física aplicada – APL.

A Cleonice, a Mariana e a Sílvia pela ajuda com os experimentos químicos.

A Valeria, a Sílvia e a todos da divisão de engenharias de avaliações do INT pelas horas gastas comigo.

A oficina de mecânica pela adequação do protótipo.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização do trabalho.

**Agradecimentos especiais a Deus pela graça alcançada e aos meus pais pelo carinho e dedicação de sempre.**

# Lista de Siglas e Abreviaturas

ANA	Agência Nacional de Águas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CE	Condutividade Específica
CEAA	Canadian Environmental Assessment Agency
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CMB	Casa da Moeda do Brasil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DEMOM	Divisão de Moedas e Medalhas
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
GEF	Global Environment Facility
GPS	Global Positioning System
IAIA	International Association for Impact Assessment
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IIED	International Institute for Environment and Development
IMAP	Instituto de Meio Ambiente Pantanal
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IUCN	International Union for Conservation of Nature
LIM	Laboratório de Instrumentação e Medidas
NMEA	National Marine Electronics Association
NSSD	National Strategies for Sustainable Development
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
ORP	Potencial de Oxidação-Redução
pH	Potencial Hidrogeniônico
SD Card	Secure Digital Card
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environment Programme

# Lista de Símbolos e Unidades

A	Ampére
Ag	Prata
AgCl	Cloreto de Prata
AH	Ampére-Hora
°C	Graus Celsius
CN-	Íons de Cianeto
Cu	Cobre
CuSO <sub>4</sub>	Sulfato de Cobre
E	Potencial elétrico em células voltaicas
F	Constante de Faraday
g	Gramma
H	Hertz
Hg	Mercúrio
KCl	Cloreto de Potássio
L	Litro
m	Metro
N	Norte
n	Número de moles de elétrons
R	Constante Universal dos Gases
R\$	Símbolo Monetário do Brasil – Real
s	Segundo
S	Siemens
V	Volts
Zn	Zinco
ZnSO <sub>4</sub>	Sulfato de Zinco
W	Oeste [Coordenadas]
W	Watts [Potência]

# Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema de um eletrodo de pH e os seus elementos constituintes.....	8
Figura 2– Célula voltaica utilizando eletrodos de Zn e Cu em soluções de ZnSO <sub>4</sub> e CuSO <sub>4</sub> , formando duas meias células [39]. No centro da figura, uma membrana porosa separa as duas soluções.....	9
Figura 3 – Arquitetura básica de um instrumento de medição de dados, mostrando as partes fundamentais que compõem um medidor.....	17
Figura 4 – Sistema medindo em ambiente aquático, a sonda está inserida em um aquário, enviando os dados dos parâmetros desse meio para o dispositivo, que então gera os gráficos num terminal de microcomputador que está acoplado ao Caipora por um link de rádio. ....	19
Figura 5 – Arquitetura do Caipora, mostrando as partes fundamentais que compõem um medidor e adaptação para sensores digitais que são conectados diretamente no sistema de processamento da unidade de aquisição. ....	20
Figura 6 – Diagrama dos módulos do sistema Caipora que foram utilizados no teste de caracterização. ....	22
Figura 7 – O dispositivo de posicionamento global conectado ao corpo do Caipora que informa ao sistema posição, data e hora. ....	25
Figura 8 – Inserção de uma memória SD Card no conjunto de eletrônica do Caipora, no conector do módulo de armazenamento SD Card. ....	27
Figura 9 – Exemplo de um bloco de memória contendo 512 bytes que foi gravado no SD Card. ....	28
Figura 10 – A arquitetura da troca de informações entre o módulo controle e o módulo SD Card pelo barramento SPI.....	28
Figura 11 – Fluxograma do primeiro procedimento, que depois foi descartado, de transferência de dados dos medidores até o cartão e do cartão a interface serial assíncrona. ....	32
Figura 12 – Novo fluxograma de procedimento de transferência de dados dos medidores até o cartão e do cartão a interface serial assíncrona.....	34

Figura 13 – O carregador de bateria a esquerda, a bateria ao centro e a fonte de alimentação à direita. ....	36
Figura 14 – Sonda multiparâmetros modelo Quanta da Hydrolab, com sensores de temperatura, pH, condutividade e ORP. ....	37
Figura 15 – Conexões do dispositivo de calibração com o microcomputador, com a alimentação e com a sonda na preparação do processo de calibração. ....	41
Figura 16 – Seleção da porta de comunicação serial do microcomputador para ser usada pelo terminal. ....	42
Figura 17 – Sequência de caracteres recebida pelo terminal após o envio do carácter de comando “1”. ....	43
Figura 18 – Visão frontal, à esquerda, e a visão interna, à direita, do conjunto do sistema Caipora montado sobre a estrutura de uma maleta. ....	45
Figura 19 – O conector SDI-12, o dispositivo GPS e a antena do modem encontram-se na parte lateral esquerda da maleta, à esquerda. O conector de alimentação da rede elétrica encontra-se na parte lateral direita da maleta, à direita. ....	45
Figura 20 – Visão interna da estrutura de transporte e local de armazenamento da sonda. .	46
Figura 21 – Corpo do sistema Caipora, a vista da estrutura interna que mostra a localização do radio modem, à direita (b), e as conexões para o funcionamento do mesmo, à esquerda (a). ....	46
Figura 22 – A conexão da sonda com o Caipora no conector SDI-12, este conector está ligado fisicamente ao módulo SDI-12. ....	47
Figura 23 – Controlador de carga da bateria, à esquerda, e a bateria, detalhe à direita, montados na estrutura e o mostrador indicativo de nível do dispositivo de carregamento da bateria. ....	47
Figura 24 – Local para a inserção do SD Card junto ao módulo SD Card, à esquerda, são apresentados os módulos do sistema e a direita uma visão detalhada do módulo SD Card. ....	48
Figura 25 – Link de transferência dos dados do Caipora até o software de aquisição. ....	49
Figura 26 – A aba Configuração gerência o funcionamento da porta serial que está sendo utilizada para receber as informações do link do rádio modem. ....	50

Figura 27 – Na aba de Armazenamento é possível escolher para qual arquivo os dados serão exportados. ....	50
Figura 28 – O arquivo gerado pelo Caipora, mostrando a organização de algumas das diversas colunas de dados.....	51
Figura 29 – Medidas feitas pela sonda que foram transmitidas do sistema de instrumentação para o software de aquisição.....	52
Figura 30 – O painel que mostra as informações das medidas realizadas pelo sistema no formato de gráficos.....	52
Figura 31 – Detalhe da sonda e do aquário, em medidas no laboratório.....	54
Figura 32 – Após algumas medidas no aquário do laboratório, os gráficos começam a mostrar as variações registradas pelos sensores. ....	54
Figura 33 – Preparando o Caipora para testes de verificação de funcionalidade do sistema, em uma margem da enseada de Botafogo. ....	55
Figura 34 – Detalhes do tanque de descarte da ETE e posicionamento da sonda.....	56
Figura 35 – Monitoramento da tensão da bateria do Caipora, sendo interrompido o fornecimento de energia elétrica externa. Esse teste foi realizado no laboratório. ....	58
Figura 36 – Medidas de temperatura feitas pelo Caipora e pelo termômetro no aquário do laboratório pode ser quantificado um desvio de 0.1 °C da medida do Caipora em relação à do termômetro. ....	59
Figura 37 – Medidas realizadas no recipiente contendo solução tampão de pH 10 unidades, para esse valor de pH o fabricante estipula uma acurácia máxima limitada pelas duas linhas indicadas no gráfico. ....	60
Figura 38 – Medidas no recipiente com solução tampão de 1.41 mS que foi utilizada para avaliar o sensor de condutividade do sistema Caipora. As linhas indicadas são os limites de acurácia dados pelo fabricante do sensor.....	61
Figura 39 – Medidas no recipiente contendo solução tampão de 228 mV, as linhas indicadas na figura mostram os limites esperados para a medida. O que é possível ser visto é um desvio que está fora do esperado na medida. ....	62
Figura 40 – Temperatura medida no aquário durante o intervalo, o gráfico mostra o comportamento do parâmetro durante o período de medição. Com os dados	

aquisitados pelo sistema de monitoramento foi possível gerar um gráfico que mostra o comportamento da temperatura do laboratório, e conseqüentemente do aquário. ....	64
Figura 41 – O gráfico do monitoramento da medida de pH de uma amostra do aquário do laboratório, permite verificar o comportamento do sistema durante o intervalo de tempo de 4 dias. Cabe ressaltar que o fabricante indica que as primeiras medidas devem ser descartadas até o a sonda atingir um regime de medidas estáveis. ....	65
Figura 42 – Dados do monitoramento da condutividade do aquário durante o período da experiência, neste gráfico também não é possível notar alterações significativas em relação ao efeito causado pela temperatura. ....	66
Figura 43 – Monitoramento do ORP do aquário no intervalo da experiência pode ser percebido na figura que a deriva da medida está dentro da faixa de erro especificada pelo fabricante, embora o valor da medida não seja confiável. Foi compensada a medida original em 222 mV, o desvio encontrado na medida de caracterização do sensor. ....	67
Figura 44 – Gráfico da medida de temperatura feita no ambiente de praia arenoso. O sistema obteve um desempenho dentro do esperado, e foi possível a aquisição dos dados. Apesar da instabilidade provocada pelas ondas. ....	68
Figura 45 – Ao medir o pH do ambiente de mar próximo a enseada, foi possível observar pouca variação deste parâmetro durante o monitoramento. O desempenho obtido com o teste funcional ficou dentro do que era esperado para o sistema. ....	69
Figura 46 – Gráfico referente aos dados monitorados na efluente líquida industrial da CMB, após quase 2 dias de funcionamento um erro intermitente ocorreu com o sistema de monitoramento, indicado por regiões identificadas pelas setas "1", e outro erro identificado pela seta "2", ocorreu após 3 dias de monitoramento. ....	71
Figura 47 – No monitoramento da medida do pH é possível se diagnosticar algumas interferências. ....	72
Figura 48 – No monitoramento da medida da Condutividade Específica, como anteriormente, alguns artefatos de medida podem ser observados, indicados pelos pontos (1) e (2). A interferência que foi discutida para a medida do pH, também pode ser identificada neste gráfico, indicado pela seta marcada pelo número 3. ....	73

Figura 49 – Gráfico dos dados aqusitados do sensor de ORP posicionado dentro do efluente da Casa da Moeda do Brasil. É possível serem notadas as mesmas falhas que ocorreram nas outras medidas indicadas pelas setas marcadas pelos números 1, 2 e 3. ....	74
Figura 50 – Gráfico comparativo entre a medida do pH feita pelo Caipora e a medida feita pelo laboratório analítico da Casa da Moeda do Brasil, é possível constatar que as medidas estão dentro da margem de erro. ....	75
Figura 51 – No período de medição na CMB aconteceu a deposição de algumas substâncias químicas sobre o protetor da sonda. Não é conhecida a composição da substância e nem os efeitos que ela pode causar no equipamento. O período de acumulação da substância foi de 1 semana. ....	76
Figura 52 – Efeito de agressão sobre o corpo do Caipora no período de medida na ETE DEMOM, na figura (52a) efeitos de um amarelamento que também é visto no papel de proteção na figura (52b). ....	76

# Índice de tabelas

Tabela 1 – Informações sobre alguns poluentes, os riscos que estes oferecem a saúde e as principais fontes de contaminação [45].	5
Tabela 2 – Informações sobre alguns ambientes, e os parâmetros que definem suas características em relação a poluição [45].	6
Tabela 3 - Valores de alguns potenciais padrão de redução em que ocorrem em meias células [39].	10
Tabela 4 – Exemplos de algumas normas regulamentadoras utilizadas como ferramentas de preservação ambiental.	12
Tabela 5 – Endereço I <sup>2</sup> C dos módulos utilizados no sistema Caipora.	23
Tabela 6 – Formação de um frame de escrita que é enviado pelo dispositivo mestre a um dispositivo escravo.	23
Tabela 7 – Comandos I <sup>2</sup> C utilizados pelo dispositivo Mestre para a troca de dados com os dispositivos escravos.	23
Tabela 8 – Alguns exemplos de comandos para um SD Card que são utilizados pelo módulo controle para acessar os dados no cartão de memória.	29
Tabela 9 – Formação do Token de transferência de dados, sendo A os dados a serem transferidos ao cartão, B é o algoritmo de CRC7 calculado sobre o token com largura de 7 bits.	29
Tabela 10 – Formação dos comandos de controle do SD Card, que possui largura de 48 bits total, A é o número do comando (CMD17, A = 17), B é o argumento (sendo um comando de leitura, o tamanho do bloco é 512 e caso se queira ler o bloco 5, B = 5x512), e C é o algoritmo de CRC7 calculado sobre o comando com largura de 7 bits.	30
Tabela 11 - Especificações sobre o modem wireless transceiver que é utilizado para receber e enviar os dados entre o instrumento de medição e o software de aquisição no sistema Caipora [48].	35
Tabela 12 – Consumo de corrente dos principais módulos do sistema.	36
Tabela 13 - Características dos sensores que a sonda utiliza para a realização das medidas [46].	37

Tabela 14 – Características dos sensores que podem ser acoplados a sonda para a realização de medidas [46]. .....	38
Tabela 15 – Tempos necessários para a realização das tarefas de transferência de dados entre os módulos. ....	38
Tabela 16 - Soluções padrão para calibração da sonda para os parâmetros de pH, ORP e Condutividade Específica. ....	41
Tabela 17 – Comandos enviados ao dispositivo de calibração e a sua respectiva função nas operações de calibração do sistema. ....	44
Tabela 18 – Informações sobre as colunas do arquivo gerado pelo software de aquisição de dados do sistema.....	51
Tabela 19 – Dados das especificações do medidor utilizado para o monitoramento da tensão da bateria.....	57
Tabela 20 – Especificações do termômetro utilizado para comparar os valores medidos de temperatura pelo Caipora.....	59
Tabela 21 – Resumo da análise dos dados feitos com as medidas dos sensores é definido como erro o valor esperado subtraído do valor medido, desse erro foi calculado o valor médio e o desvio padrão. ....	63

# Índice

1. Introdução .....	2
2. Fundamentos teóricos .....	4
2.1. Meio Ambiente .....	4
2.2. Poluição .....	4
2.4. Parâmetros físico-químicos .....	6
Potencial Hidrogeniônico (pH).....	7
2.5. Normas regulamentadoras .....	12
3. Monitoramento ambiental .....	14
3.4. Objetivos do monitoramento ambiental .....	14
3.5. Sistemas de instrumentação.....	15
3.5.2. Métodos de medição.....	15
3.5.3. Arquitetura de sistemas de instrumentação .....	16
3.5.4. Características de instrumentos de medição.....	17
3.6. O Sistema Caipora.....	18
3.6.2. Arquitetura.....	19
3.6.3. Modularidade do sistema.....	21
3.6.4. Sonda multiparâmetro.....	36
4. Metodologia.....	40
4.1. Calibração do sistema.....	40
4.2. Configurando o sistema para experimento .....	45
4.3. Configurando o Software para o experimento.....	48
5. Análise dos resultados experimentais.....	53
6. Conclusão .....	78
7. Bibliografia.....	80

# 1. Introdução

A legislação ambiental exige que todos os resíduos eliminados por indústrias no meio ambiente estejam de acordo com padrões pré-estabelecidos. As estações de tratamento de efluentes (ETEs) são responsáveis por manter a concentração dos rejeitos potencialmente poluentes em níveis aceitáveis. Para os efluentes líquidos, a fiscalização é feita a partir de amostras retiradas do próprio efluente ou dos corpos d'água que recebem o efluente industrial [55]. Essas amostras são enviadas a laboratórios credenciados para uma posterior análise. Caso a análise das amostras esteja em desacordo com as leis em vigor, são aplicadas penalidades a indústria [55]. A partir do julgamento destas análises, a indústria deve fazer correções em seu sistema de tratamento para tornar seus rejeitos aceitáveis no ponto de vista da legislação.

Um sistema de monitoramento automático poderia encurtar o tempo de resposta das análises e agilizar as ações corretivas [56]. Contudo, existem restrições técnicas em sistemas dessa natureza como, por exemplo, custo dos equipamentos, faixa e acurácia das medidas [56]. A utilização de sistemas de monitoramento automático em conjunto com as análises laboratoriais permitiria uma maior agilidade na tomada de ações de correção.

## 1.1. Contexto atual

O projeto de um sistema de monitoramento automático multipropósito foi desenvolvido em conjunto pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). O projeto é fruto de um acordo de cooperação técnico-científica entre os dois centros de pesquisa e já resultou em um depósito de patente com o título de “Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto”. Um dispositivo modelo foi montado e testado para aplicações em monitoramento ambiental de efluentes líquidos industriais. A montagem foi configurada para atender as necessidades de monitoramento de um efluente líquido industrial. Experimentos em campo foram realizados em cooperação com a Casa da Moeda do Brasil (CMB) que possui uma sofisticada planta de tratamento de efluentes e se mostrou interessada no projeto.

## **1.2. Objetivos do trabalho**

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de um equipamento de monitoramento automático que tenha aplicação no gerenciamento e controle de resíduos industriais potencialmente poluentes. Por causa da oportunidade de teste do equipamento na Casa da Moeda do Brasil (CMB), ele foi configurado de maneira a realizar medidas em efluentes líquidos industriais.

## **1.3. Organização do trabalho**

O trabalho está organizado em sete capítulos, sendo a primeira parte introdutória, abordando a problemática que deu origem a essa dissertação, a segunda parte é uma fundamentação teórica, contendo as definições importantes sobre temas relevantes no trabalho. Na terceira parte é apresentado o sistema e suas características mais importantes. Na quarta parte são apresentados a metodologia empregada e o procedimento para realização das medições fazendo uso do sistema. No quinto capítulo são apresentados os resultados experimentais das aquisições efetuadas. No sexto capítulo são analisados e discutidos os dados apresentados. No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões sobre o trabalho.

## **2. Fundamentos teóricos**

Uma característica desejável para um sistema de aquisição de dados é a operação automática. Essa capacidade permite estender a faixa de aplicações onde o dispositivo de medida pode ser utilizado [14]. Uma das maneiras mais práticas de se automatizar operações é a utilização de componentes eletrônicos microcontrolados. Os microcontroladores são componentes eletrônicos que operam a partir de instruções pré-determinadas em sua memória de código e possui um conjunto de entradas e saídas que permitem o gerenciamento de tarefas. Os microcontroladores são classificados pela sua velocidade de executar instruções, quantidade de memória, tamanho dos registradores de dados, interfaces de comunicação etc.

Ao ser considerado um sistema de aquisição de dados que realiza monitoramento ambiental, devemos ter consciência da importância de se conhecer alguns dos fundamentos básicos sobre meio ambiente, poluição, normas regulamentadoras e de parâmetros ambientais.

### **2.1. Meio Ambiente**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Meio Ambiente é um determinado espaço onde ocorre a interação dos componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (água, rocha e ar) e biótico-abiótico (terra), levando em considerações também os aspectos sócio-culturais. O conjunto formado pelos componentes abióticos e biótico-abiótico é denominado como sendo o meio físico [40]. O meio biológico é formado pelos componentes bióticos do meio ambiente (vegetais, bactérias, coliformes, micróbios, população humana, fungos etc).

### **2.2. Poluição**

Segundo a referência [6], “Poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, lancem no meio ambiente matérias ou

energias em desacordo com padrões ambientais estabelecidos” [6]. Uma outra definição para poluição é que ela é o resultado da geração de resíduos por diversos setores da economia e sociedade, incluindo atividades extrativas e de serviços. Por seu grau de risco a saúde humana e ao meio ambiente, os resíduos são classificados em perigosos e não perigosos, necessitando assim, de uma maior atenção aos de natureza perigosa [29]. Alguns exemplos de elementos poluidores podem ser encontrados na tabela 1.

**Tabela 1 – Informações sobre alguns poluentes, os riscos que estes oferecem a saúde e as principais fontes de contaminação [45].**

<b>Contaminante</b>	<b>Teor Tóxico limite (mg/L)</b>	<b>Efeitos a saúde por exposição prolongada</b>	<b>Fontes de contaminação em água potável</b>
Arsênico	0.010	Problemas de pele, riscos ao sistema circulatório e pode causar câncer	Erosão de depósitos naturais, escoamento de pomares, o escoamento a partir de resíduos de vidro e resíduos da produção de eletrônicos.
Cádmio	0.005	Danos nos rins	Corrosão de tubos galvanizados, erosão de depósitos naturais, descarga das refinarias de metal e escoamento de resíduos de pilhas e tintas
Cobre	1.3	Desconforto gastrointestinal no Fígado ou nos rins	Corrosão dos sistemas de encanamento doméstico; erosão de depósitos naturais
Cianeto	0.2	Dano nos nervos ou problemas da tiróide	Descarga dos resíduos de processos com aço ou outros metais, descarga das fábricas de plástico e de fertilizantes
Fluoreto	4.0	Doença óssea, as crianças podem ter dentes manchados	Erosão de depósitos naturais, descarga de fertilizantes e fábricas de alumínio

Os resíduos tóxicos estão presentes na maioria dos processos industriais (talvez em todos). E isso pode justificar o fato que é na atividade industrial que iremos encontrar os

maiores e os mais graves riscos de poluição, em especial nas indústrias químicas e de petróleo [29]. Há uma extensa lista de resíduos perigosos, sendo solventes, pesticidas, sais de cianeto, combinados de chumbo, mercúrio e de outros metais pesados exemplos graves destes.

## **2.4. Parâmetros físico-químicos**

Entendemos por parâmetros ambientais, grandezas que indicam as características de um meio ambiente em relação aos seus aspectos físico-químicos. Em um ambiente livre de poluição, os parâmetros ambientais tenderão a expressar um comportamento livre da ação do homem, variando dentro de determinados limites. Na tabela 2 são apresentados alguns meio ambientes e os principais parâmetros que podem vir a indicar qualidade ambiental [45].

**Tabela 2 – Informações sobre alguns ambientes, e os parâmetros que definem suas características em relação à poluição [45].**

<b>Ambiente</b>	<b>Parâmetros químicos comumente associados</b>
Terras cultiváveis	Turbidez, fósforo, nitratos, temperatura, sólidos totais.
Colheita	Turbidez, temperatura, sólidos totais.
Florestal	Bactérias fecais, turbidez, fósforo, nitratos, temperatura.
Pastagens	Temperatura, condutividade, sólidos totais, substâncias tóxicas, pH.
Industrial	pH, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos, substâncias tóxicas.
Mineração	Bactérias fecais, nitratos, fósforo, oxigênio dissolvido, condutividade, temperatura, substâncias tóxicas.
Sistemas sépticos	Oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, condutividade, fósforo, nitratos, bactérias fecais, temperatura, sólidos totais, pH.
Estações de tratamento de esgoto	Turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais, e tóxicos.
Escoamento urbano	Turbidez, fósforo, nitratos, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio.

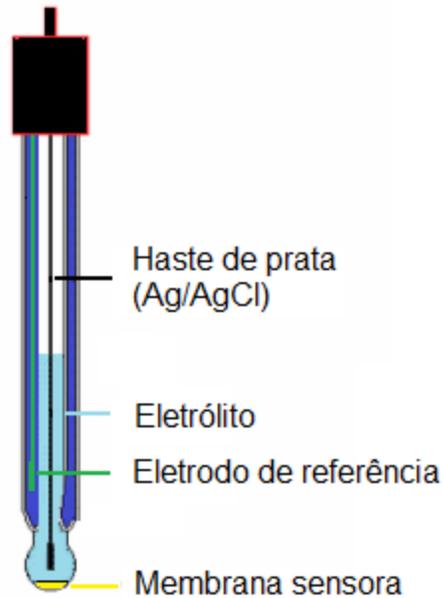
Um determinado Meio Ambiente possui um conjunto de parâmetros físico-químicos que permite inferir sobre sua qualidade ambiental como é mostrado na tabela 2. Monitorar os parâmetros ambientais de um meio visa avaliar e quantificar a presença de substâncias poluentes.

### **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH é um parâmetro químico que afeta as reações químicas que ocorrem em ambientes líquidos. O pH influencia diretamente na saúde dos seres que habitam estes meios. Este é definido como sendo o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio ( $H^+$ ) ativos expresso em moles [8]. Um pH 7 representa a neutralidade do meio, por exemplo, em água a 25°C a quantidade molar de  $H^+$  deve ser igual à quantidade molar de  $OH^-$  para um equilíbrio químico dos íons na solução. Quando há mais íons  $H^+$  que íons  $OH^-$ , é dito que esse é um meio ácido e quando há mais íons  $OH^-$  do que íons  $H^+$ , esse é dito ser um meio alcalino [41]. A expressão que define o valor do pH em um meio é mostrada na equação 1.

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

O valor do pH sofre influência da temperatura do meio. Para comparar medidas de pH obtidas em diferentes temperaturas, corrigimos o valor obtido para uma temperatura de referência, e neste trabalho a temperatura utilizada como referência é a de 25° C. Em potenciometria, a medida de pH é normalmente baseada em um eletrodo de calomelano ou um eletrodo de Ag/AgCl. A figura 1 mostra o esquema de um eletrodo Ag/AgCl.



**Figura 1 – Esquema de um eletrodo de pH e os seus elementos constituintes [14].**

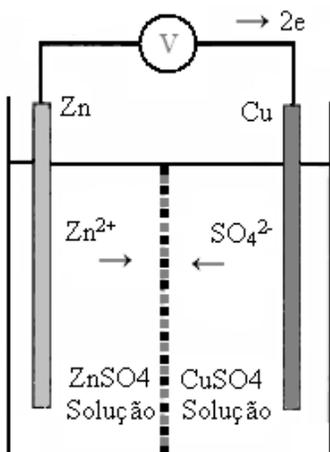
A equação 2 descreve a medida de pH em um ambiente aquoso. Na equação,  $E^0$  é o potencial elétrico no eletrodo do medidor, tomando como referência o potencial elétrico do eletrodo padrão de hidrogênio (SHE). O potencial elétrico  $E^m$  é o potencial do eletrodo quando ele está inserido no meio aquoso ao qual está sendo realizada a medida. Alguns parâmetros são apresentados como, por exemplo,  $n$  que é o número de moles de elétrons transferidos na reação,  $R$  é a constante universal dos gases,  $T$  é a temperatura absoluta e  $F$  é a constante de Faraday.

$$pH = \frac{(E^0 - E^m) \cdot (n \cdot F)}{R \cdot T} \quad (2)$$

O pH é fator determinante para o equilíbrio da maioria dos ecossistemas. A grande maioria dos seres vivos aquáticos é adaptada a uma específica faixa de variação do pH. Em ambientes marinhos, essa faixa está compreendida entre 7.8 e 8.3. Em lagos, se o pH alcançar valores abaixo de 5.0 pode ocorrer um alto nível de mortalidade de peixes. Em condições muito alcalinas ou muito ácidas, os seres vivos podem vir a não sobreviver [38].

### Potencial de Oxidação-Redução (ORP)

O Potencial de Oxidação-Redução é uma medida da atividade dos elétrons existentes em um meio. É um indicador da tendência relativa de uma solução aceitar ou transferir elétrons. É bem conhecido que quando eletrodos de **Zn** e **Cu** são inseridos em soluções de **ZnSO<sub>4</sub>** e **CuSO<sub>4</sub>** respectivamente, separadas por uma membrana porosa, uma corrente elétrica pode ser medida entre os eletrodos no sentido de **Zn** para **Cu**. A essa transferência de elétrons que ocorre na reação chamamos de oxidação-redução. Onde o eletrodo que perde elétrons sofre uma reação de oxidação e o que recebe elétrons sofre uma reação de redução, tal fenômeno é responsável pelo aparecimento de uma diferença de potencial entre os eletrodos [30]. O conjunto formado entre as soluções e os eletrodos é chamado de célula completa, enquanto que o conjunto constituído por uma solução e seu respectivo eletrodo é chamado de meia célula. O potencial medido na reação vai depender tanto do tipo de solução quanto do tipo de eletrodo que esta sendo utilizado [39]. Uma forma bastante simplificada de quantificar o potencial elétrico gerado em uma célula completa é calcular a diferença entre os potenciais das suas duas meias células. No caso da figura 2, se conhecido o potencial de cada uma das meias células que compõem a célula completa é bastante simples calcular o potencial da célula completa.



**Figura 2– Célula voltaica utilizando eletrodos de Zn e Cu em soluções de ZnSO<sub>4</sub> e CuSO<sub>4</sub>, formando duas meias células [39]. No centro da figura, uma membrana porosa separa as duas soluções.**

A tabela 3 apresenta o potencial padrão para alguns materiais que sofrem reações de oxidação-redução. Estes potenciais foram determinados a partir do eletrodo padrão de hidrogênio (SHE), como estabelecido pela “International Union of Pure and Applied Chemistry” (IUPAC).

**Tabela 3 - Valores de alguns potenciais padrão de redução em que ocorrem em meias células [39].**

Meia reação de redução	Potencial padrão de redução $E^0$ [Volts]
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}(\text{s})$	-3.04
$\text{K}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{K}(\text{s})$	-2.92
$\text{Ca}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ca}(\text{s})$	-2.76
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2.71
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	0.76
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	2.34
$\text{O}_3 + 2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	2.07
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-(\text{aq})$	2.87

Utilizando os valores dados na tabela 3, temos que o potencial de oxidação-redução entre os eletrodos é de 1.1V na célula completa da figura 2.

$$E = E^0 - \left( \frac{2.303 \cdot R \cdot T}{n \cdot F} \right) \cdot \log[ K ] \quad (3)$$

O potencial de oxidação-redução (ORP) pode ser calculado a partir da equação 3, onde  $E$  é o potencial de oxidação-redução,  $E^0$  é o potencial do eletrodo utilizado em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio,  $K$  é a constante de equilíbrio numa reação química,  $n$  é o numero de mols de elétrons transferidos na reação,  $R$  é a constante universal dos gases,  $T$  é a temperatura absoluta e  $F$  é a constante de Faraday.

Assim como na medida de pH, o valor do ORP sofre influência direta do valor da temperatura no qual a medida foi feita. Deste modo é comum referenciar corrigir a medida do potencial de oxidação-redução a uma temperatura de referência, neste trabalho 25°C.

### Condutividade Específica (CE)

A condutividade específica resulta da capacidade de íons dissolvidos num meio conduzirem corrente elétrica [14]. Esta condutividade possui propriedades semelhantes às da condutividade elétrica, as duas condutividades podem ser relacionadas pela equação 4.

$$CE = \left(\frac{1}{R}\right) \cdot K \quad (4)$$

Onde  $CE$  é a condutividade específica,  $R$  é a resistência elétrica e  $K$  é a uma constante que depende das dimensões do eletrodo utilizado para medir a condutividade específica em um meio.

Embora só os íons possam transportar as cargas elétricas nas soluções, nem todos os íons carregam a mesma quantidade. A característica que os íons possuem que é relacionada ao transporte de cargas elétricas é denominada de condutância equivalente e pode ser relacionada à condutância específica pela equação 5 [41].

$$CE = Ce \cdot N / 1000 \quad (5)$$

Onde  $CE$  é a condutividade específica,  $Ce$  é a condutividade equivalente e  $N$  é a normalidade do meio.

Assim como os outros parâmetros, a medida de condutividade pode sofrer alterações com variações ocorridas na temperatura. Sendo comum também aqui referenciar o valor da medida da temperatura ao valor da medida da condutividade.

A equação 6 mostra uma maneira de converter medidas de condutividade específica feitas a uma temperatura de  $x$  °C para a temperatura de 25°C, esta equação é comumente utilizada quando se deseja comparar duas medidas.

$$CE_{25^{\circ}C} = \frac{CE_{x^{\circ}C}}{1 - 0.0191 \cdot (x - 25)} \quad (6)$$

## 2.5. Normas regulamentadoras

A qualidade ambiental “Consiste no atendimento aos requisitos de naturezas físicas, químicas, biológica, econômicas e sociais que assegurem a estabilidade das relações ambientais naquele ecossistema” [29]. A qualidade da água é determinada pela quantidade e diversidade dos materiais e substâncias que residem dentro dela. A água doce, por exemplo, não pode conter concentrações de mercúrio (Hg) acima de 1 ng/L. Ultrapassando essa concentração esta é considerada imprópria para consumo humano [14]. Resíduos que venham a alterar as características de um ecossistema, acima de determinados limites, são considerados poluentes. As normas de regulamentação são documentos que aprimoram e adequam processos de avaliação ambiental para políticas, planos, programas e projetos ambientais. Destinando-se a auxiliar na tarefa de assegurar a qualidade ambiental. Alguns exemplos de normas regulamentadoras são apresentados na tabela 4.

**Tabela 4 – Exemplos de algumas normas regulamentadoras utilizadas como ferramentas de preservação ambiental.**

<b>Norma</b>	<b>Descrição da Lei</b>
Resolução SEMACT/MS Nº 010/01	Estabelece os índices ambientais provisórios por Unidades de Conservação, de acordo com os cálculos efetuados pelo Instituto de Meio Ambiente Pantanal – IMAP.
Decreto Executivo Federal nº 078/91	Aprova a Estrutura Regimental do IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
Lei Federal Nº 9.605/98	Lei de Crimes Ambientais. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências.
Lei Nº 2080/95	Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a resíduos sólidos
Decreto Executivo Federal Nº 80.978/77	Promulga a Convenção relativa à proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural, assinada em Paris, em 23 de novembro de 1972.
Lei Federal Nº 6.513/77	Dispõe sobre a criação de Áreas Especiais e de locais de Interesse Turístico.
Resolução Nº 004/88	Declara sítios ecológicos de relevância cultural todas unidades de conservação previstas na Legislação, monumentos naturais, jardins botânicos, jardins zoológicos e hortos florestais criados a nível federal, estadual e municipal.

Tais normas são estabelecidas por agências normatizadoras como a Agência Nacional de Águas (ANA), a “Canadian Environmental Assessment Agency” (CEAA), “Environmental Protection Agency” (EPA); Por organizações internacionais: “Wetlands International, National Strategies for Sustainable Development” (NSSD), “European Union, International Association for Impact Assessment” (IAIA), “International Union for Conservation of Nature” (IUCN), “Organisation for Economic Cooperation and Development” (OECD), “International Institute for Environment and Development” (IIED); os programas de desenvolvimento: “United Nations Conference on Environment and Development” (UNCED), “United Nations Development Programme” (UNDP), “United Nations Environment Program” (UNEP); Em tratados internacionais: “Ramsar Convention on Wetlands”; E por órgãos financiadores de projetos para o desenvolvimento sustentável: “World Bank”, “Global Environment Facility” (GEF) e o “Asian Development Bank”.

### **3. Monitoramento ambiental**

O monitoramento ambiental consiste em coleccionar dados dos parâmetros definidores de um ambiente, em tempo e espaço, e a partir destes, gerar informações que possibilitarão uma melhor compreensão dos fenômenos físico-químicos que ali ocorrem. A observação contínua e ordenada de um determinado meio possibilita, algumas vezes, tornar perceptível uma tendência ou fenômeno que antes do monitoramento não era evidente. É esperado em ações como essa, que as informações geradas no processo de monitoramento venham a auxiliar nas tomadas de decisão referentes à preservação de recursos naturais [14].

Para possibilitar ações de monitoramento ambiental, são necessárias técnicas de medidas que quantifiquem as variáveis ambientais, e para realização desta tarefa, diversos métodos podem ser apresentados. Para fins de adequação, neste documento, o termo sistema de instrumentação representa um dispositivo de sensoriamento baseado em tecnologia eletrônica e de operação por controle automatizado.

#### **3.4. *Objetivos do monitoramento ambiental***

O monitoramento ambiental pode ser definido como a observação e o estudo do meio ambiente, que em termos científicos, significa recolher dados a partir dos quais derivaremos informação [14]. O monitoramento ambiental pode ser compreendido em três ações básicas:

- 1 – Recolher uma coleção de dados que expressem certas características de um ambiente;
- 2 – Analisar tal coleção de dados;
- 3 – A partir da análise, gerar a informação que auxilie no monitoramento, controle e nos processos de tomada de decisões;

Ações de monitoramento ambiental devem ser planejadas e adaptadas a determinadas situações para que o resultado esperado com a ação de monitoramento seja alcançado. Um plano de monitoramento ambiental bem elaborado possui grandes chances

de gerar informações úteis. Contudo, não existem garantias absolutas de sucesso em ações dessa natureza.

### **3.5. Sistemas de instrumentação**

As técnicas de medidas são bastante amplas tanto no campo da engenharia quanto no campo das ciências, abrangendo as áreas de detecção, aquisição, controle e análise dos dados. Ela envolve a medição precisa e a gravação dos parâmetros físicos, químicos, mecânicos, ou ópticos e desempenha um papel fundamental em todos os ramos dos processos de pesquisa científica e industrial. Medições nos fornecem um meio de descrever um fenômeno natural em termos quantitativos [1], e todas as ferramentas que nos ajudam a realizar medições fazem parte da tecnologia de instrumentação [2].

#### **3.5.2. Métodos de medição**

Os dados dos indicadores que definem as características de um meio ambiente são obtidos, normalmente, de maneira indireta. Tomando como base a quantificação de um ou de mais fenômenos físicos, químicos ou biológicos, segundo algum critério, e que estejam de certa forma, relacionados às características que se deseja avaliar. As medidas são fundamentadas em propriedades de absorção de radiação eletromagnética, elétricas, eletroquímicas, termo-resistivas entre outras.

As técnicas de medição são baseadas nos princípios de conversão de energia onde efeitos de um domínio podem ser sentidos em outros. Quando o domínio final da conversão é o domínio elétrico, o dispositivo que realiza esse tipo de conversão é chamado de transdutor elétrico. Esta é uma das partes mais importantes dos dispositivos de instrumentação que possuem controle por eletrônica [43].

Outro aspecto, importante nos métodos de medição, é o seu conjunto de controle. Se há alguns anos atrás o controle de um método de medição, era executado quase que exclusivamente, de forma manual, com a evolução da eletrônica e, principalmente com a implantação da eletrônica digital, o controle automático, através de circuito analógico, digitais ou simplesmente através de programas, passou a ser freqüente. Cada uma destas formas de controle poder existir, individualmente, num determinado instrumento. Embora seja usual a inclusão dos vários modos de controle a um mesmo dispositivo. A utilização de

sistemas de eletrônica é tão significativa na instrumentação que algumas técnicas de medição só são possíveis de serem realizadas com a utilização de controle por eletrônica. A potenciometria é um exemplo típico de técnica que só é viável com a utilização de dispositivos de controle por eletrônica [42, 43].

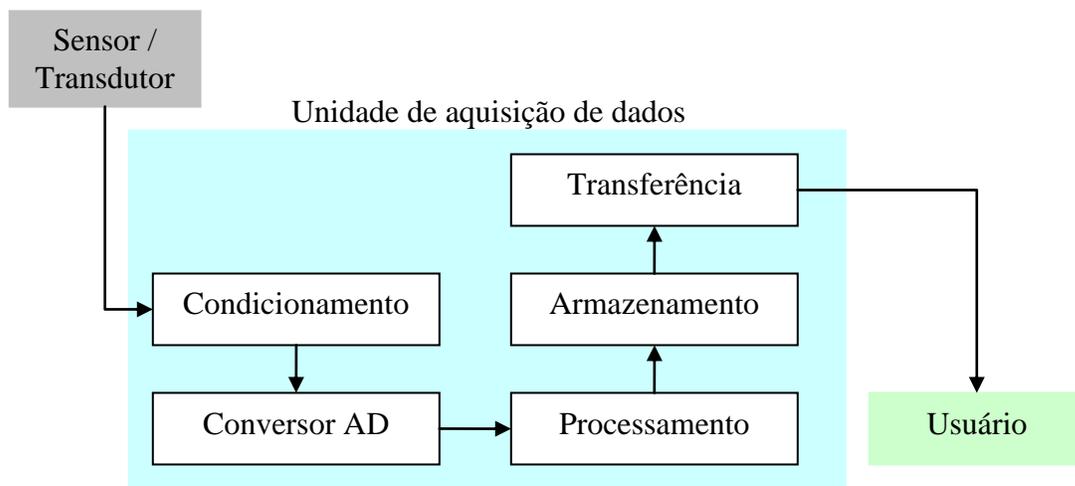
### **3.5.3. Arquitetura de sistemas de instrumentação**

Um sistema de medida deve estar apto a registrar as variações dos parâmetros configurados para a medida de modo a permitir sua interpretação. Apesar de existir a possibilidade de estarem dispostos em diversas configurações, os sistemas de instrumentação possuem certas partes em comum. Compõem o conjunto de instrumentação um elemento sensor (transdutor) e uma unidade de aquisição de dados.

O elemento sensor deve ser capaz de converter o valor de um parâmetro físico-químico que atua sobre ele em um nível elétrico. Os sensores podem ser classificados em relação ao tipo de saída que possuem em analógicos e digitais.

A unidade de aquisição condiciona e formata os sinais elétricos procedentes do elemento sensor e os disponibiliza para a utilização fora do instrumento. O bloco de condicionamento altera o sinal elétrico, de maneira que este possa se adequar à entrada da unidade de aquisição. Uma tendência freqüente em elementos de instrumentação é a inserção de um conversor analógico para digital na unidade de aquisição. Esta alteração tem intuito de promover a simplificação da unidade de aquisição, flexibilizando a manipulação dos dados. Os conversores analógicos para digital normalmente são empregados em conjunto com elementos processadores e de memórias para o armazenamento. A unidade de transferência é a interface entre o instrumento e o experimentador. Uma estratégia que se torna viável ao acoplar uma unidade de transferência ao instrumento de medida é a de possibilitar o uso destes associados a sistemas de controle externos, estendendo a funcionalidade do dispositivo na realização de medidas [43]. A figura 3 apresenta a arquitetura padrão de um instrumento de medidas, onde representamos um elemento sensor/transdutor (que codifica na forma de sinal elétrico o parâmetro físico-químico a ser medido), um circuito de condicionamento de sinal (que permite filtrar, amplificar e formatar o sinal elétrico analógico para adequá-lo as especificações da entrada do circuito eletrônico de conversão), um elemento conversor analógico/digital – A/D (que converte o

sinal do domínio analógico para o domínio digital), um elemento de processamento (computa o sinal digital), um elemento de armazenamento (grava a informação em uma mídia não volátil) e um elemento de transferência ou comunicação de dados.



**Figura 3 – Arquitetura básica de um instrumento de medição de dados, mostrando as partes fundamentais que compõem um medidor.**

#### 3.5.4. Características de instrumentos de medição

Apresentamos a seguir algumas definições importantes para caracterizar um instrumento de medida:

**Faixa ou escala** é o conjunto de valores suportados pelo instrumento na realização da medida, representada nas folhas de especificação pelo mínimo e o máximo valor que o instrumento mede [14].

**Resolução** é definida como a menor variação da grandeza medida que ainda pode ser detectada pelo instrumento. Em dispositivos digitais essa característica está relacionada com os parâmetros da unidade de conversão analógica para digital, mais especificamente com a quantidade de bits disponíveis na saída deste conversor [14]. A resolução de um equipamento digital pode ser calculada a partir da equação 6.

$$Resolução = \frac{Valor\_Escala\_Plena}{Número\_Digitos\_Completo} \quad (6)$$

**Acurácia** é uma nomenclatura utilizada para indicar, em um medidor, a maior diferença que pode ocorrer entre o valor da grandeza e o valor apresentado pelo instrumento. É normalmente expressa pela porcentagem do valor pleno da escala, embora possa ser encontrada como uma porcentagem do valor da leitura [14].

Assumimos nesse documento que o tempo de resposta de um instrumento de medição é o intervalo necessário para que um dado estímulo no elemento sensor seja detectado na saída do instrumento.

### **3.6. O Sistema Caipora**

Uma das aplicações possíveis para o sistema é a de monitoramento ambiental, como já tinha sido discutida no capítulo introdutório. O sistema Caipora é um dispositivo de instrumentação remota, idealizado para aplicações de medição de grandezas físicas com propósitos múltiplos. Contudo, o sistema precisa ter uma mínima configuração, de maneira que este possa vir a atender as necessidades da aplicação a qual se destina. Muitas das vezes um sensor que é fabricado para fazer medidas em solos não pode ser utilizado para medidas no mar, como é o caso dos sensores de pH para medidas em solo e para medidas em água pura. Embora ambos meçam o pH, a aplicabilidade de cada um é específica. A tarefa de monitorar um ambiente é complexa, e apresenta dificuldades diversas. Uma delas é a tarefa de se manter um compromisso entre um dispositivo que possa ser utilizado em diversas aplicações e que apresente desempenho adequado.



**Figura 4 – Sistema medindo em ambiente aquático, a sonda está inserida em um aquário, enviando os dados dos parâmetros desse meio para o dispositivo, que então gera os gráficos num terminal de microcomputador que está acoplado ao Caipora por um link de rádio.**

O uso de uma arquitetura modular e de protocolos de comunicação específicos para transdutores de parâmetros ambientais permite uma ampla variedade de aplicações. Contudo, fica clara a necessidade de dimensionar adequadamente os módulos e interfaces.

No caso do protótipo desenvolvido, as especificações foram adotadas para que o sistema estivesse adaptado a fazer medidas em meio líquido. A figura 4 apresenta o sistema Caipora em uma configuração para medidas em um aquário.

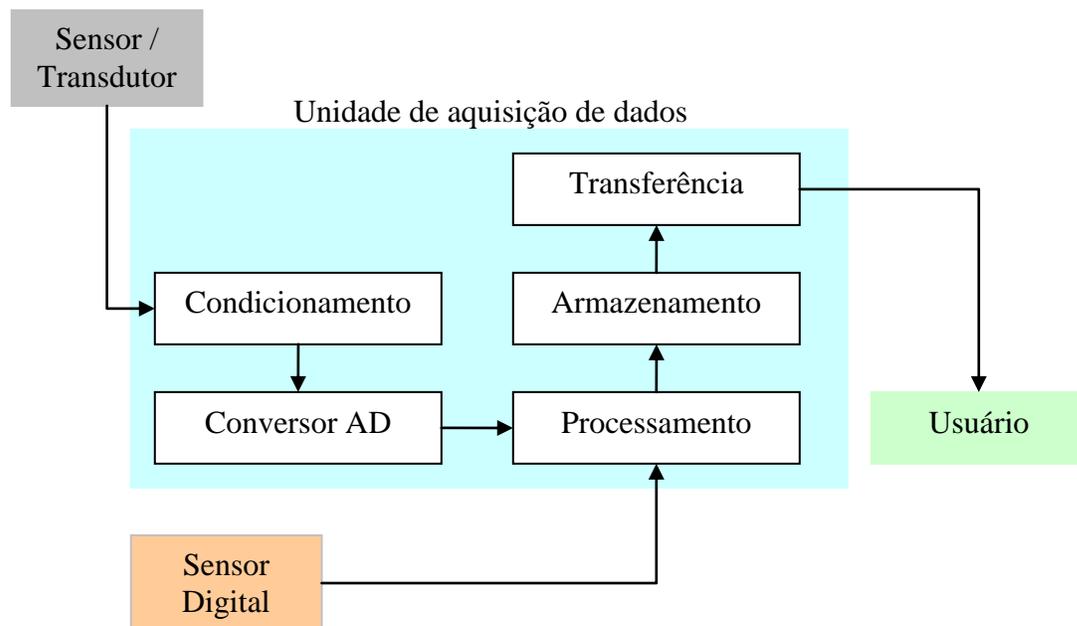
### **3.6.2. Arquitetura**

A unidade de aquisição do sistema segue a mesma arquitetura apresentada na figura 3 da página 16. O Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto possui versatilidade para ser conectado a elementos sensores de interface digital através de protocolos de comunicação padrão (RS232 e SDI-12), muito empregados nesta área.

Quando se utilizam sensores digitais a arquitetura da figura 3 pode ser redimensionada para a arquitetura mostrada na figura 5, onde a conexão com os novos dispositivos é feita a partir do bloco de processamento da unidade de aquisição. Ambas as figuras 3 e 5 mostram um diagrama esquemático dos blocos do sistema. As entradas digitais para sensores foram incluídas na arquitetura do Caipora devido a sua ampla

utilização pelos fabricantes de instrumentação. A arquitetura de um sistema de medição é simplificada ao serem escolhidos sensores que incorporam interface de comunicação padrão, tais como o RS232 ou o SDI-12. A conexão do sensor digital com o bloco de processamento torna desnecessária a utilização dos blocos anteriores ao bloco de processamento. Com isso, há uma simplificação de hardware.

Um tipo muito comum de protocolo de comunicação para sensores é o “Serial Data Interface at 1200 Bauds (SDI-12)”, que é um protocolo padrão para interfacear dataloggers (dispositivo que realiza aquisição de dados) e sensores. Este protocolo tem funcionamento auxiliado por microprocessadores. Ele opera de forma serial, tendo uma taxa de comunicação fixa de 1200 baud. A justificativa para trabalhar com a interface SDI-12 é que esta possui características como: mínimo consumo de corrente, baixo custo de implementação dos sistemas e a possibilidade de utilização de vários sensores a partir de uma única linha de dados (multiplexação), tornando-o bastante atrativo em projetos de monitoramento ambiental [17].



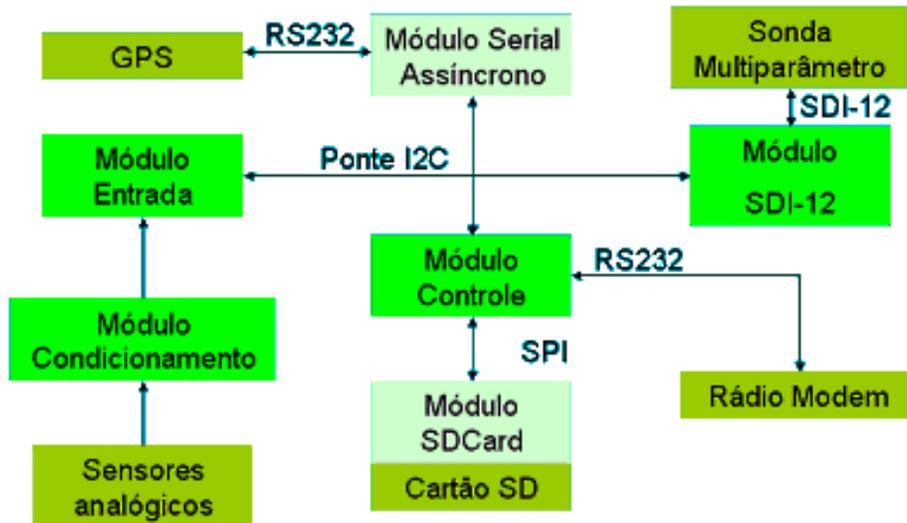
**Figura 5 – Arquitetura do Caipora, mostrando as partes fundamentais que compõem um medidor e adaptação para sensores digitais que são conectados diretamente no sistema de processamento da unidade de aquisição.**

O “Recommended Standard 232 (RS232)” é um protocolo de comunicação serial universal utilizado por diversos dispositivos. Até recentemente, uma interface RS232 podia ser encontrada em terminais de microcomputadores pessoais. Transações de troca de dados, entre dispositivos eletrônicos, podem ser feitas a partir deste protocolo [52].

### **3.6.3. Modularidade do sistema**

Em relação a sua disposição interna, o Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto executa seus processos de maneira distribuída, dividindo a sua tarefa principal em partes menores e delegando essas frações de tarefas aos módulos que compõem o sistema. A estratégia visa distribuir o processamento, de forma a não sobrecarregar o elemento de controle principal. No processamento distribuído, as especificações dos dispositivos de processamento podem ser menos elevadas do que aquelas que seriam necessárias numa arquitetura com processamento concentrado. Ao reduzir os níveis de especificações de um elemento processador, conseqüentemente o seu custo diminuirá [53]. Entre os critérios utilizados para a escolha dos dispositivos microcontroladores utilizados nos módulos do sistema foram custo e disponibilidade no mercado. Os microcontroladores da família HCS-08 da Freescale se enquadram nestes critérios. A adoção de uma arquitetura modular no projeto permitiu a utilização desses microcontroladores no sistema.

O sistema utilizado é composto por seis módulos que serão apresentados nos capítulos seguintes e são denominados, Controle, SDI-12, Armazenamento SD Card ("Secure Digital Memory Card" - cartão de memória), Serial Assíncrono (Entrada Digital RS232), Entrada (Entrada Analógica) e Condicionamento. A figura 6 descreve um diagrama de bloco mostrando as interligações entre eles, com seus respectivos protocolos de comunicação [51].



**Figura 6 – Diagrama dos módulos do sistema Caipora que foram utilizados no teste de caracterização.**

Os módulos se comunicam por um conjunto de barramento de dados, dos quais o principal é o “Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C)”. Este barramento cria uma ponte de comunicação entre todos os módulos do sistema que possuem elementos de processamento. O protocolo I<sup>2</sup>C tem uma arquitetura do tipo mestre-escravo, onde é o dispositivo mestre quem controla o barramento. O I<sup>2</sup>C tem a camada física estruturada por 2 linhas, o “Serial Data Line (SDA)” e o “Serial Clock Line (SCL)”, por onde os dados trafegam. A comunicação I<sup>2</sup>C suporta operações de leitura e escrita dos dispositivos escravos pelo mestre. Um frame, conjunto de bits, é enviado aos módulos escravos do sistema em uma operação de escrita. Este é composto por um controle de início de mensagem (Start Bit), pelo endereço do dispositivo escravo de onde se quer ler ou escrever dados, um identificador do tipo de operação (0 – Escrever, 1 – Ler), o comando a ser enviado e um controle de fim de mensagem (End Bit). Cada dispositivo escravo possui um endereço com largura de 7 bits, e o endereço 00H não pode ser utilizado por estes (endereço do mestre).

### 3.6.3.1. Módulo de Controle

É o principal módulo do sistema, tendo a tarefa de realizar a transferência dos dados de forma sincronizada entre os diversos módulos que compõem o sistema, arbitrando a comunicação no interior do Caipora, definindo quando e qual módulo necessita utilizar os

recursos do barramento de comunicação. Na tabela 5 pode ser vista uma lista de comandos que está definida para o mestre no acesso aos dispositivos escravos [51].

**Tabela 5 – Endereço I<sup>2</sup>C dos módulos utilizados no sistema Caipora.**

Módulo	Endereço I <sup>2</sup> C
Controle	00H
SDI-12	0AH
Serial Assíncrono	0BH
Entrada	0CH

Ao módulo de controle é dado o endereço I<sup>2</sup>C 00H, definindo esse como o dispositivo mestre no barramento. Por exemplo, para que seja conhecido o status do módulo SDI-12 deve-se enviar ao barramento I<sup>2</sup>C um frame organizado da seguinte forma:

**Tabela 6 – Formação de um frame de escrita que é enviado pelo dispositivo mestre a um dispositivo escravo, protocolo proprietário do sistema Caipora.**

StartBit	Endereço	Operação	Comando	EndBit
1	0AH	0	BEH	0

A tabela 7 mostra os comandos para acesso aos módulos escravos e a resposta que estes enviarão indicando o status da transação.

**Tabela 7 – Comandos utilizados pelo dispositivo Mestre para a troca de dados com os dispositivos escravos, protocolo proprietário do sistema Caipora.**

Significado do comando	Código do comando	Resposta ao comando
Enviar Status do Módulo	BEH	[0] – Ok; [Outro] – Erro_190
Executar Amostragem	BFH	[0] – Ok; [Outro] – Erro_191
Buffer de saída do módulo vazio?	C0H	[0] – Sim; [1] – Não; [Outro] – Erro_192
Colocar no canal I2C o primeiro carácter do buffer de saída do módulo	C1H	[carácter imprimível] – Ok; [Outro] – Erro_193
Destrói o primeiro carácter do buffer de saída do módulo e desloca uma posição à frente o buffer	C2H	[0] – Ok; [Outro] – Erro_195

Para toda operação de escrita existe uma resposta que informa o sucesso ou não da transação de dados entre o mestre e o dispositivo escravo.

Cada módulo definido como escravo possui um buffer de saída com largura de 150 caracteres máximos. E ao ser recebido o comando BFH (descrito na lista de comandos da tabela 7), os módulos escravos fazem uma amostra dos dados presentes nas suas interfaces de medidas, capturando estas informações e armazenando-as no buffer de saída. A partir do envio do comando C0H, o módulo mestre sabe se o buffer de saída de um módulo escravo possui ou não algum dado para ser transferido. Se houver dados, o módulo de controle faz a requisição do carácter que ocupa a primeira posição no buffer de saída do módulo escravo da comunicação. Caso a operação de transferência seja bem sucedida, o módulo de controle envia um pedido de substituição desse primeiro carácter do buffer pelo próximo da sequência (comando C2H). A checagem, a requisição e o pedido de substituição dos caracteres do buffer prosseguem nessa ordem, até que o buffer fique vazio.

### **3.6.3.2. Módulo de Entrada**

O módulo de entrada RS232 é responsável por receber sinais de sensores de saída digital que utilizem interfaces de comunicação RS232. O módulo possui capacidade para atuar em half duplex a uma velocidade de 9600 bauds máxima, sem controle de fluxo e sem controle de paridade. Acoplado ao módulo de entrada RS232 o Caipora possui um sistema de posicionamento global, este dispositivo é utilizado para confirmar o local da medida e prover informações de data e hora. O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de navegação baseado em satélites, que foi desenvolvido pelo departamento de defesa norte americano, na década de 70, para uso das forças armadas. Com o tempo o sistema se popularizou e seu uso foi estendido para civis. O Sistema de Posicionamento Global (GPS) disponibiliza informações de latitude, longitude, altura, data e hora em qualquer lugar do mundo sobre qualquer condição meteorológica [16]. No protótipo, o módulo de entrada RS232 foi adaptado para receber os dados do dispositivo de posicionamento global. As transações de comunicação entre o módulo e o dispositivo são feitas a partir da interface de comunicação RS232. Os dados disponibilizados pelo módulo de entrada digital ao sistema Caipora seguem o padrão “National Marines Electronics Association (NMEA)”, e o formato das mensagens segue às normas do protocolo 0183-

GPRMC do NMEA [47]. O módulo acessa as informações oriundas do dispositivo de posicionamento global, e as armazena em seu buffer de saída em formato proprietário. Esse formato tem extensão máxima de 95 caracteres. A transação que faz com que estes dados sejam armazenados no elemento de memória da unidade de aquisição é realizada pelo módulo de controle, seguindo os procedimentos de transferência do barramento I<sup>2</sup>C já mencionados.



**Figura 7 – O dispositivo de posicionamento global conectado ao corpo do Caipora que informa ao sistema posição, data e hora.**

### **3.6.3.3. Módulo SDI-12**

O módulo SDI-12 tem a função de receber sinais provenientes de sensores de saída digital que operem segundo o protocolo de comunicação SDI-12. É importante notar que aqui, o módulo e o protocolo têm sentidos distintos, embora o nome do módulo tenha sido dado em referência ao protocolo. O módulo utiliza menos recursos do que os que são oferecidos pelo protocolo. Possui apenas capacidade para realização de uma medida do tipo simples e requisição do status dos sensores. Não são suportadas operações especiais como a de calibração, que é feita por um equipamento à parte, e a de múltiplas medidas sequenciais. No protótipo foi utilizado um elemento sensor do tipo sonda de multiparâmetros, modelo Quanta, fabricada pela “Hydrolab”. São avaliados para o protótipo do Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto os sensores de Potencial Hidrogeniônico (pH), Potencial de Oxidação-Redução (ORP), Condutividade Específica (CE) e Temperatura. Entretanto, a sonda opera com sensores de outros

parâmetros e mesmo o Caipora, realiza operações com outras sondas. O módulo SDI-12 acessa a sonda, faz as requisições das medidas dos parâmetros e os armazena em seu buffer de saída também em formato proprietário. O formato tem largura máxima de 32 caracteres, conforme é explicado nas próximas seções. A transação de transferência dos dados para a memória principal é realizada pelo módulo de controle, seguindo os procedimentos de transferência do barramento I<sup>2</sup>C, que já foram mencionados.

#### **3.6.3.4. Módulo de Condicionamento**

O módulo de condicionamento tem função de adequar os sinais provenientes de sensores analógicos, adaptando estes para as especificações exigidas pelo módulo de Entrada. Possui quatro canais analógicos, com características de controle por tensão, e faixa de saída condicionada de 0 até 3.3V.

#### **3.6.3.5. Módulo de Entrada**

O módulo de Entrada realiza a conversão dos sinais analógicos provenientes dos sensores analógicos acoplados ao módulo de condicionamento para valores digitais. A resolução máxima do conversor Analógico para Digital utilizado pelo módulo de Entrada é de 10 bits, e este opera a uma frequência de amostragem de 1KHz. O módulo armazena em seu buffer de saída os dados que foram convertidos para um outro formato proprietário. O formato tem largura máxima de 24 caracteres fixo, conforme é explicado nas seções à frente. Estes dados são transferidos para a memória do sistema a partir do barramento I<sup>2</sup>C, e toda a operação é realizada pelo módulo de Controle [58].

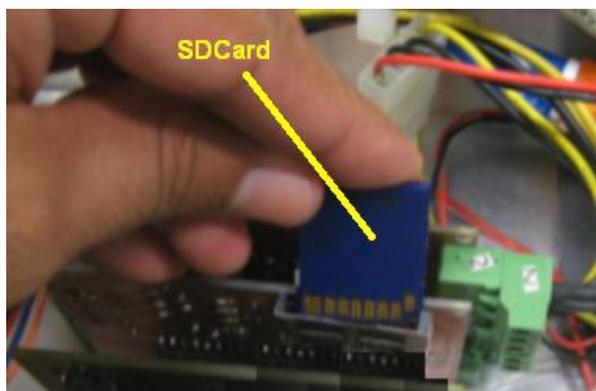
#### **3.6.3.6. Módulo de Armazenamento**

O módulo de armazenamento (SD Card) é utilizado para guardar os dados das medidas efetuadas pelos módulos de Entrada, Entrada RS232 e SDI-12, com intuito de proteção da informação contida nestes. O módulo de controle acessa os buffers de saída dos módulos de medida, requisitando os dados contidos neles e os transferindo para o módulo SD Card. Este opera com cartões de memória tipo Security Card (SD Card) de 2 GigaBytes de capacidade de armazenamento de dados. O módulo somente suporta transações básicas

como inicialização, leitura e escrita, dentro das especificações do protocolo de acesso a cartões de memória tipo SD, versão 1.1.

É utilizado como protocolo de comunicação entre o sistema e o cartão, o Serial Peripheral Interface (SPI) para realizar transações de dados com o SD Card. O protocolo foi escolhido devido ao fato de que este é o mais simples método para realizar comunicação com o cartão de memória [19].

O intuito dessa comunicação é possibilitar o armazenamento dos dados referentes às medidas feitas pelo módulo SDI-12 e RS232 nos blocos de memória do cartão. Cada bloco de memória do cartão é configurado de forma que a capacidade de armazenamento seja de 512 Bytes por bloco.



**Figura 8 – Inserção de uma memória SD Card no conjunto de eletrônica do Caipora, no conector do módulo de armazenamento SD Card.**

Na figura 9, que diz respeito ao conteúdo de um bloco de memória do cartão, podem ser identificados os dados gerados no módulo SDI-12 pela marcação **SDI()**, os dados gerados no módulo de Entrada RS232 pela marcação **GPS()**. Nessa medida não foi utilizado o módulo de Entrada, mas se tivesse sido, este seria identificado pela marcação **ADC()**. Também são utilizadas marcações para fins de controle operacional, como é o caso da marcação **CTR()**, que indica o número da amostra atual e a **TMP()**, que mostra os dados do relógio interno do sistema. Por exemplo, na figura 9, os dados da sonda multiparâmetro são identificados pela marcação **SDI()**, o “0” mostra a identidade da sonda, o “24.69” mostra a Temperatura medida, o “6.10” mostra o Potencial Hidrogeniônico da medida, o “4.420” mostra a Condutividade Específica da medida e o “2.35” mostra o Potencial de Oxidação-Redução medido. Sendo “999.9” o terminador da mensagem da sonda e “+” o separador dos parâmetros medidos.

```

CTR(0000000572)&SDI(0+24.69+6.10+4.420+2.35+999.9)&GPS($GPRMC,150504.0,V,2257.24
343,S,04310.43941,W,,250211,021.5,W*69$GPRMC,150504.)&TMP(0000001000)?????????
????????????????????????????????????????????????????????????????????????
????????????????????????????????????????????????????????????????????????
????????????????????????????????????????????????????????????????????????
????????????????????????????????????????????????????????????????????????
????????????????????????????????????????????????????????????????????????
????????????????????????????????????????????????????????????????????????

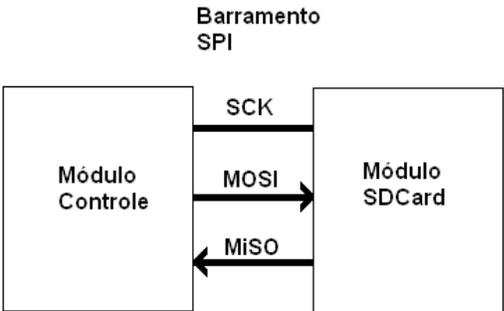
```

**Figura 9 – Exemplo de um bloco de memória contendo 512 bytes que foi gravado no SD Card.**

Para a interpretação dos dados do dispositivo de GPS pode ser utilizada qualquer tabela de referência do formato 0183-GPRMC [47]. O carácter interrogação (?) indica bytes que não foram utilizados no bloco do cartão de memória.

Se o sistema fizer 3 medidas, estas ocuparão um espaço de 3 x 512Bytes dentro do cartão de memória. Um cartão de 2GigaBytes pode armazenar cerca de 3.900.000 medidas. Considerando um tempo de amostragem de 25 segundos, o menor configurável no equipamento, o tempo necessário para que o espaço interno de armazenamento do cartão seja completamente ocupado, seria algo em torno de 1128 dias.

O “Serial Peripheral Interface (SPI)” é um protocolo de comunicação serial síncrono que é estruturado sob três linhas de comunicação, o “MISO (Master Input - Slave Output)”, “MOSI (Master Output – Slave Input)” e “CLK (Clock)”. Este barramento é essencial para operações com os dispositivos de armazenamento de dados de baixo custo (SD Card), comumente encontrados no mercado. Palavras de comando são enviadas ao cartão a partir da linha MOSI e as respostas a estes comandos são recolhidas a partir da linha MISO, sendo ambas as transferências sincronizadas pela linha CLK.



**Figura 10 – A arquitetura da troca de informações entre o módulo controle e o módulo SD Card pelo barramento SPI.**

Um comando de controle do SD Card, normalmente é formado por um cabeçalho que contém o número do comando (17 – Leitura simples, 24 – escrita simples etc), um argumento (se for uma operação de leitura – qual o bloco que é pretendido ler, se for uma operação de escrita – qual o bloco que é pretendido escrever etc) e um campo contendo um Code Redundance Check (CRC, para o controle de erros na comunicação dos dados). Na tabela 8 são apresentados alguns comandos que são utilizados pelo sistema em operações de acesso ao cartão de memória, seguidos de suas respectivas descrições.

**Tabela 8 – Alguns exemplos de comandos para um SD Card que são utilizados pelo módulo controle para acessar os dados no cartão de memória.**

Comando	Argumento	Resposta	Descrição
CMD0	Nada	R1	Comando de Reset do cartão
CMD16	Tamanho do Bloco [32 bits]	R1	Seleciona o tamanho do bloco de leitura e escrita
CMD17	Endereço do Bloco [32 bits]	R1	Lê um bloco simples
CMD24	Endereço do Bloco [32 bits]	R1	Escreve um bloco simples
CMD58	Nada	R3	Lê o registrador OCR (Operating Conditions Register).
ACMD41	Nada	R1	Inicializa o SD Card

A resposta a um comando enviado ao cartão é formada por um cabeçalho chamado de Rn Response, que indica o status do cartão e da comunicação. Comandos como os de leitura e de escrita utilizam um terceiro tipo de estrutura, chamadas de Tokens, aos quais carregam os dados que compõem os blocos de memória do cartão.

**Tabela 9 – Formação do “Token” de transferência de dados, sendo A os dados a serem transferidos ao cartão, B é o algoritmo de CRC7 calculado sobre o “Token” com largura de 7 bits**

Descrição	Start bit	Data	CRC	End bit
Valor	0	A	B	1

Na tabela 10 é apresentada a estrutura de formação de um comando de controle que é aceito pelo cartão em operações de leitura e escrita. Este comando precisa ter 48 bits de largura. Todos os comandos utilizados para acesso ao cartão podem ser formados a partir desta estrutura.

**Tabela 10 – Formação dos comandos de controle do SD Card, que possui largura de 48 bits total, A é o número do comando (CMD17, A = 17), B é o argumento (sendo um comando de leitura, o tamanho do bloco é 512 e caso se queira ler o bloco 5, B = 5x512), e C é o algoritmo de CRC7 calculado sobre o comando com largura de 7 bits.**

<b>Bits do comando</b>	47	46	[45:40]	[39:8]	[7:1]	0
<b>Largura do campo em bits</b>	1	1	6	32	7	1
<b>Valor do campo</b>	0	1	A	B	C	1
<b>Descrição</b>	Bit inicial	Bit de transmissão	Índice do comando	Argumento	CRC	Bit final

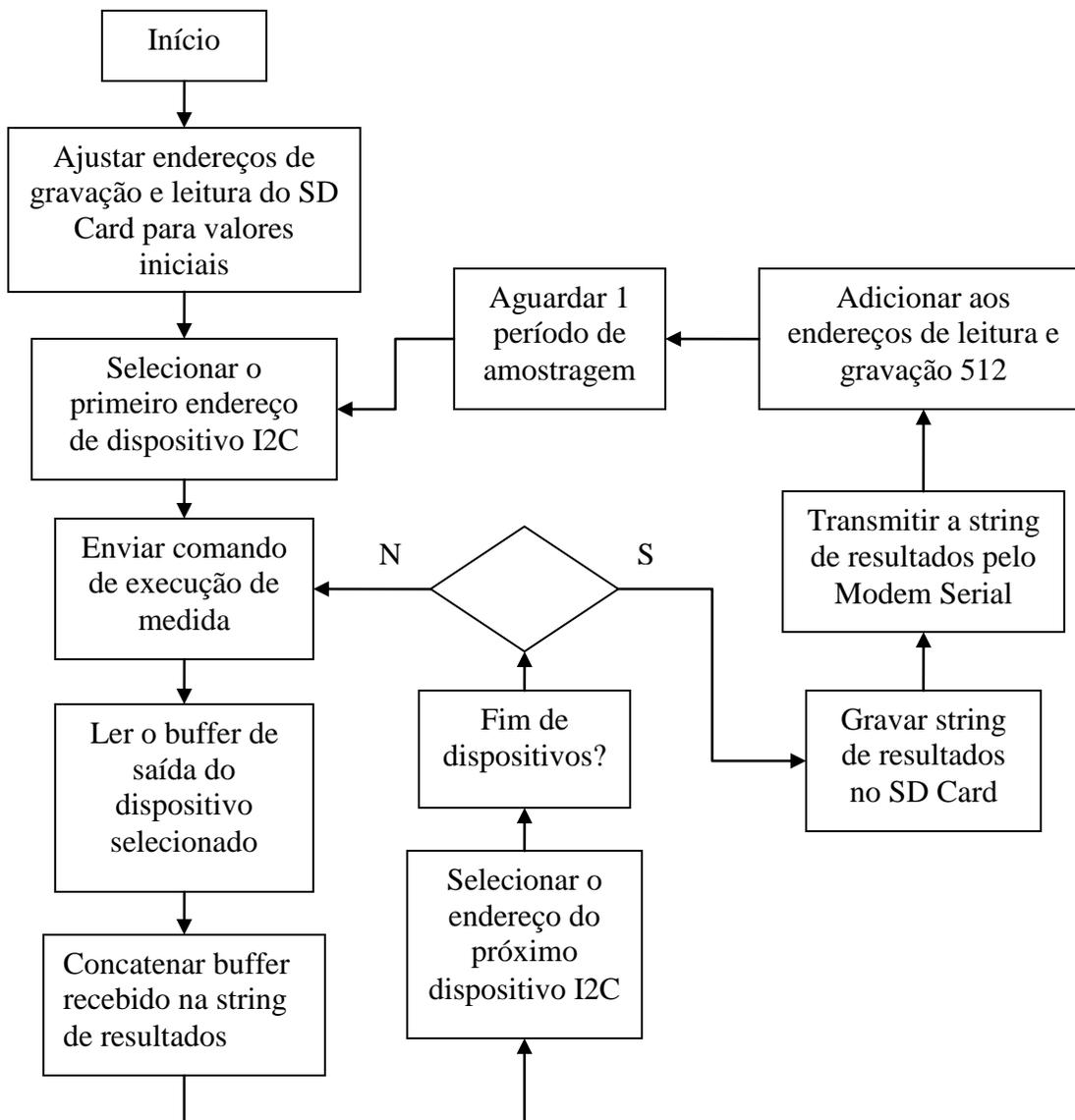
Um problema encontrado na fase de desenvolvimento do protótipo foi o de criar um software de controle que pudesse realizar a transferência dos dados dos módulos que fazem as medidas (Entrada, Entrada RS232 e SDI-12) para o módulo SD Card [44]. Essa transação é realizada a partir do módulo de controle, que pode ser considerado um limitador para o processo de transferência. Na concepção do sistema Caipora, o processamento é distribuído, o que possibilita utilizar componentes mais simples. Os microcontroladores utilizados para essa tarefa são os da família HC-08. Estes possuem recursos limitados. Um exemplo disto é a sua memória de processamento, que possui apenas 512 Bytes de largura. A memória de processamento é onde o microcontrolador carrega todas as variáveis utilizadas em seu software de controle, incluindo as variáveis dos buffers de entrada e saída das interfaces de comunicação. Essas características são compensadas pelo seu baixo custo, versatilidade e suas interfaces de comunicações incorporadas.

O microcontrolador do módulo de controle possui interfaces do tipo I<sup>2</sup>C, SPI e Serial Assíncrona, que funcionam de maneira simultânea. Os módulos de medida são acessados a partir da interface I<sup>2</sup>C, e os dados desses módulos devem ser requisitados, concatenados e então transferidos para o módulo SD Card. Um buffer que pudesse comportar os dados oriundos desses módulos necessitaria de algo em torno de 250 Bytes da memória de processamento. Isso significa comprometer metade do espaço total para processamento no chip apenas com os processos da interface I<sup>2</sup>C. A interface de comunicação Serial Assíncrona necessita de um buffer de pelo menos 50 Bytes, e o mesmo número de bytes ainda é necessário para o funcionamento da interface SPI. Restando para

as variáveis de processo do software do módulo de controle, apenas 150 Bytes. Nessas condições, o software do módulo de controle necessitaria ser o mais simples possível, de tamanho mínimo e que utilizasse apenas 150 Bytes da memória de processamento ao ser executado. Contudo, fazer um software que pudesse acessar 3 interfaces I<sup>2</sup>C, transferir esses dados para uma interface SPI e ainda trocar informações com uma interface Serial Assíncrona se tornou inviável utilizando apenas 150 Bytes de espaço de processamento.

A arquitetura do software foi concebida da seguinte maneira: Definiu-se uma variável de buffer (buffer de medida), que pudesse comportar as informações dos 3 módulos de medida; Uma variável de buffer para a comunicação serial assíncrona e uma variável de buffer para a comunicação SPI; O programa inicia a comunicação com a primeira interface I<sup>2</sup>C, enviando um pedido de execução de uma amostra; Aguarda um tempo até que a amostra seja concluída; Requisita os dados do buffer de saída do módulo de medida em questão e os armazena no buffer definido para as medidas. Repetindo esse processo duas vezes para os dois outros módulos e concatenando os dados referentes a cada módulo no final da variável definida para armazenar as medidas. Após isso, formata essa variável, para facilitar o processo de interpretação dos dados, e então, transfere os dados para a interface SPI com auxílio do buffer do canal, gravando estes dados em um bloco da memória do cartão.

De outro modo, pode também requisitar os dados em um bloco de memória do cartão, a partir do canal SPI, armazená-los no buffer definido para as medidas e enviar estes pela interface Serial Assíncrona, com auxílio do buffer do canal. Estes dados são transferidos do canal serial para uma interface de transmissão de rádio, e então, são enviados para uma central remota de aquisição e análise dos dados.



**Figura 11 – Fluxograma do primeiro procedimento, que depois foi descartado, de transferência de dados dos medidores até o cartão e do cartão a interface serial assíncrona.**

Essa arquitetura do software de controle teve de ser abandonada, pois as variáveis que eram necessárias ao gerenciamento desse processo precisavam de um espaço de processamento maior do que o que era permitido com a configuração. Detalhes do software de controle podem ser vistos no fluxograma da figura 11.

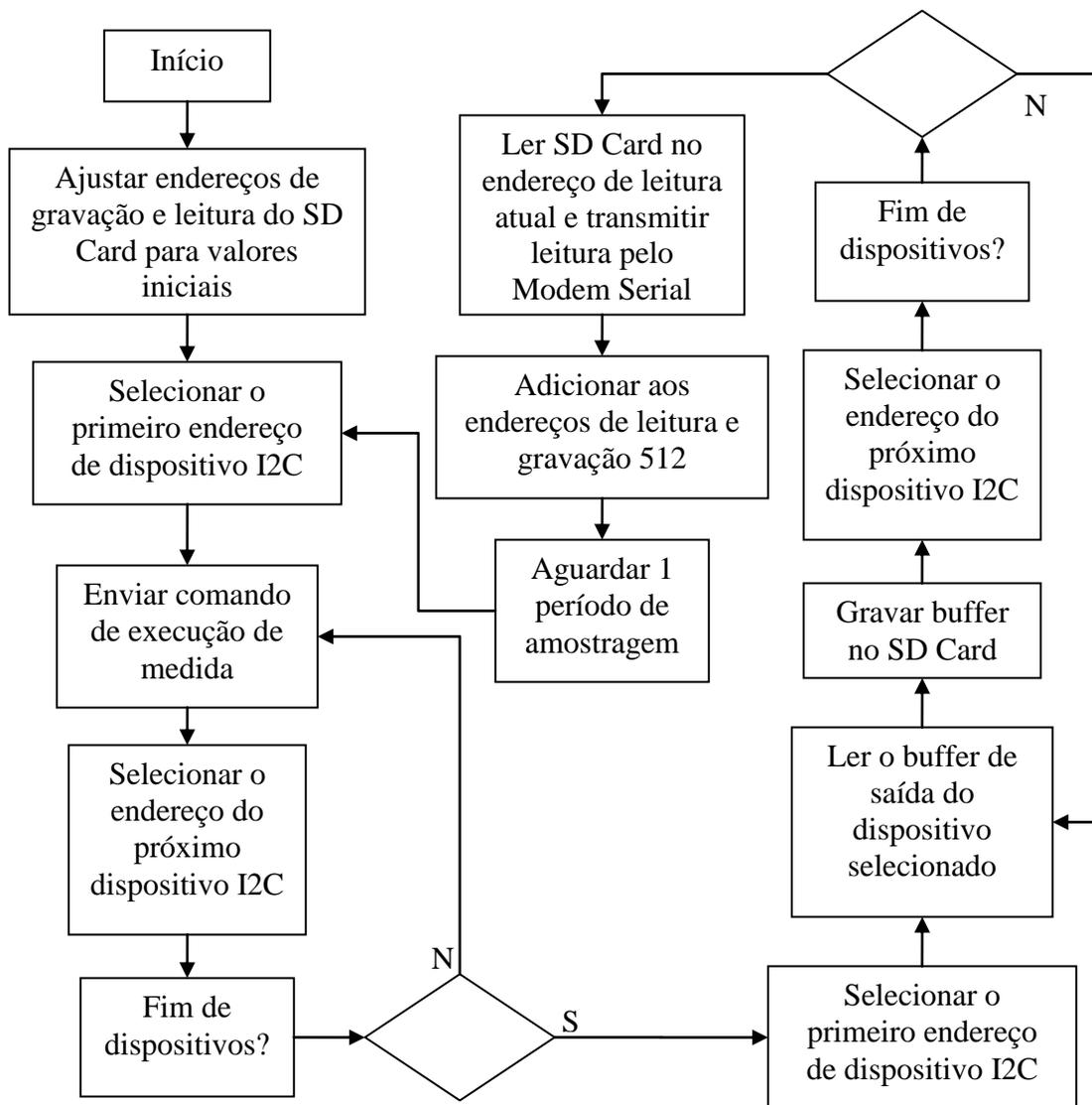
Na configuração posterior a esta, não foi utilizado um buffer para o armazenamento dos dados oriundos dos módulos de medida. Fez-se uso de uma estratégia, que consiste em

gravar os dados no cartão assim que estes cheguem ao módulo de controle. Isto contorna a limitação de memória para processamento. Desta maneira diminuimos a quantidade de dados armazenados na memória do microcontrolador. Nesse ponto, pode ser observado um compromisso entre a complexidade do software de controle e o recurso de memória que este necessita. Restando a questão de sincronizar os tempos de acesso aos módulos I<sup>2</sup>C, o tempo de escrita no SD Card, da ordem de 800 ms, e os tempos de acesso aos dispositivos de medida, da ordem de 600 ms. Nesse intuito, o fluxograma anterior foi alterado de maneira que as operações de amostragem e leitura, em um mesmo módulo, fossem feitas paralelamente, como é visto na figura 12. Na nova configuração, a requisição de uma amostragem é feita para todos os módulos de medida seqüencialmente. Com isso, os tempos que os módulos de medida necessitavam para acessar os dispositivos medidores não representariam mais um problema para o sincronismo da troca de informações. Restando somente, a problemática de sincronizar os tempos necessários ao acesso aos buffers de saída de cada módulo de medida.

A operação de pós-formatação do buffer de medida não foi mais possível, com isso, os módulos de medida passaram a fazer a formatação dos seus próprios dados. Ou seja, as informações contidas nos buffers de saída dos módulos de medida já estão formatadas. Um tempo é aguardado de maneira que todos os módulos concluam suas operações de amostragem e completem seus buffers de saída com os dados da medida. O SD Card é preparado para a operação de escrita, e então se inicia a leitura do primeiro módulo de medida. Assim que os caracteres são recebidos, estes são simultaneamente gravados no SD Card. Quando os dados do buffer de saída do primeiro módulo de medida são totalmente transferidos, outro módulo de medida é acessado e começa um processo semelhante ao descrito anteriormente. E assim continua, até que o buffer de saída do último módulo de medida seja lido completamente. Tendo sido o último carácter gravado no SD Card, a comunicação com o dispositivo é encerrada, e assim, o processo de gravação dos dados no cartão é concluído.

O processo reverso de transferência dos dados do SD Card, até a interface serial assíncrona, é feito de maneira simultânea. Quando um carácter chega ao canal SPI oriundo do SD Card, este é enviado diretamente ao canal Serial Assíncrono. Todos os caracteres que são recebidos no processo de leitura do SD Card passam por esse processo.

A transferência dos dados do canal serial assíncrono até a interface de transmissão de dados é feita de maneira semelhante nos dois processos.



**Figura 12 – Novo fluxograma de procedimento de transferência de dados dos medidores até o cartão e do cartão a interface serial assíncrona.**

O sistema de transferência de dados é composto principalmente por um modem “Wireless Transceiver” fabricado pela Freewave. Este modem tem como principal função, criar um link entre a saída de dados do Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto e um microcomputador. Existe ainda um software de aquisição de dados que gerencia o sistema e que se encontra instalado no microcomputador. O modelo

do equipamento de rádio-modem é o DGR-115, que no sistema é utilizado em par com outro modem de mesmo modelo. Algumas especificações desse equipamento são mostradas na tabela 11. Foi escolhido um link por rádio modem, embora, para esta tarefa poderiam ter sido utilizadas plataformas de comunicação diversas, como por exemplo, dispositivos de link GPRS, dispositivos TCP/IP 802.11 sem fio, modem por satélite etc.

**Tabela 11 - Especificações sobre o modem wireless transceiver que é utilizado para receber e enviar os dados entre o instrumento de medição e o software de aquisição no sistema Caipora [48].**

<b>Especificações</b>	
<b>Frequência</b>	902 a 928 MHz
<b>Potencia de transmissão</b>	400mW (29.8dBm)
<b>Modulação</b>	GFSK 120kBs
<b>Interface</b>	RS-232 1200 Baud to 115.2 KBaud
<b>Corrente de transmissão</b>	650 ma at 12V for 1W
<b>Corrente em espera</b>	65ma at 12 V
<b>Corrente de recepção</b>	100 ma at 12V
<b>Modos de operação</b>	Point-to Point Point-to-Multipoint Peer-to-Peer Store and Forward Repeater

Para suprir a necessidade de consumo do sistema, há um módulo de alimentação que tem papel de gerar e distribuir a tensão e a corrente para que os outros módulos do sistema possam operar dentro das especificações necessárias. As tensões distribuídas aos módulos do sistema por esse módulo são 12V, +5V, -5V e 3.3V, com capacidade de fornecimento de corrente de 450mA total. Os principais elementos eletrônicos que compõem o módulo de alimentação são reguladores de tensão como o LM7812, LM7833 etc.

Faz parte ainda do Caipora um conjunto de componentes que mantêm o sistema em funcionamento mesmo que o fornecimento de energia da rede elétrica ao sistema seja cortado. Este conjunto é formado por três elementos, uma bateria com especificações de 12 V<sub>DC</sub> e 6AH, uma fonte de alimentação de entrada bi-volt e saída de 12 V<sub>DC</sub> de 500mA de corrente máxima e um carregador de baterias com as especificações de acordo com o funcionamento dos outros dispositivos. Na figura 13 é possível identificar estes componentes do sistema.

O conjunto opera de forma automática e entra em funcionamento assim que a rede de alimentação externa é desconectada do equipamento. Ao ser conectada a rede elétrica, o processo de carregamento da bateria inicia-se automaticamente.



**Figura 13 – O carregador de bateria a esquerda, a bateria ao centro e a fonte de alimentação à direita.**

A tabela 12 mostra o consumo de corrente a partir das especificações de consumo máximos de cada dispositivo no sistema, e uma primeira estimativa do consumo total do sistema é apresentada.

**Tabela 12 – Consumo de corrente dos principais módulos do sistema.**

<b>Parte</b>	<b>Consumo</b>
Radio Modem	80 mA
Eletrônica Embarcada	85 mA
Sonda Multiparâmetro	50 mA
<b>Total</b>	<b>215 mA</b>

#### **3.6.4. Sonda multiparâmetro**

Um incremento importante na implementação do projeto foi à utilização da sonda multiparâmetro Quanta da Hydrolab. Esta sonda possui um conjunto de sensores integrados

na mesma estrutura, que são adaptados a medidas em ambientes aquáticos.



**Figura 14 – Sonda multiparâmetros modelo Quanta da Hydrolab, com sensores de temperatura, pH, condutividade e ORP.**

As características da sonda foram fornecidas pelo fabricante e os parâmetros utilizados no protótipo podem ser encontrados na tabela 13, dados sobre as características estáticas dos sensores de Temperatura, Condutância Específica, Potencial Hidrogeniônico e Potencial de Oxidação-Redução são mostrados. Na tabela 14 é possível visualizar as características estáticas de alguns parâmetros que não estão sendo utilizados pelo protótipo na configuração atual, embora sejam suportados e possam ser acoplados ao sistema de maneira prática.

**Tabela 13 - Características dos sensores que a sonda utiliza para a realização das medidas [46].**

Parâmetros	Faixa	Acurácia	Resolução
Temperatura	-5°C to 50°C	±0.2°C	0.01°C
Condutância específica	0 to 100 mS/cm	±1% of reading ±1 count	4 digits
pH	2 to 12 units	±0.2 units	0.01 units
ORP	-999 to 999 mV	±25 mV	1 mV

Em relação às características dinâmicas do sistema, temos que o tempo de resposta nas operações de leitura do canal de Entrada analógica, leitura do canal de Entrada RS232, leitura do canal SDI-12, armazenamento dos dados adquiridos na mídia SD e transmissão dos dados, acarretam em um tempo mínimo necessário entre duas amostragens consecutivas, de aproximadamente 25 segundos. O tempo necessário para que o sistema realize cada amostragem é limitado pelas características de fabricação dos sensores utilizados, como a velocidade de comunicação, processamento interno dos sensores, entre outros.

**Tabela 14 – Características dos sensores que podem ser acoplados a sonda para a realização de medidas [46].**

Parâmetros	Faixa	Exatidão	Resolução
Oxigênio dissolvido	0 to 50 mg/L	±0.2 mg/L <20 mg/L ±0.6 mg/L > 20 mg/L	0.01 mg/L
Profundidade 1	0 to 10 m	±0.003 m (±0.01 ft)	0.001 m
Profundidade 2	0 to 25 m	±0.1 m	0.1 m
Profundidade 3	0 to 100 m	±0.3 m	0.1 m
Turbidez	0 to 1000 NTU	±5% of reading ±1 NTU	0.1 NTU < 100 NTU 1.0 NTU ≥100 NTU
Salinidade	0 to 70 PSS	±1% of reading ±1 count	0.01 PSS

Na tabela 15 são apresentados os tempos gastos para a transferência de dados entre os módulos. Estes tempos foram estimados a partir de dados teóricos extraídos dos manuais de funcionamento dos dispositivos utilizados.

**Tabela 15 – Tempos necessários para a realização das tarefas de transferência de dados entre os módulos.**

Módulo	Barramento	Bits por carácter	Frequência do barramento [bits / s]	Carácteres	Transferência [s]
SDI-12	I <sup>2</sup> C	25	10000	100	0.25
SDI-12	SDI-12	15	1200	100	0.625
RS232	I <sup>2</sup> C	25	10000	100	0.25
RS232	RS232	15	9600	100	0.15625
Controle	SPI	15	10000	550	0.825
Controle	AS	15	9600	512	0.8

Existe um recurso de divisão de tempo na estrutura do software de controle que pode ser re-programado, para que o tempo de amostragem do sistema seja alterado. Isso possibilita a seleção de tempos de amostragem.

$$T_a = n \cdot (25) \quad (7)$$

Sendo  $T_a$  o tempo de amostragem em segundos e  $n$  um número inteiro maior que zero. O tempo mínimo de amostragem é de 25 segundos e o tempo máximo de 1 hora. No

trabalho apresentado, as medidas foram feitas com  $n$  igual a 2, o que resulta em um tempo de amostragem da ordem de 1 minuto.

## 4. Metodologia

Ao longo do trabalho, foi definido que um sistema de instrumentação que tenha aplicação para ações de monitoramento ambiental deve ser apto a medir os parâmetros físico-químicos, que representem as características de um determinado meio ambiente. A fim de indicar alterações em sua composição natural.

Em qualquer sistema de medida, é desejável que se possa ter um alto grau de acurácia nos valores das amostras, ou pelo menos, que se possa medir dentro de uma faixa de tolerância aceitável. É inevitável a ocorrência de erros nos processos de medição, o que pode ser feito é a redução para níveis aceitáveis. Os erros podem influenciar no resultado de uma medida de maneira sistemática ou aleatória. Desvios no valor da medida são introduzidos pela falta de calibração, efeitos de interferências presentes nos meios medidos ou mesmo pela forma que o experimentador utiliza o equipamento. Os desvios são freqüentemente causados por defeito ou pela falta de calibração do equipamento. A manutenção e a calibração são etapas indispensáveis para os sistemas de medição.

Um processo sistemático para a realização da medida foi adotado para o Caipora, com o objetivo de padronizar a utilização do sistema. A vantagem de se ter uma padronização na realização da medida é que erros sistemáticos podem ser evitados.

A seguir, é apresentada a metodologia adotada para a utilização do dispositivo de medida.

### 4.1. Calibração do sistema

Para que o sistema de instrumentação possa vir a apresentar medidas confiáveis, é essencial a calibração do mesmo. Um dispositivo de medição descalibrado resulta em um conjunto de medidas ao acaso, que não possuem qualquer significado. Para garantir a confiabilidade dos dados é extremamente necessário o processo de calibração.

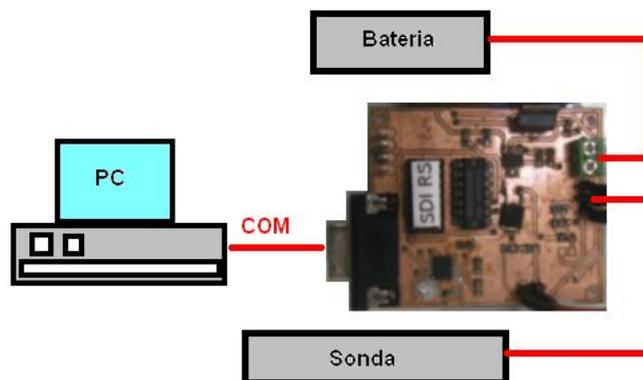
Segundo a literatura[57], “A calibração é o conjunto de operações que estabelecem, em condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição, ou valores representados por uma medida materializada, um material de referência, e os correspondentes valores realizados por padrões”.

No sistema Caipora, as grandezas de pH, de ORP, de Condutividade Específica e de Temperatura deverão ser calibradas de acordo com as especificações do fabricante dos sensores. Na tabela 16 podem ser encontradas soluções químicas de valores conhecidos e que permitem calibrar os parâmetros utilizados. Em nota, o fabricante afirma que o parâmetro de Temperatura dispensa a calibração neste tipo de sensor. Os efeitos dessa grandeza são bem conhecidos no material que compõe o sensor. Permitindo assim, que o valor da grandeza seja estimado com acurácia o suficiente para aplicações em instrumentação.

**Tabela 16 - Soluções padrão para calibração da sonda para os parâmetros de pH, ORP e Condutividade Específica, conforme recomendado pelo fabricante [46].**

Parâmetro	Solução (1)	Solução (2)
CE	Água Deionizada SPC = 0 S/cm	Água Deionizada SPC = 40 S/cm
pH	Tampão pH 7	Tampão pH 10 ou 4
ORP	Solução padrão 228 mV	Solução padrão 475 mV

O software de controle do módulo SDI-12 não permite a ação de calibração dos sensores a partir do Caipora, então essa tarefa é realizada por um dispositivo de calibração que foi desenvolvido com esse objetivo. Detalhes do dispositivo podem ser vistos na figura 15, bem como as conexões que este faz com o sistema de baterias, com a sonda e com o terminal de controle.



**Figura 15 – Conexões do dispositivo de calibração com o microcomputador, com a alimentação e com a sonda na preparação do processo de calibração.**

Um terminal de controle (microcomputador pessoal) pode ser utilizado para gerenciar toda a operação de calibração. É necessário que este possua uma porta de comunicação serial do tipo COM e um programa que possibilite o acesso a essa interface de comunicação. Os passos básicos para a utilização do dispositivo de calibração são apresentados a seguir.

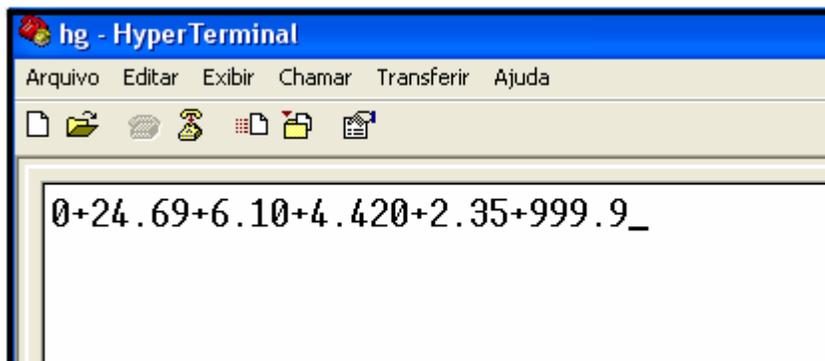
Inicialmente, as conexões apresentadas na figura 15 devem ser efetuadas, para possibilitar um correto funcionamento do dispositivo de calibração. Com as ligações feitas, o terminal de transferência de dados deve ser aberto e a porta de comunicação onde o dispositivo de calibração está conectado deve ser selecionada nas opções de configuração do terminal de dados.



**Figura 16 – Seleção da porta de comunicação serial do microcomputador para ser usada pelo terminal.**

Na tela principal do terminal, ao ser enviado o comando “1” (teste de leitura da sonda), como resposta, deverá ser recebido uma seqüência de caracteres semelhante a essa, “0+24.69+6.10+4.420+2.35+999.9”. Essa seqüência representa uma medida feita pela sonda, e a interpretação dos parâmetros é especificada no capítulo 3. São necessárias

algumas repetições do comando até que a sonda possa estabilizar os valores da medida efetuada.



**Figura 17 – Sequência de caracteres recebida pelo terminal após o envio do carácter de comando “1”.**

Após o processo de testes das interfaces de comunicação, é necessária à lavagem dos sensores da sonda e a retirada das crostas de material orgânico que estiverem depositados sobre os sensores. Para isso, deve ser utilizado álcool isopropílico na limpeza dos sensores. A operação deve ser efetuada com atenção, devido à fragilidade mecânica dos sensores. Estando a sonda livre dos materiais indesejáveis, é preciso lavar os sensores com água Mili-Q (água ultrapura, deionizada por um equipamento modelo Mili-Q), para que o álcool seja retirado e não influencie no processo de calibração.

Muitas das soluções de calibração são mantidas a temperaturas baixas, e é preciso ter ciência de que a ação de calibração deve ser conduzida com as substâncias de calibração à temperatura ambiente de 25°C como é especificado pelo fabricante.

O processo de calibração começa pelo sensor de pH. Para isso é necessário colocar aproximadamente 200 mL da solução (1), tampão de pH 7 (solução padrão de pH = 7 unidades, que serve como padrão de calibração para sensores de pH), no recipiente de calibração da sonda. A solução tampão é uma substância que possui valor conhecido de um parâmetro físico-químico dentro de uma determinada tolerância. O recipiente então deve ser travado ao corpo da sonda, tendo o cuidado de verificar se todos os sensores foram completamente mergulhados na solução de calibração. É necessário aguardar um tempo para a estabilização dos valores, sendo válida a verificação dos parâmetros a partir do programa terminal de dados, utilizando o comando “1”. Ao estabilizar o valor da leitura dos

sensores, o comando “2” (calibração do pH na solução padrão (1)) deve ser enviado a sonda. Ao fim dessa operação, o terminal deverá receber a seqüência de caracteres “Cal\_pH7\_OK”, informando que a calibração do parâmetro foi bem sucedida. Os sensores devem ser limpos novamente com água pura (mili-Q), bem como o recipiente utilizado para a calibração. Deve se adicionar 200 mL da solução (2), tampão pH 10 (solução padrão de pH = 10 unidades, que serve como padrão de calibração para sensores de pH), no recipiente de calibração e acoplá-lo ao corpo da sonda. O comando “3”, calibração do pH na solução padrão (2), precisa ser enviado a sonda, obtendo a resposta “Cal\_pH10\_OK”. Essa mensagem indica que a calibração do parâmetro foi bem sucedida.

Os mesmos procedimentos de calibração do pH podem ser utilizados para calibrar os sensores de Condutividade Específica e ORP. Tendo o cuidado que as soluções devem ser escolhidas de acordo com o parâmetro que se deseja calibrar, e o comando que executa a calibração varia em função do parâmetro. A tabela 16 deve ser consultada para a escolha da solução adequada, enquanto que a tabela 17 deve ser consultada para a escolha do comando adequado.

**Tabela 17 – Comandos enviados ao dispositivo de calibração e a sua respectiva função nas operações de calibração do sistema.**

<b>Comando:</b>	<b>Função:</b>	<b>Resposta</b>
“1”	Medida para teste da sonda.	[Valor da medida]
“2”	Calibração do pH na solução padrão (1).	Cal_pH7_Ok
“3”	Calibração do pH na solução padrão (2).	Cal_pH10_Ok
“4”	Calibração do ORP na solução padrão (1).	Cal_ORP228_Ok
“5”	Calibração do ORP na solução padrão (2).	Cal_ORP475_Ok
“6”	Calibração da CE na solução padrão (1).	Cal_CE0_Ok
“7”	Calibração da CE na solução padrão (2).	Cal_CE40_Ok

Uma observação pertinente é que o único parâmetro que necessita de 2 pontos de calibração é o pH, para os outros dois parâmetros é utilizado somente 1 ponto.

## 4.2. Configurando o sistema para experimento

Parte importante do processo de utilização do sistema é a do conhecimento sobre a montagem e as partes. Devido ao fato de que a má utilização pode vir a introduzir erros nas medidas, é essencial que o experimentador possua o conhecimento necessário para manusear o equipamento. Uma metodologia de utilização do sistema é descrita a seguir, com intuito de padronizar e otimizar operações com o dispositivo. As figuras 18 e 19 mostram a estrutura física e as conexões do sistema.

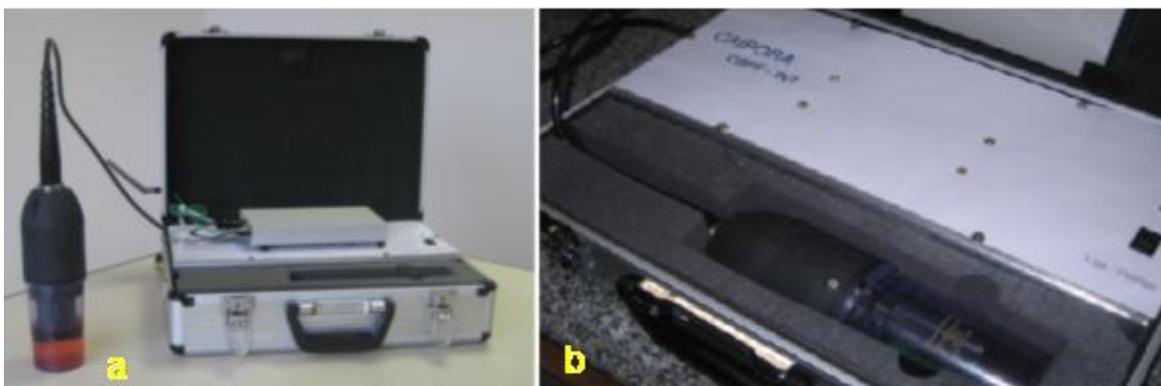


Figura 18 – Visão frontal, à esquerda, e a visão interna, à direita, do conjunto do sistema Caipora montado sobre a estrutura de uma maleta.

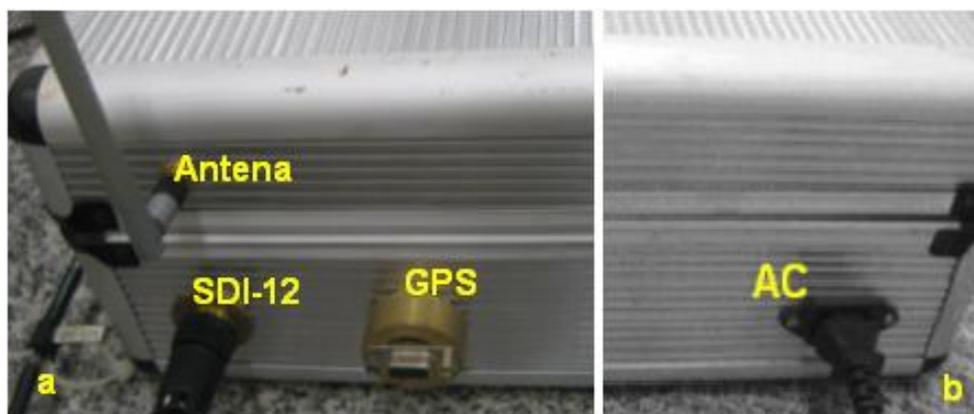
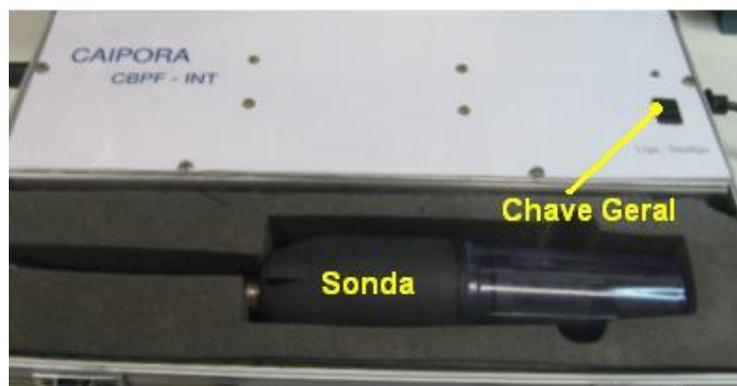


Figura 19 – O conector SDI-12, o dispositivo GPS e a antena do modem encontram-se na parte lateral esquerda da maleta, à esquerda. O conector de alimentação da rede elétrica encontra-se na parte lateral direita da maleta, à direita.

Para facilitar o transporte das partes, o corpo físico do sistema Caipora está estruturado na forma de uma maleta. Nesse conjunto estão os elementos sensores, os

módulos eletrônicos do Caipora, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), o Rádio modem, o SD Card, a Bateria, o Carregador de Baterias e a Fonte de Alimentação, como mostrado na figura 19a. O conector de alimentação da rede de tensão alternada está localizado na parte externa da maleta, na posição lateral direita (19b). Na parte interna do equipamento, encontra-se a chave geral de controle do sistema. Um local é disponibilizado para o armazenamento da sonda, este espaço é forrado com espumas de proteção para aliviar possíveis impactos sobre os sensores, figura 20. A operação de montagem inicia-se localizando as posições físicas dos conectores onde as partes serão acopladas.



**Figura 20 – Visão interna da estrutura de transporte e local de armazenamento da sonda.**



**Figura 21 – Corpo do sistema Caipora, a vista da estrutura interna que mostra a localização do radio modem, à direita (b), e as conexões para o funcionamento do mesmo, à esquerda (a).**

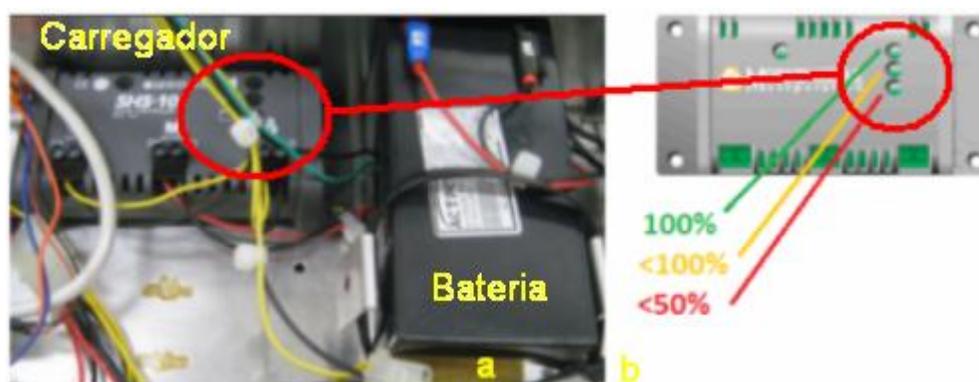
Toda a comunicação que o equipamento realiza com dispositivos externos é feita pelo Rádio Modem do sistema. Este necessita fazer conexões com o bloco de alimentação,

com a antena externa e com o bloco de transferência de dados do sistema para o seu correto funcionamento. A figura 21 mostra detalhes das conexões feitas pelo Rádio Modem.



**Figura 22 – A conexão da sonda com o Caipora no conector SDI-12, este conector está ligado fisicamente ao módulo SDI-12.**

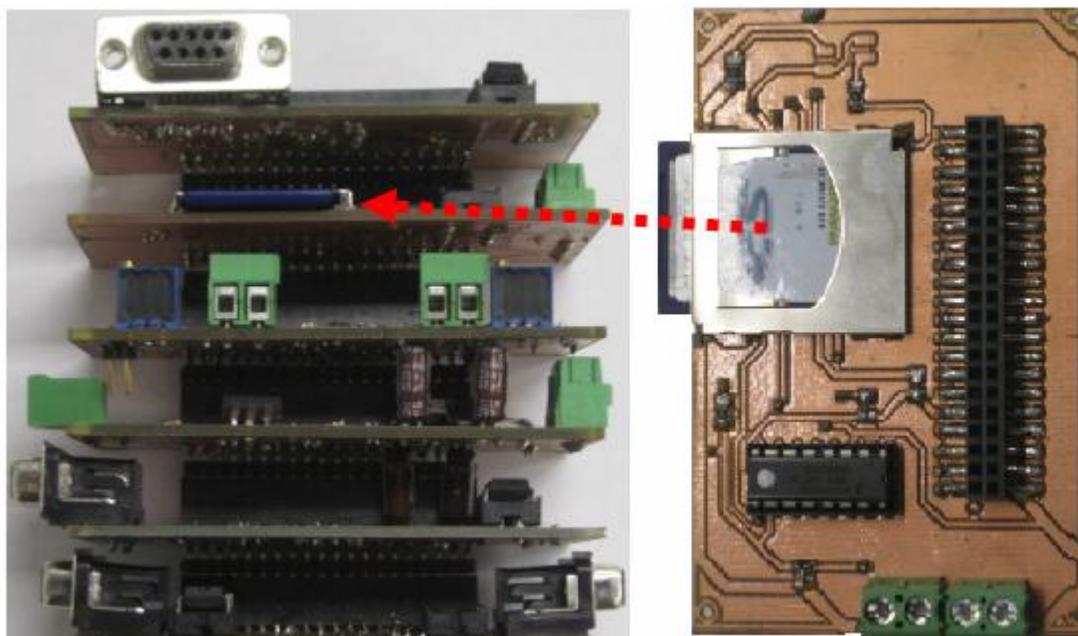
A conexão da sonda ao sistema Caipora é feita a partir de um conector da entrada que possui ligação física com o módulo SDI-12. A figura 22a mostra o conector SDI-12 da sonda, acoplado ao conector de entrada SDI-12 do sistema de instrumentação. O dispositivo do Sistema de Posicionamento Global (GPS) é acoplado ao Caipora a partir de um conector serial que possui ligação física com o módulo de entrada RS232. A figura 22b mostra o conector do dispositivo de GPS, acoplado a entrada RS232 do sistema.



**Figura 23 – Controlador de carga da bateria, à esquerda, e a bateria, detalhe à direita, montados na estrutura e o mostrador indicativo de nível do dispositivo de carregamento da bateria.**

O conjunto de eletrônica, a bateria, o carregador de bateria e o cartão de memória localizam-se sob a tampa interna principal. Para acesso a esses componentes, a tampa deve

ser desparafusada e retirada de sua posição. Ao fim desse processo, é possível a identificação desses componentes. A figura 23 mostra detalhes da bateria e do carregador de bateria (22a) e informa como interpretar a leitura de carga na bateria (22b).



**Figura 24 – Local para a inserção do SD Card junto ao módulo SD Card, à esquerda, são apresentados os módulos do sistema e a direita uma visão detalhada do módulo SD Card.**

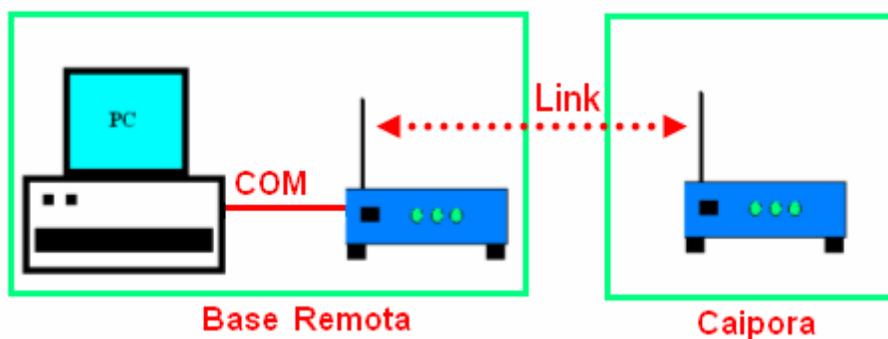
A operação de montagem do Caipora consiste em acoplar todos os componentes mostrados anteriormente. Deve ser checada a presença do cartão de memória junto ao módulo SD Card. A localização do cartão junto ao módulo SD Card é possível ser vista na figura 24. A estrutura eletrônica do circuito é bem complexa devido à sua arquitetura modular e a quantidade de tarefas que ela realiza, como por exemplo, armazenamento em mídia SD, comunicação SDI-12, SPI, I2C, Serial assíncrona, entre outras.

### **4.3. Configurando o Software para o experimento**

O software de aquisição de dados é quem gerencia e decodifica as sentenças enviadas pelo sistema de instrumentação ao sistema de controle. Este separa as sentenças

em campos bem definidos, e as armazena em arquivo, de maneira que possam ser corretamente interpretadas.

A comunicação entre o software de aquisição e o Caipora é feita a partir de dois Rádio-Modens operando na mesma frequência. A figura 25 mostra o link criado a partir dos dois rádios e o dispositivo externo de controle (microcomputador). Na figura pode ser percebido que o microcomputador disponibiliza uma porta de comunicação (COM) ao rádio da base remota para receber os dados transmitidos pelo rádio do Caipora.



**Figura 25 – Link de transferência dos dados do Caipora até o software de aquisição.**

Uma arquitetura do tipo Ponto a Ponto (“Point-to-Point”) foi utilizada entre os dispositivos transceivers, embora, a intenção futura fosse a de utilizar uma arquitetura de transmissão do tipo Multiponto a Ponto (“MultiPoint-to-Point”). Essa configuração possibilitaria que o sistema fosse capaz de utilizar múltiplas estações de coleta remota, e os dados destas fossem armazenados em uma base remota.

O programa foi elaborado com auxílio da ferramenta de programação LabView, contudo, o software poderia ter sido escrito dentro de outra ferramenta e a partir de qualquer outra linguagem de programação, como por exemplo, Java, C++, PHP entre outras.

O software de aquisição possui diversas funcionalidades, das quais se destacam as de configuração, armazenamento e a das medidas em geral. Estas funcionalidades estão organizadas em painéis e abas, as quais possuem nomes que facilitam a identificação.

A aba que possui nome “Configurações”, figura 26, possibilita a seleção, a configuração e o monitoramento dos dados da porta de comunicação do computador que será utilizada para a recepção dos dados do Caipora.



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
0000000001	0000007292	24.570000	6.130000	0.000000
0000000002	0000012129	24.570000	6.130000	0.000000
0000000003	0000016967	24.570000	6.130000	0.000000
0000000004	0000021805	24.570000	6.130000	0.000000
0000000005	0000026643	24.570000	6.130000	0.000000
0000000006	0000031481	24.570000	6.130000	0.000000
0000000007	0000036319	24.570000	6.130000	0.000000
0000000008	0000041162	24.570000	6.130000	0.000000
0000000009	0000045974	24.570000	6.110000	2.387000
0000000010	0000050817	24.570000	6.110000	2.387000
0000000011	0000055650	24.570000	6.110000	2.387000
0000000012	0000060503	24.570000	6.110000	2.387000
0000000013	0000065346	24.570000	6.110000	2.387000
0000000014	0000070189	24.570000	6.110000	2.387000
0000000015	0000075032	24.570000	6.110000	2.387000
0000000016	0000079875	24.570000	6.110000	2.387000
0000000017	0000084718	24.570000	6.110000	2.387000
0000000018	0000089559	24.570000	6.110000	2.387000
0000000019	0000094301	24.570000	6.110000	2.387000
0000000020	0000099230	24.540000	6.100000	2.340000
0000000021	0000104083	24.540000	6.100000	2.340000
0000000022	0000108926	24.540000	6.100000	2.340000
0000000023	0000113769	24.540000	6.100000	2.340000
0000000024	0000118612	24.540000	6.100000	2.340000
0000000025	0000123455	24.540000	6.100000	2.340000

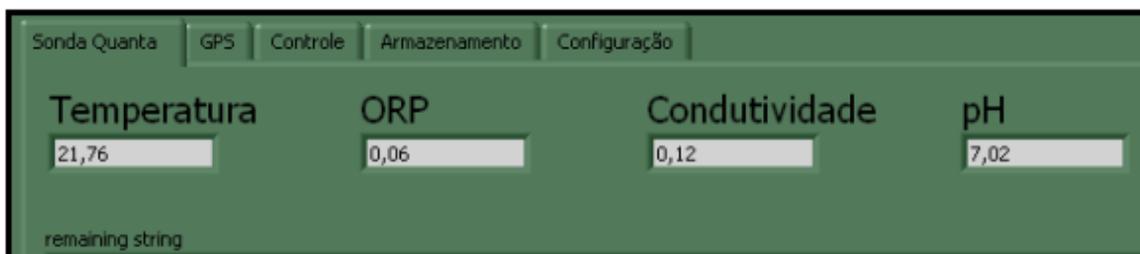
**Figura 28 – O arquivo gerado pelo Caipora, mostrando a organização de algumas das diversas colunas de dados.**

**Tabela 18 – Definição das colunas do arquivo gerado pelo software de aquisição de dados do sistema, que incorporam as medidas da sonda e os parâmetros do GPS.**

Coluna	Função
A	Contador de medidas (UA)
B	Relógio de tempo real do microcontrolador (UA)
C	Temperatura da sonda (°C)
D	pH da sonda (UA)
E	Condutividade da sonda (mS/cm)
F	ORP da sonda (mV)
G	Tempo do GPS (hora)
H	Validador do GPS
I	Latitude do GPS (°,')
J	Direção da latitude (m)
K	Longitude do GPS (°,')
L	Direção da longitude (m)
M	Velocidade do GPS (m/s)
N	Curso verdadeiro do GPS
O	Data do GPS (data)
P	Erro do GPS (m)
Q	Direção do erro do GPS (m)
R	Data do sistema (data)
S	Hora do sistema (hora)

Um arquivo de dados gerado pelo software de aquisição possui um total de 19 colunas, e a tabela 18 mostra em detalhes o tipo de medida que é armazenada em cada uma das colunas do arquivo.

A aba “Sonda Quanta”, como mostra a figura 29, possibilita a visualização dos valores dos parâmetros ambientais que estão sendo medidos pelo sistema (pH, Potencial de Oxidação-Redução, Condutividade específica e Temperatura).



**Figura 29 – Medidas feitas pela sonda que foram transmitidas do sistema de instrumentação para o software de aquisição.**

Na aba Gráficos, figura 30, é possível o acompanhamento em tempo real do desempenho do sistema e a formação dos gráficos representativos das medidas dos parâmetros físico-químicos.



**Figura 30 – O painel que mostra as informações das medidas realizadas pelo sistema no formato de gráficos.**

## **5. Análise dos resultados experimentais**

Com os itens 4.1 e 4.2 efetuados e com o software devidamente configurado, pode ser dado início aos procedimentos experimentais com o sistema. Foram realizados 3 experimentos:

- 1 – Medida em um aquário.
- 2 – Medida em um ambiente de praia arenoso.
- 3 – Medida em um efluente líquido.

A medida no aquário foi efetuada no laboratório de instrumentação e medidas do CBPF na Urca. A medida na praia foi realizada nas proximidades do CBPF, na praia da Urca. A medida em efluente líquido foi realizada na Casa da Moeda do Brasil, na região de Santa Cruz.

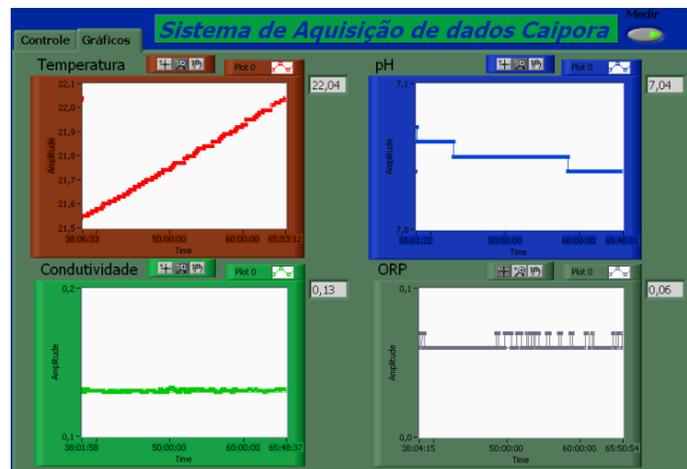
### **5.1. A medida no aquário**

Este experimento teve como objetivo, analisar as características de robustez e de estabilidade do equipamento nas medições em condições de laboratório. O procedimento iniciou-se pela montagem do experimento. Ao aquário, foi adicionada água oriunda do sistema público de abastecimento num total aproximado de 11.6 litros. Quantidade suficiente para manter os sensores da sonda mergulhados por completo. Foi então, acoplado à sonda, o dispositivo de proteção dos sensores. A sonda foi mergulhada no aquário, tomados os devidos cuidados para que o equipamento não fosse danificado. A figura 31 mostra a sonda mergulhada no aquário utilizado na experiência.



**Figura 31 – Detalhe da sonda e do aquário, em medidas no laboratório.**

O equipamento deve ser ligado, o software de aquisição deve ser iniciado e então começa o processo de coleta dos dados. O período de aquisição ininterrupto recomendado pelo fabricante da sonda é de 5 dias, o máximo período garantido que ainda mantêm as propriedades de calibração do equipamento. Terminado o período de medidas, os dados referentes, às aquisições localizam-se no arquivo escolhido para ser o banco de dados do sistema, na fase de configuração do software de aquisição.



**Figura 32 – Após algumas medidas no aquário do laboratório, os gráficos começam a mostrar as variações registradas pelos sensores.**

## 5.2 A medida em ambiente de praia arenosa

Este experimento teve como objetivo verificar a funcionalidade do Sistema Caipora em ambientes externos. Foram realizadas medições durante 30 minutos neste local.



**Figura 33 – Preparando o Caipora para testes de verificação de funcionalidade do sistema, em uma margem da enseada de Botafogo.**

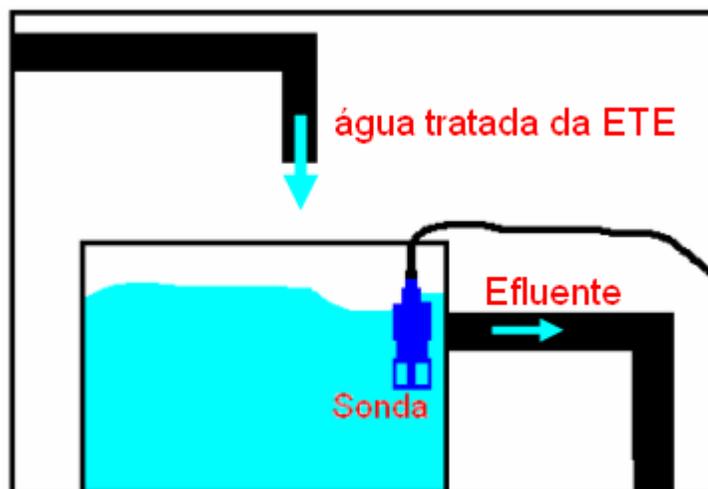
A montagem do equipamento neste teste segue os mesmos procedimentos já definidos anteriormente, a única diferença foi à necessidade de utilização de um dispositivo flutuador acoplado ao corpo da sonda. A figura 33 mostra o final do procedimento de montagem das partes do Caipora, à esquerda, o acoplamento da bóia de flutuação e do protetor dos sensores ao corpo da sonda, ao centro, e o posicionamento do conjunto no ambiente para a realização das medidas, à direita. A bóia de flutuação permite o ajuste da profundidade que a sonda irá permanecer durante o teste. O passo mínimo de variação de altura é de 20 cm, e a máxima profundidade que a sonda pode alcançar é 1 metro.

Com a sonda posicionada no local onde se deseja fazer a medida, o equipamento pode ser ligado, o software pode ser inicializado e então começa a coleta dos dados da medida. Da mesma forma descrita anteriormente, os dados ao fim da medida estarão armazenados no arquivo que foi escolhido como banco de dados do sistema.

## 5.3. A medida da efluente líquida industrial

Este experimento teve como objetivo testar a robustez e a estabilidade do equipamento em períodos de medição em campo. Embora, uma das pretensões fosse a de gerar dados que pudessem ser comparados com as bases de dados de controle do efluente. Esta experiência consistiu na calibração da sonda, na montagem das partes do caipora e na configuração do software de aquisição de dados. Com estas etapas concluídas a sonda foi

então posicionada no tanque de rejeitos industriais na Divisão de Moedas e Medalhas (DEMOM) da Casa da Moeda do Brasil (CMB).



**Figura 34 – Detalhes do tanque de descarte da ETE e posicionamento da sonda.**

A figura 34 representa um esquema do posicionamento da sonda dentro do tanque de rejeitos da Estação de Tratamento (ETE). Este tanque tem dimensões aproximadas de 1,5m de diâmetro por 1,8m de profundidade. A sonda foi posicionada próxima à saída do tanque que segue para o efluente, cerca de 70 centímetros de profundidade.

Uma definição que se torna importante aqui é a de **efluente líquido**, que pode ser qualquer tipo de descarte de matéria, em forma de líquido, resultante de processos diversos, que são direcionados a corpos d'água de maneira direta ou indireta. Esses efluentes, quando originados de atividades industriais, são mais preocupantes em relação à poluição do que os que são gerados de outra maneira. Pois normalmente, resultam de processos de produção que utilizam materiais potencialmente tóxicos. A emissão de matéria poluente no meio ambiente é contra as leis ambientais da maioria dos países, sendo passível de punições diversas. Todo rejeito que constitui matéria potencialmente poluente, e que se é pretendido descartar no meio ambiente, deve ser tratado de maneira adequada.

#### 5.4. Análise dos dados adquiridos com as medições

Apresentamos nesta seção uma discussão dos resultados obtidos para caracterização da performance do sistema.

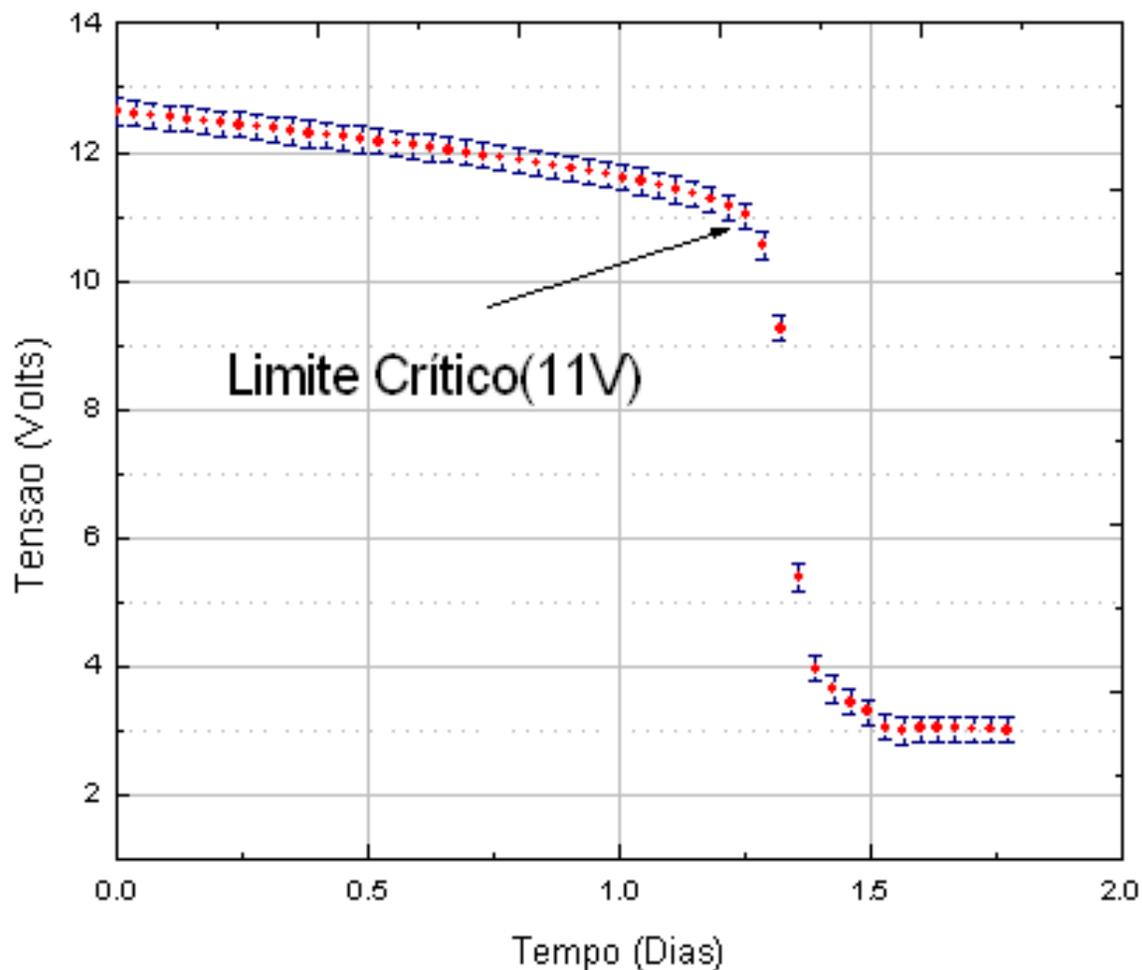
**Teste de Autonomia** – Este ensaio permitiu avaliar quanto tempo o sistema pode operar sem estar ligado a uma fonte elétrica externa. Para essa análise a bateria foi carregada completamente, e um dispositivo de medida foi instalado junto à linha de alimentação geral do sistema para monitorar o nível de tensão da bateria. As especificações do sistema Caipora não permitem operações em tensões abaixo de 11 Volts, deste modo, este nível de tensão foi definido como a tensão crítica de alimentação do sistema.

O teste teve início ao ser desconectado o cabo que fornece a alimentação externa ao sistema e terminou ao ser alcançado o ponto de operação crítico de tensão. Algumas especificações do medidor que foi utilizado para o monitoramento da tensão da bateria estão descritas na tabela 19.

**Tabela 19 – Dados das especificações do medidor utilizado para o monitoramento da tensão da bateria.**

Modelo	Acurácia	Resolução
Keithley 195	0.01% + 6 dígitos	100 $\mu$ V

A figura 35 mostra o nível de tensão do sistema em função do tempo, com o consumo de corrente elétrica necessário ao funcionamento do sistema, o nível de tensão da bateria vai diminuindo. Ao realizar esta medida foi possível determinar o tempo máximo que o sistema pode operar sem auxílio de alimentação externa. Ao ser observado o gráfico na figura 35 pode ser identificado o tempo máximo até ser atingida a tensão crítica. Foi utilizada uma seta para mostrar onde o gráfico cruza a faixa de 11 Volts. Este ponto está localizado em aproximadamente 1.25 dias (30 horas). O tempo de autonomia verificado permite a operação durante falhas no fornecimento da rede elétrica, porém é limitado para aplicações de longa duração.



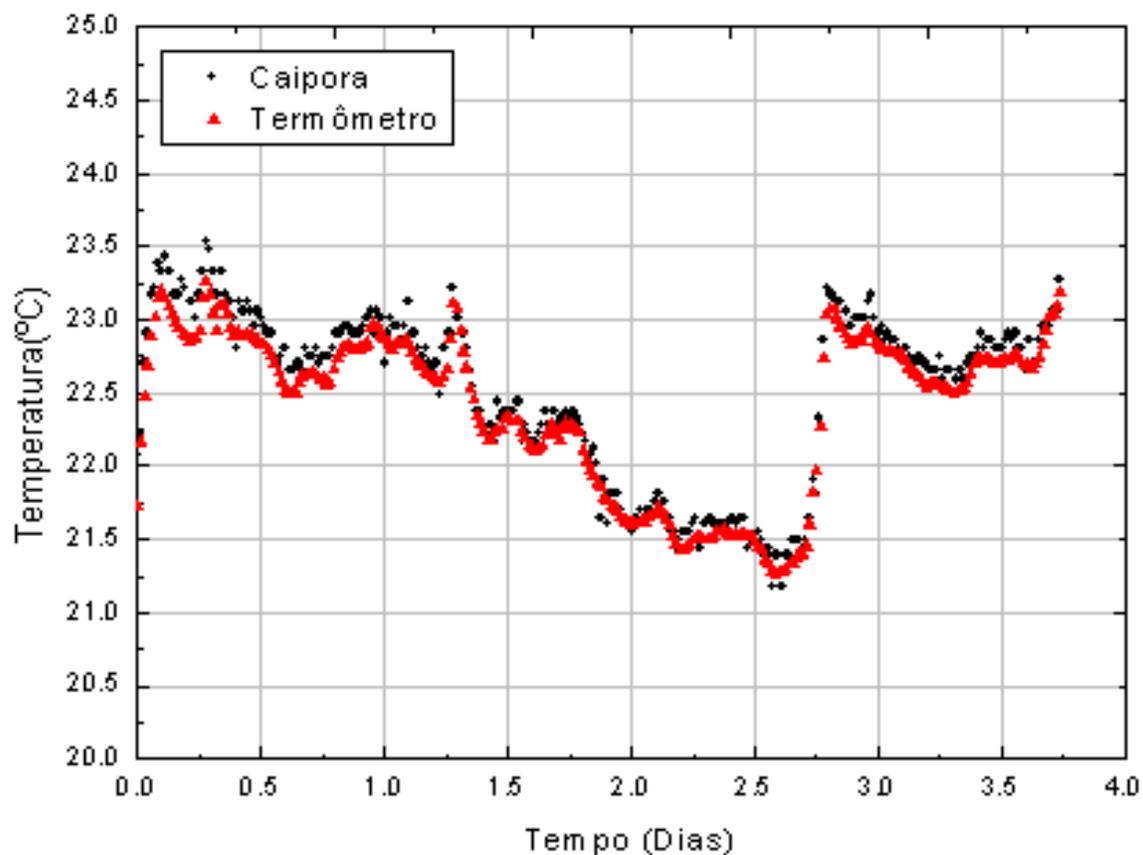
**Figura 35 – Monitoramento da tensão da bateria do Caipora, sendo interrompido o fornecimento de energia elétrica externa. Esse teste foi realizado no laboratório.**

Para avaliar o funcionamento dos sensores de medição do sistema, alguns testes foram realizados com os parâmetros da temperatura, do potencial hidrogeniônico, da condutividade específica e do potencial de oxidação-redução. É pretendido comparar os resultados dessas medidas com o das especificações apresentadas pelo fabricante dos sensores.

Para verificarmos o sensor de temperatura, um recipiente contendo água foi monitorado pelo sistema Caipora e comparado com os resultados obtidos simultaneamente por um termômetro composto por um sensor tipo PT100 e uma unidade de aquisição de dados. As características do termômetro PT100 utilizado estão descritas na tabela 20.

**Tabela 20 – Especificações do termômetro utilizado para comparar os valores medidos de temperatura pelo Caipora.**

Modelo	Acurácia	Resolução
Keithley 195	0.03%	0.01°C

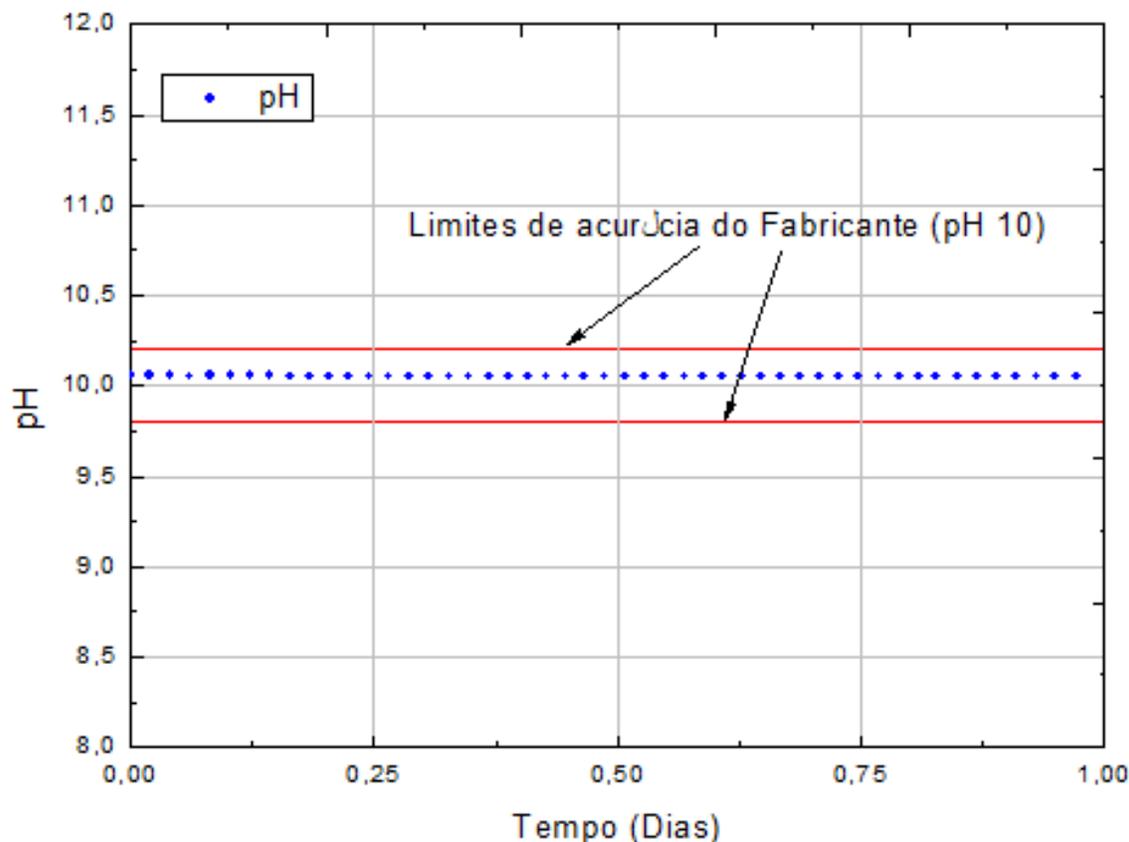


**Figura 36 – Medidas de temperatura feitas pelo Caipora e pelo termômetro no aquário do laboratório pode ser quantificado um desvio de 0.1 °C da medida do Caipora em relação à do termômetro.**

Os testes, mostrados na figura 36, foram realizados em um período de 4 dias. Durante esse tempo de monitoramento, pode ser percebido que as medidas de temperatura feitas pelo sistema têm um desvio de 0.1 °C em relação à medida de referência (termômetro PT100).

**Potencial Hidrogeniônico** – Para a avaliação deste parâmetro foi utilizado um recipiente contendo uma solução tampão de pH = 10. Foram feitas algumas amostras e

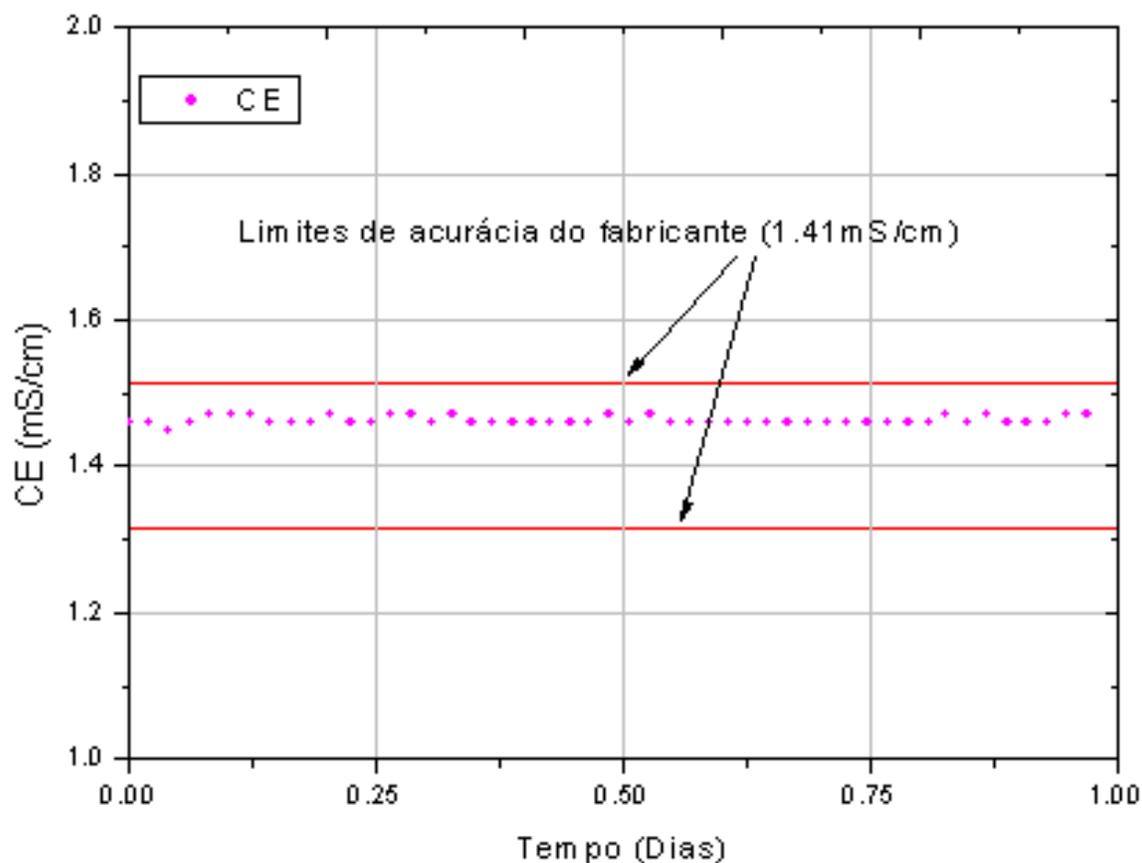
esses resultados serviram de base para a avaliação da estabilidade e acurácia do sensor de pH.



**Figura 37 – Medidas realizadas no recipiente contendo solução tampão de pH 10 unidades, para esse valor de pH o fabricante estipula uma acurácia máxima limitada pelas duas linhas indicadas no gráfico.**

A partir da figura 37 pode ser percebido que a medida de pH está de acordo com as especificações do fabricante. O pH médio da medida foi de 10.04 e o desvio padrão em relação à média foi de 0.01 unidades. O que mostra que as medidas estão de acordo com as especificações do fabricante.

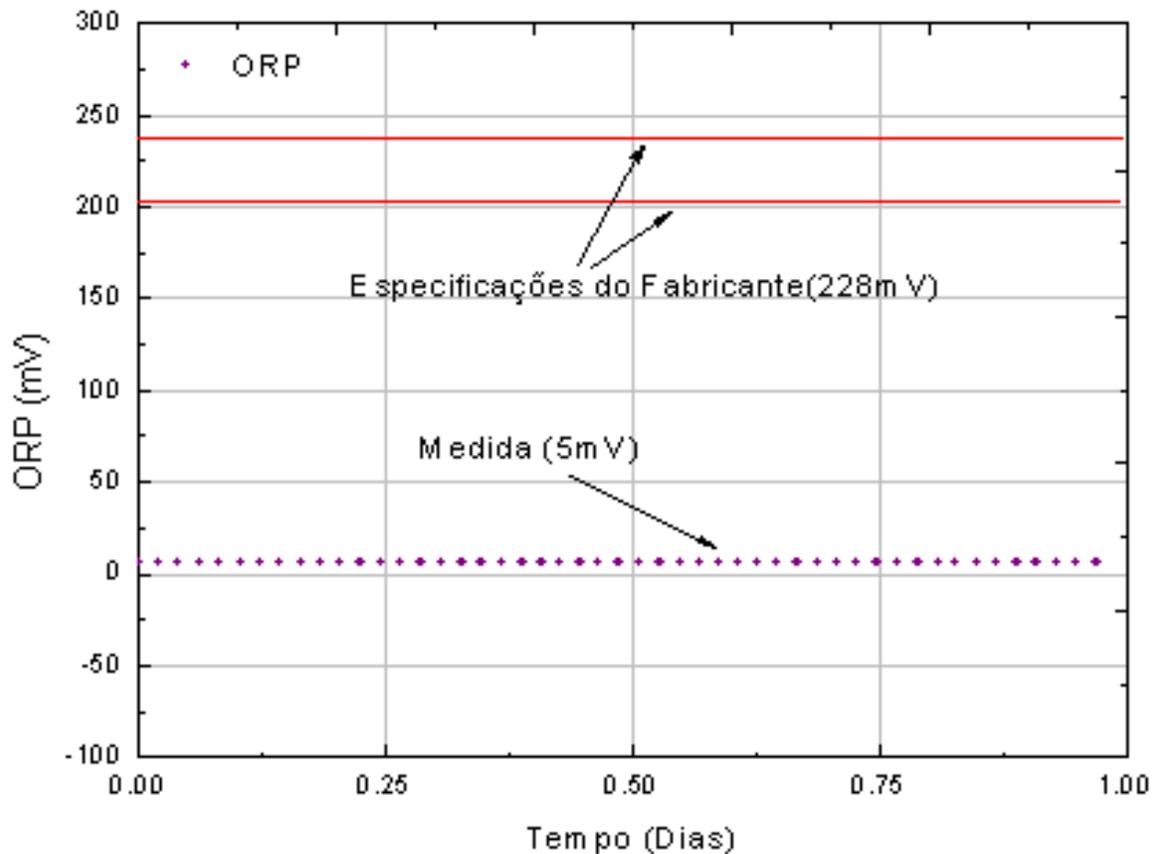
**Condutividade Específica** – Para a avaliação da condutividade foi utilizado uma solução tampão de 1.41 mS (Solução que possui valor de 1.41 mS de condutividade), que é um valor muito utilizado para operações de calibração de sensores de condutividade. As medidas foram realizadas nessa substância e com os dados foram feitas as avaliações do sensor.



**Figura 38 – Medidas no recipiente com solução tampão de 1.41 mS que foi utilizada para avaliar o sensor de condutividade do sistema Caipora. As linhas indicadas são os limites de acurácia dados pelo fabricante do sensor.**

A figura 38 mostra o resultado da medida de condutividade na solução tampão de condutividade de 1.41 mS. As duas linhas indicam a acurácia do equipamento especificada pelo fabricante. A partir desta figura pode ser constatado que as medidas estão de acordo com o que é previsto para o sensor. A média do valor medido foi de 1.42 mS/cm e o desvio padrão em relação à média foi de 0.01 mS/cm.

**Potencial de oxidação-redução** – Para a avaliação do ORP se fez uso de um recipiente contendo solução tampão de 228 mV. Foram efetuadas medidas e a partir destas, o desempenho do sensor foi verificado.



**Figura 39 – Medidas no recipiente contendo solução tampão de 228 mV, as linhas indicadas na figura mostram os limites esperados para a medida. O que é possível ser visto é um desvio que está fora do esperado na medida.**

A figura 39 mostra o resultado das medidas efetuadas no recipiente contendo solução tampão ORP de 228 mV. Fica evidente que as medidas não estão de acordo com o valor esperado e das especificações indicadas pelo fabricante para a medida. A média do valor foi de 100 mV e o desvio padrão em relação à média foi de 1 mV. O teste foi feito sem sucesso. O manual não apresenta informações sobre como sanar o problema. O fabricante se comprometeu a apresentar um diagnóstico e solução.

**Tabela 21 – Resumo da análise dos dados feitos com as medidas dos sensores é definido como erro o valor esperado subtraído do valor medido, desse erro foi calculado o valor médio e o desvio padrão.**

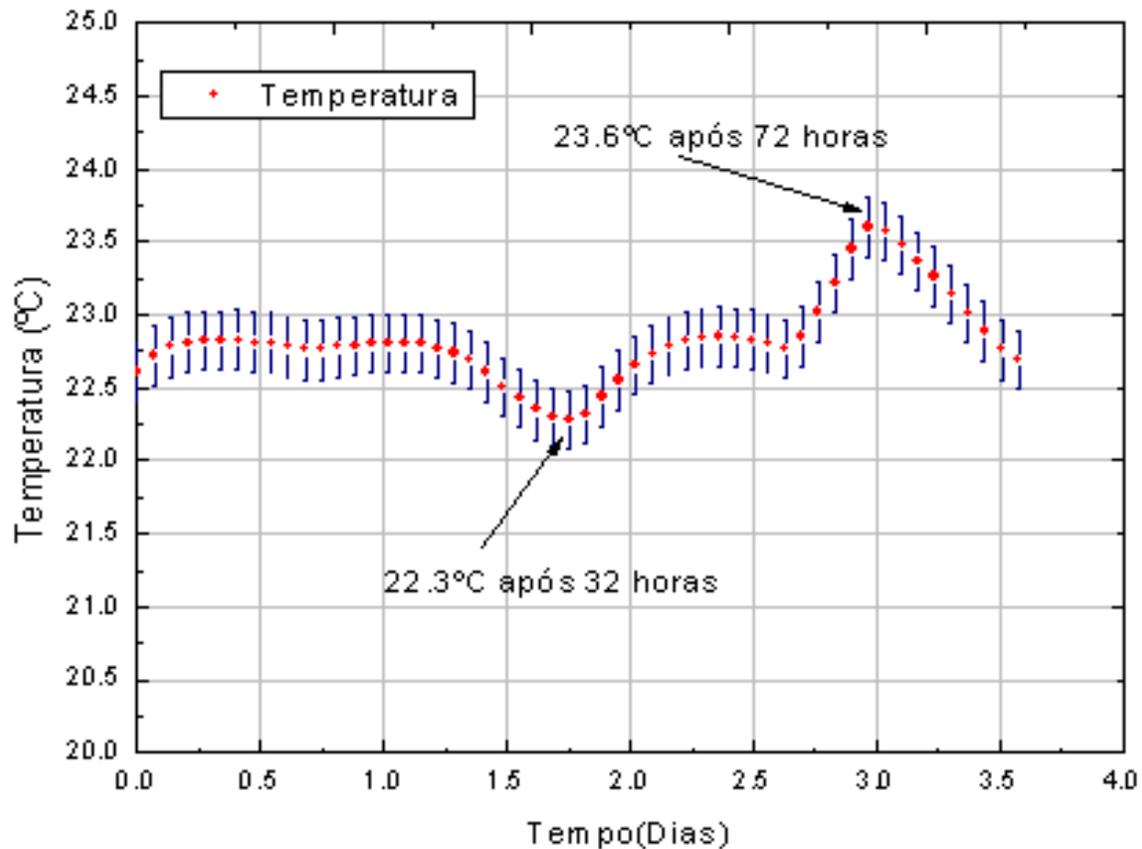
Parâmetro	Média do erro	Desvio padrão do erro
Temperatura	0.1 °C	0.05 °C
pH	pH 0.05	pH 0.01
CE	0.01 mS/cm	0.01 mS/cm
ORP	222 mV	1 mV

A tabela 21 é um resumo dos resultados da avaliação do erro das medidas dos parâmetros, o que pode ser percebido é que a medida de temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade específica estão de acordo com as especificações do fabricante. A partir de agora serão utilizadas as especificações do fabricante para os erros das medidas, já que estes estão de acordo com os valores levantados na análise.

O erro da medida do potencial de oxidação-redução está completamente fora das especificações, e esta medida não será mais considerada em comparações com outros valores de ORP, somente serão verificadas as características de estabilidade dessa medida.

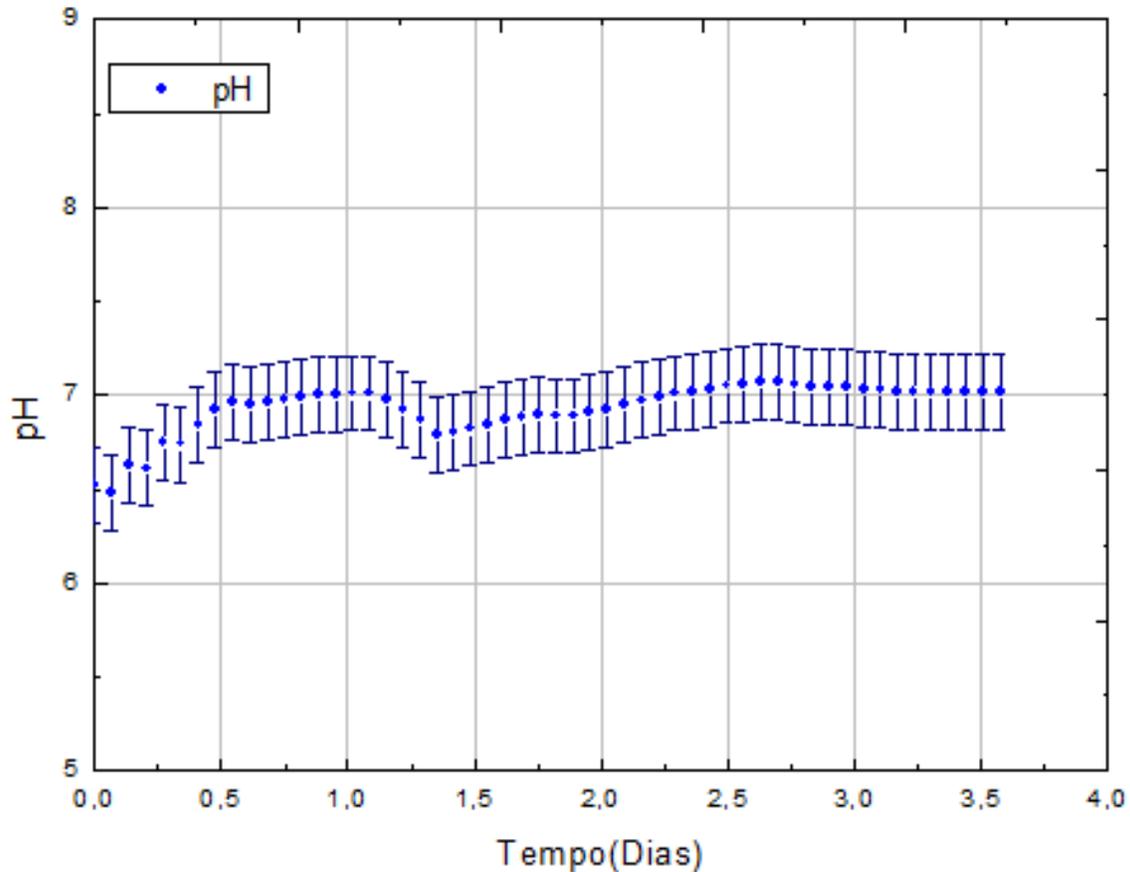
**Aquário** – Um aquário foi utilizado como ambiente simulado para testar a estabilidade do sistema ao realizar medições. Para o teste foi utilizado um aquário contendo água oriunda do sistema de abastecimento hidráulico do CBPF. As medições foram realizadas, os dados foram aquisitados e foi possível ser feita à análise das medidas.

A medida objetivou verificar se o sistema era capaz de monitorar o ambiente escolhido dentro de um intervalo de tempo em torno de 4 dias, e avaliar se os dados aquisitados mostrariam o comportamento dos parâmetros nesse intervalo de tempo. Ao fim do monitoramento do ambiente, os dados das medidas puderam ser recuperados, o que possibilitou analisar o comportamento dos parâmetros monitorados. A figura 40 foi gerada a partir dos dados aquisitados pelo sistema Caipora e mostra o comportamento da temperatura do aquário durante o período de medição. São mostrados no gráfico o ponto máximo (22.3 °C após 32 horas de monitoramento) e o ponto mínimo (23.6 °C após 72 horas de monitoramento), atingidos pela temperatura no intervalo da medida.



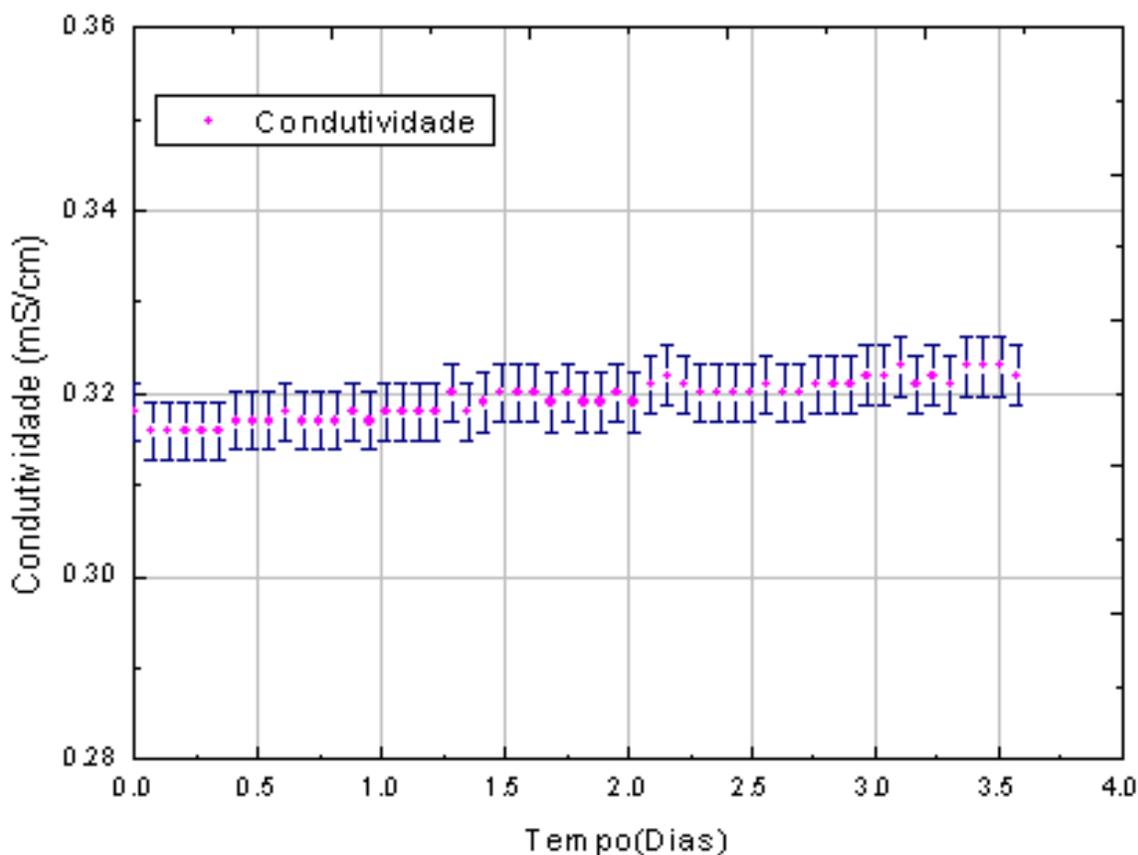
**Figura 40 – Temperatura medida no aquário durante o intervalo, o gráfico mostra o comportamento do parâmetro durante o período de medição. Com os dados adquiridos pelo sistema de monitoramento foi possível gerar um gráfico que mostra o comportamento da temperatura do laboratório, e conseqüentemente do aquário.**

A figura 41 mostra o comportamento do pH dentro do aquário monitorado, a variação registrada esta sempre em torno de pH = 7. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) exige que para a água doce o pH esteja entre 5 e 9, contudo muitos autores falam em algo em torno de pH 7. O que pode ser concluído do gráfico da figura 41 é que as medidas estão de acordo com o esperado para medidas em água doce.



**Figura 41 – O gráfico do monitoramento da medida de pH de uma amostra do aquário do laboratório, permite verificar o comportamento do sistema durante o intervalo de tempo de 4 dias. Cabe ressaltar que o fabricante indica que as primeiras medidas devem ser descartadas até o a sonda atingir um regime de medidas estáveis.**

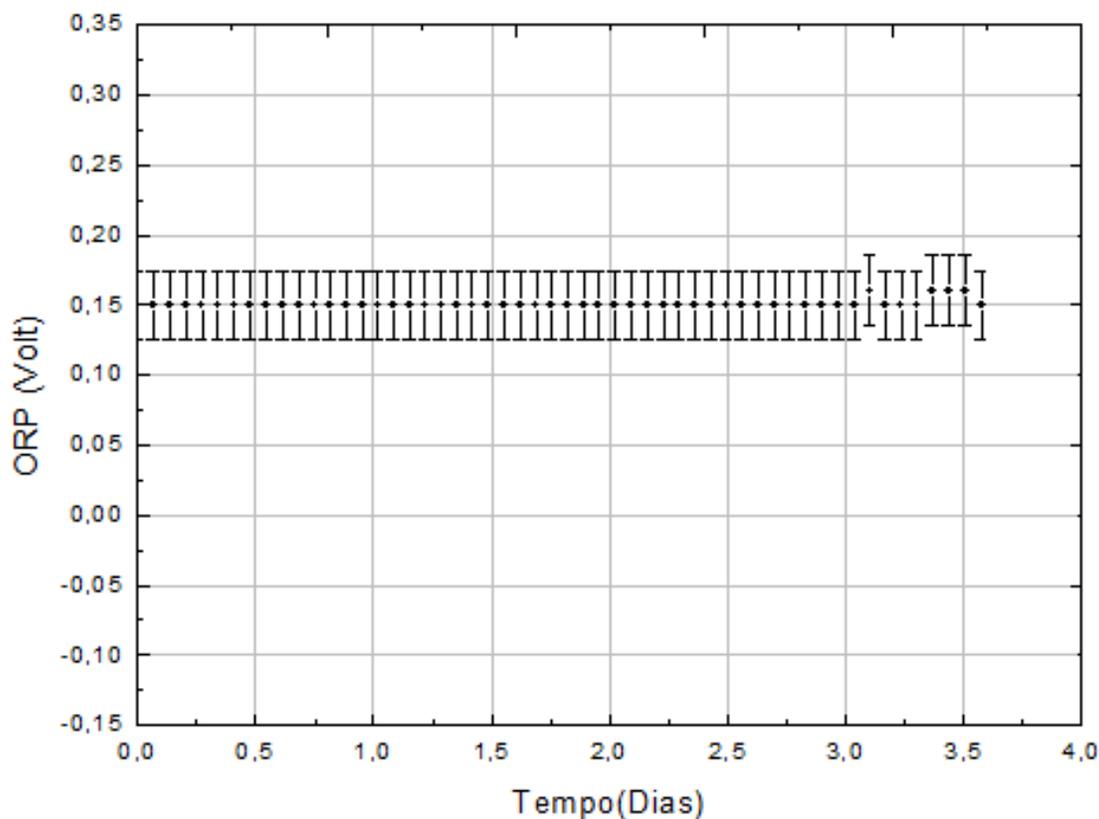
A figura 42 mostra um gráfico que foi construído a partir dos dados do sensor de condutividade. Esses dados foram aquisitados no período de monitoramento. O valor da medida variou em torno dos 320  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e é possível perceber que a temperatura não influenciou significativamente na medida. Este fato pode indicar que o sensor é automaticamente compensado para variações de temperatura. Já que a medida de temperatura variou quase  $2^{\circ}\text{C}$ , e não refletiu sobre as medidas de condutividade. O Conselho Nacional do Meio Ambiente nada diz a respeito da condutividade em água doce, embora órgãos como a “Environmental Protection Agency (EPA)” supõem que este valor está entre 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Contudo, essa faixa de valores de condutividade varia bastante de autor para autor, fato que talvez influencie na não utilização deste parâmetro pelo CONAMA para normatizar a qualidade da água doce.



**Figura 42 – Dados do monitoramento da condutividade do aquário durante o período da experiência, neste gráfico também não é possível notar alterações significativas em relação ao efeito causado pela temperatura.**

Ao ser considerado o valor da condutividade suposta pela EPA, podemos dizer que as medidas estão de acordo com o que era de se esperar para esse parâmetro.

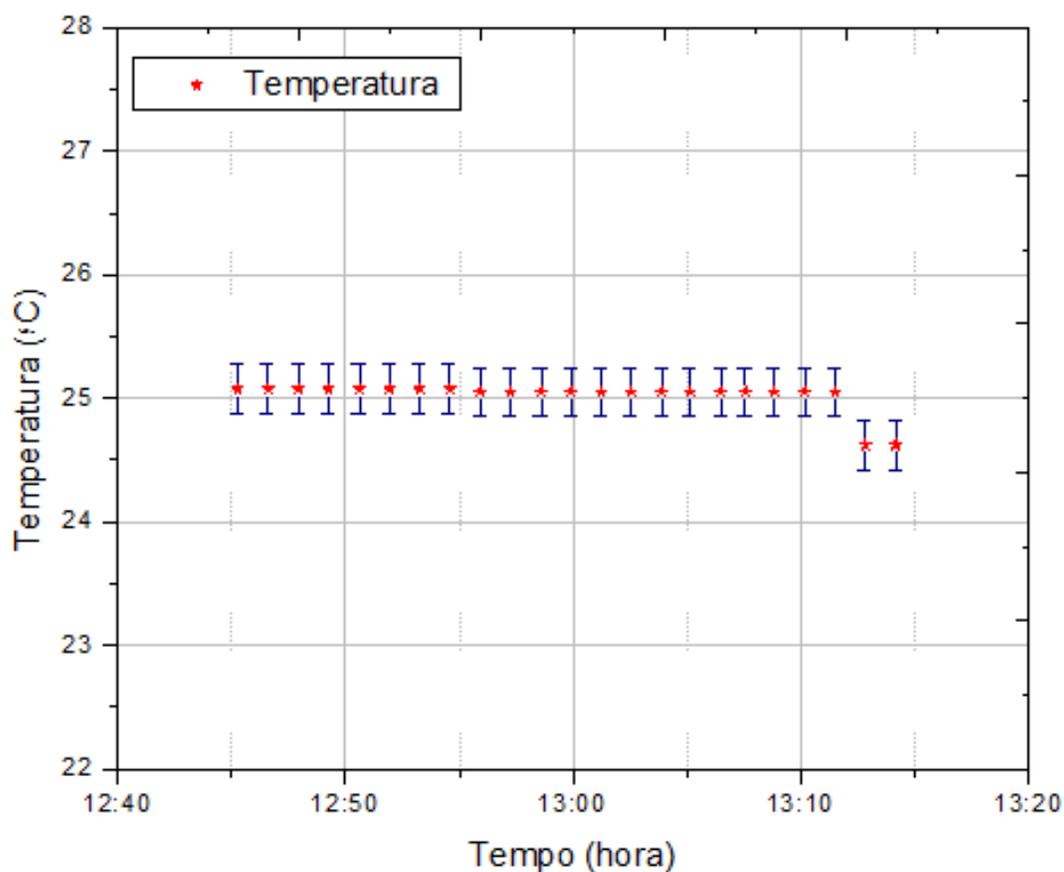
A medida de ORP foi de caráter apenas qualitativo. Foi observado apenas se os dados aquisitados desse sensor serviriam para criar um gráfico que mostrasse todo o período de medição de forma estável. Os problemas encontrados na fase de testes inviabilizam interpretações sobre essas medidas. O desvio encontrado na medida de caracterização foi de 222 mV, valor que pode ser utilizado para compensar a medida feita. Na figura 43 foram utilizados os dados obtidos pelo sensor de ORP para criar o gráfico.



**Figura 43 – Monitoramento do ORP do aquário no intervalo da experiência pode ser percebido na figura que a deriva da medida está dentro da faixa de erro especificada pelo fabricante, embora o valor da medida não seja confiável. Foi compensada a medida original em 222 mV, o desvio encontrado na medida de caracterização do sensor.**

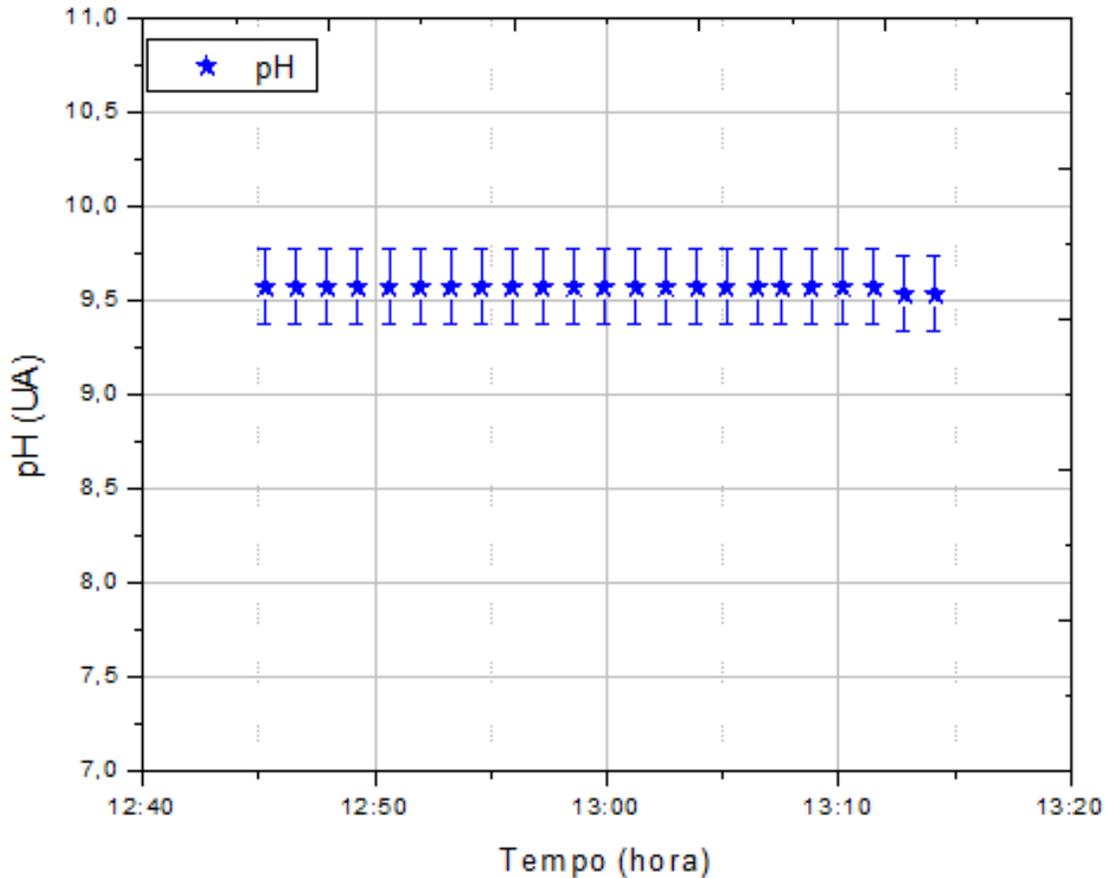
O Conselho Nacional do Meio Ambiente também não cita nada referente à medida de ORP em água doce. Contudo, muitos autores citam valores de ORP entre -100 mV a 500 mV, dependendo das condições biológicas do meio. Entretanto, é difícil afirmar algo sobre os valores medidos por esse sensor nas condições de operação atual.

**Ambiente de praia arenosa** – Um teste de robustez e de estabilidade foi realizado em um ambiente externo ao do laboratório, em um ambiente de praia arenosa nas proximidades do CBPF, na praia da Urca no Rio de Janeiro, como descrito no item 5.2. O objetivo principal não era o de comparar os resultados adquiridos com valores de referência, e sim o de testar a funcionalidade do equipamento ao realizar medidas. O teste foi de curta duração, em torno de 30 minutos.



**Figura 44 – Gráfico da medida de temperatura feita no ambiente de praia arenoso. O sistema obteve um desempenho dentro do esperado, e foi possível a aquisição dos dados. Apesar da instabilidade provocada pelas ondas.**

Foi possível obter os dados das medidas aquisitadas de temperatura no teste em ambiente de praia arenosa, figura 44, que se mostraram relativamente constantes, apesar das oscilações do mar. Foram identificados problemas no firmware e no programa de coleta e registro dos dados, que era o principal objetivo do experimento. O problema mais grave encontrado foi de erros na gravação dos dados no cartão de memória. Os dados estavam sendo gravados com um espaçamento de 512 bytes entre dois blocos, quando o especificado seria para não existir espaçamento. Ajustes no software do módulo de controle foram feitos e o problema foi resolvido.



**Figura 45 – Ao medir o pH do ambiente de mar próximo a enseada, foi possível observar pouca variação deste parâmetro durante o monitoramento. O desempenho obtido com o teste funcional ficou dentro do que era esperado para o sistema.**

A medida do pH da água do mar, no ambiente de praia arenosa, figura 45 obteve desempenho dentro do esperado, as amostras foram aquisitadas e com esse teste funcional foi possível avaliar as características operacionais do sistema.

As medidas de condutividade específica não puderam ser realizadas devido ao alto grau de salinidade da água do mar, os valores medidos estavam fora da faixa suportada pelo sensor de condutividade utilizado. Os resultados do ORP apresentaram o desvio explicado pela falta de calibração, conforme identificado nos ensaios de laboratório.

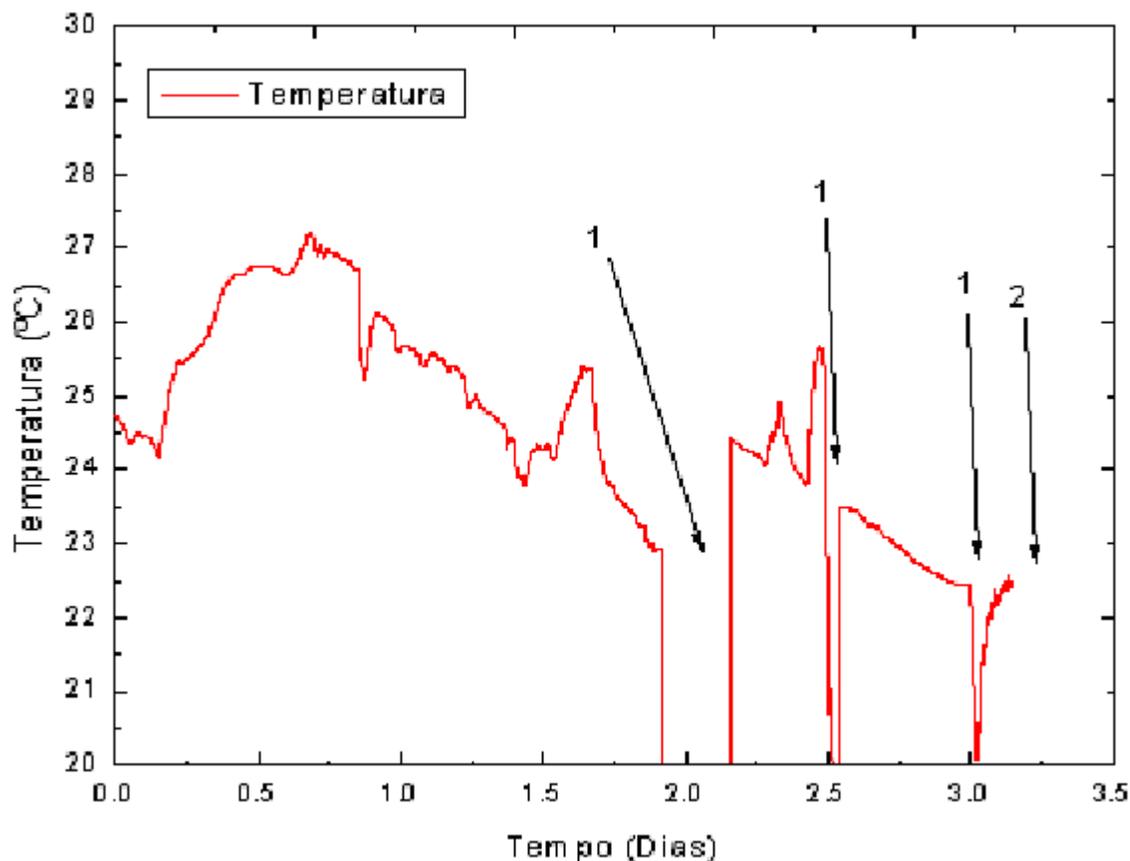
Todas as medidas foram realizadas com o equipamento em modo de bateria, o que caracterizou o funcionamento dessa parte do dispositivo durante o teste.

Foi possível a retirada dos dados do cartão de memória do equipamento, o que demonstra o funcionamento dessa parte do sistema. Os gráficos foram gerados a partir destes dados.

O sistema de transmissão de dados também apresentou resultado satisfatório para as medidas em ambientes abertos. Foram realizadas medidas a diferentes distâncias da base remota. A especificação de distância de transmissão do Rádio-Modem é de 1 Km, o que atendeu as necessidades do teste.

Foram realizados testes para avaliar a posição da medida. Estes testes consistiram em comparar a posição medida pelo GPS a posição dada em mapas do “Google Earth”, sendo então calculada a diferença de distância entre elas. O sistema de GPS obteve medidas com erros menores do que 10 metros, quando comparadas às informadas pelo “Google Earth”. O fabricante especifica que é possível medir com um erro menor do que 15 metros, a medida então confirma a especificação dada pelo fabricante.

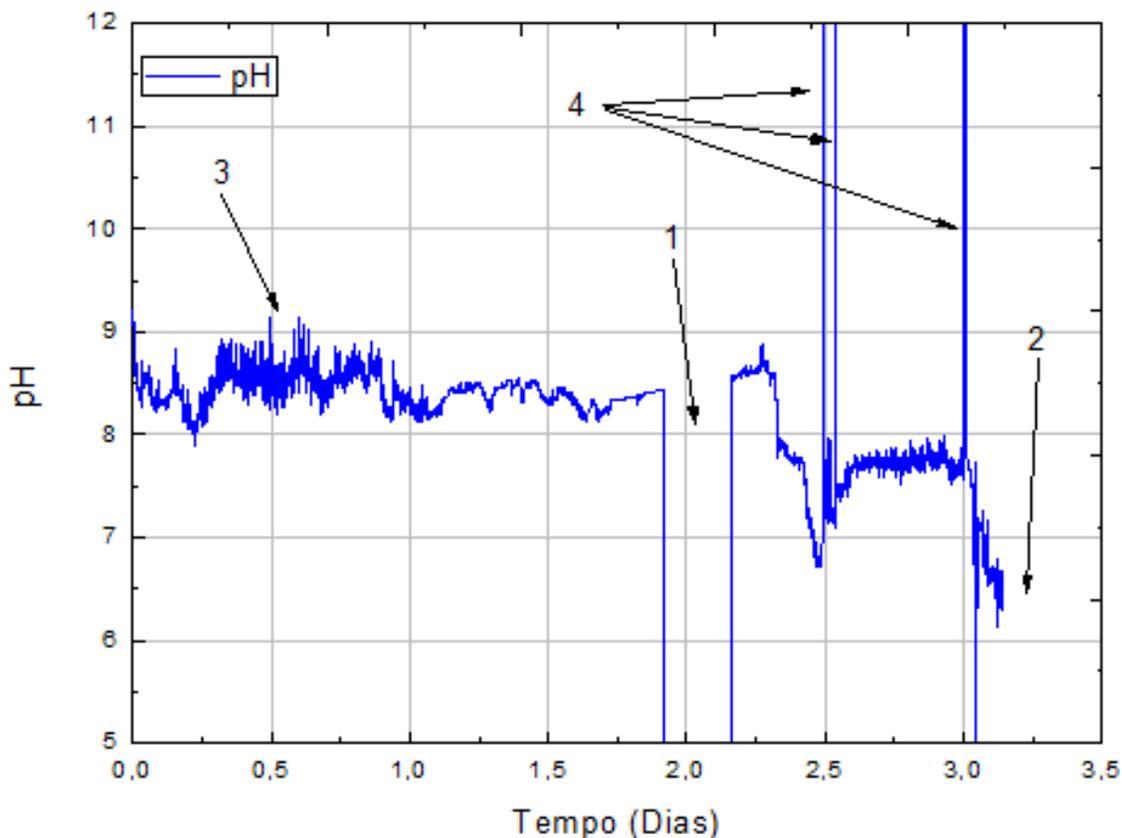
**Ambiente de efluente líquido industrial** – O objetivo do teste era o de recolher dados que pudessem avaliar o desempenho do sistema na operação de monitoramento ambiental. Esse meio em especial representava uma grande oportunidade para testar o sistema, pois para a realização das medidas era necessário superar as adversidades que o meio apresentaria. Muitas das quais não eram do nosso conhecimento e que certamente causariam danos aos dados aquisitados. A primeira tentativa foi pouco proveitosa devido a uma pane em alguns dos circuitos eletrônico da fonte do Caipora. Sendo assim, um pequeno conjunto de dados foi recolhido. O dispositivo então voltou ao laboratório, onde o problema foi identificado e corrigido. O sistema foi preparado para mais uma bateria de testes. Na segunda tentativa obtivemos uma quantidade de dados que possibilitou a avaliação do sistema e apontou para novos ajustes necessários. A figura 46 mostra um gráfico gerado a partir dos dados levantados com o monitoramento da efluente na Casa da Moeda do Brasil. É possível observar na figura o comportamento da temperatura durante boa parte do período de medição, algo em torno de 80% do período.



**Figura 46 – Gráfico referente aos dados monitorados na efluente líquida industrial da CMB, após quase 2 dias de funcionamento um erro intermitente ocorreu com o sistema de monitoramento, indicado por regiões identificadas pelas setas "1", e outro erro identificado pela seta "2", ocorreu após 3 dias de monitoramento.**

Cerca de 20% dos dados foram perdidos na medida, conforme está indicado na figura 46. Pode ser observado uma falha na medida causada por uma pane elétrica na rede de alimentação da Estação de Tratamento de Efluente (ETE), do Departamento de Moedas e Medalhas da Casa da Moeda do Brasil (CMB). A partir dos dados não é possível determinar o momento exato em que a pane ocorreu, apenas foi registrado o momento em que o tempo de autonomia do sistema acabou e o momento que foi restabelecido o fornecimento de energia. O sistema não foi afetado no momento em que aconteceu a pane elétrica devido ao fato de haver um conjunto de dispositivos (baterias) que mantêm o sistema operando em caso de interrupção no fornecimento de energia por algumas horas.

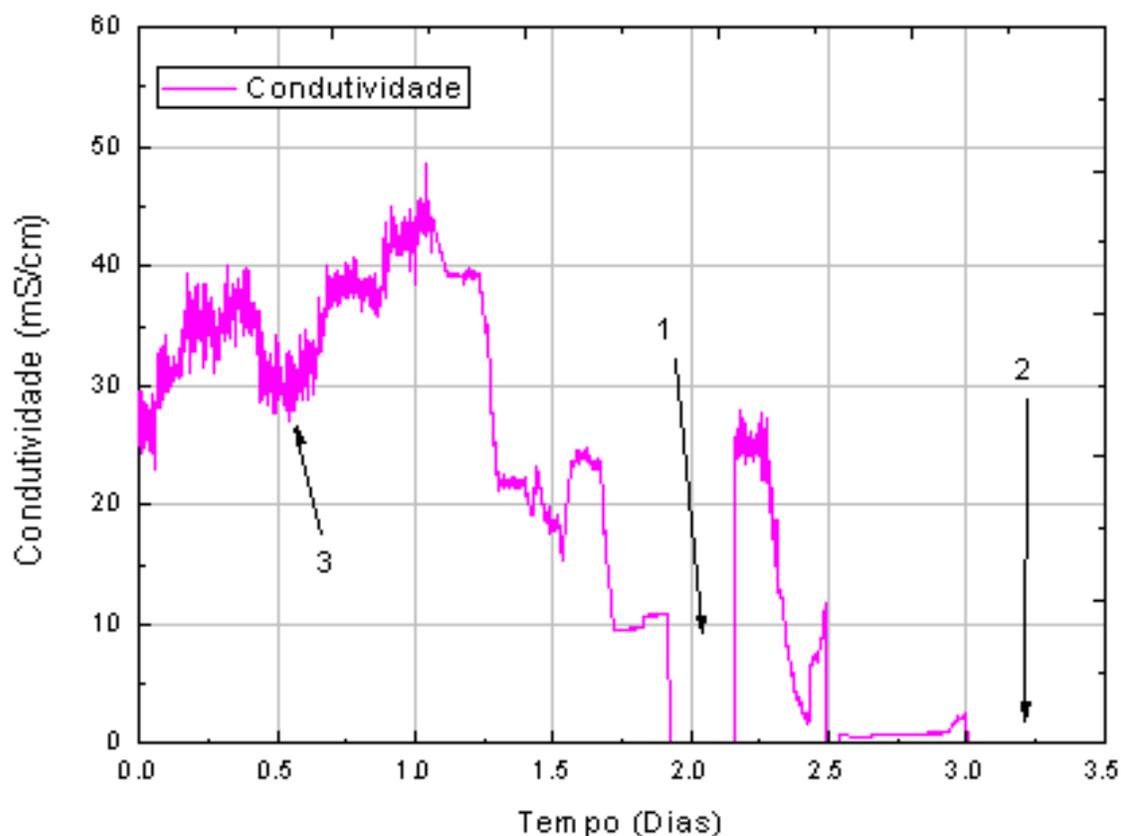
A partir do ponto (2), indicado na figura 46, a aquisição é interrompida.



**Figura 47 – No monitoramento da medida do pH é possível se diagnosticar algumas interferências.**

A figura 47 mostra o gráfico da medida de pH durante o período de monitoramento da efluente. É possível verificar a presença dos mesmos dois outros problemas citados anteriormente, referentes aos pontos identificados pelas setas "1" e "2" da figura 47. O que chama atenção na figura é o artefato indicado pela região identificada pela seta marcada pelo número "3", que aparenta ser um tipo de ruído sobre a medida. Os artefatos indicados pelas setas marcadas com o número "4" aparentam ser discontinuidades na medida. Em nossa interpretação, consideramos os ruídos como produto de interferências eletromagnéticas originadas pelo maquinário (bombas, motores, disjuntores, etc) utilizado pelas linhas de produção da Divisão de Moedas e Medalhas da Casa da Moeda do Brasil. Como os medidores utilizados são dispositivos sensíveis, é possível que estes tenham sofrido influência da interferência. Os picos, em nossa interpretação, ocorreram em momentos onde o tanque encontrava-se abaixo do seu nível normal. Como no posicionamento do sensor foi considerado apenas o nível normal do tanque, é possível que

em alguns momentos o sensor estivesse medindo fora do líquido. Em outras instalações, deve-se tomar o cuidado com o posicionamento do sensor para que esse não fique medindo em descoberto.

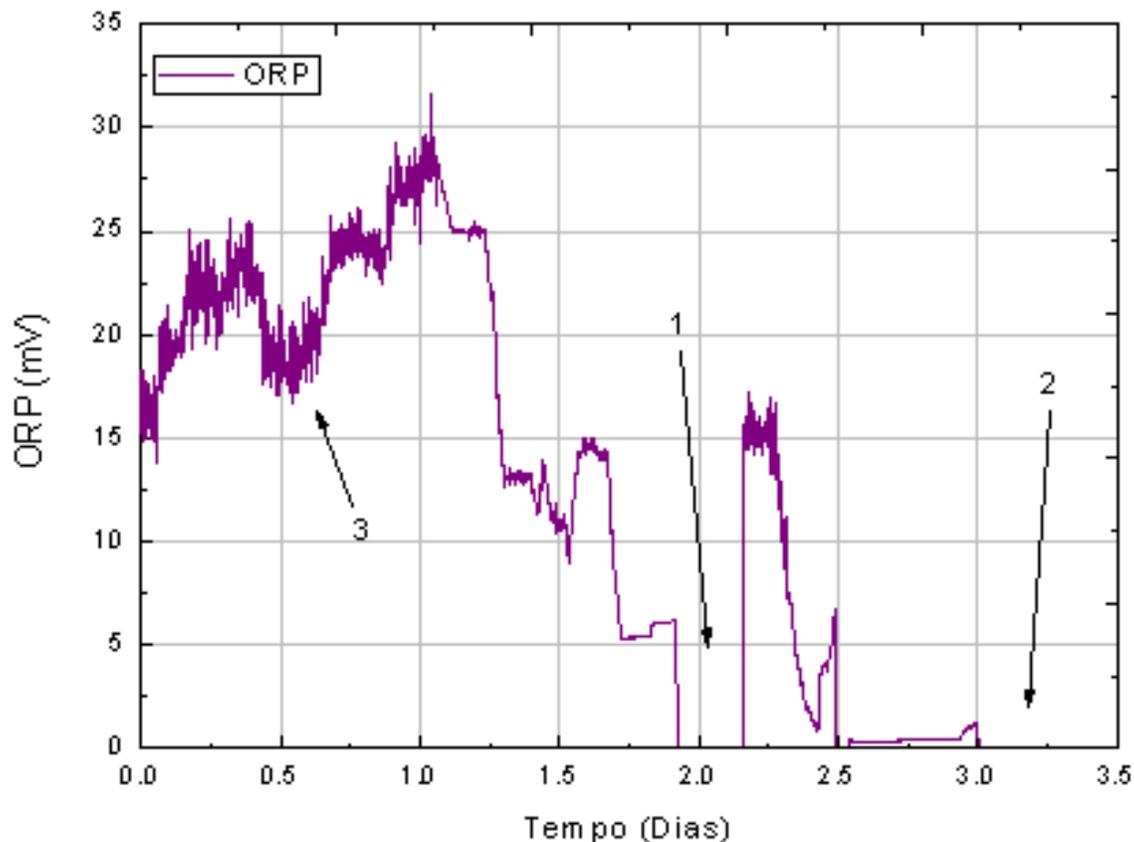


**Figura 48 – No monitoramento da medida da Condutividade Específica, como anteriormente, alguns artefatos de medida podem ser observados, indicados pelos pontos (1) e (2). A interferência que foi discutida para a medida do pH, também pode ser identificada neste gráfico, indicado pela seta marcada pelo número 3.**

A figura 48 mostra o gráfico da condutividade específica do efluente monitorado no período da experiência. É possível identificar os mesmos artefatos de medida citados anteriormente para a figura 48. Incluindo o artefato que parece ser um ruído que está descrito pela região indicada pela seta marcada pelo número 3 na figura 48.

Se os valores apresentados nas medidas de caracterização do sensor de ORP estivessem calibrados, na figura 49 seria possível avaliar quantitativamente o

comportamento das medidas de ORP do efluente. Qualitativamente podemos sugerir que os artefatos de medidas indicados pelas setas marcadas pelos números 1, 2 e 3 da figura 49, são os mesmos apresentados nos gráficos anteriores.

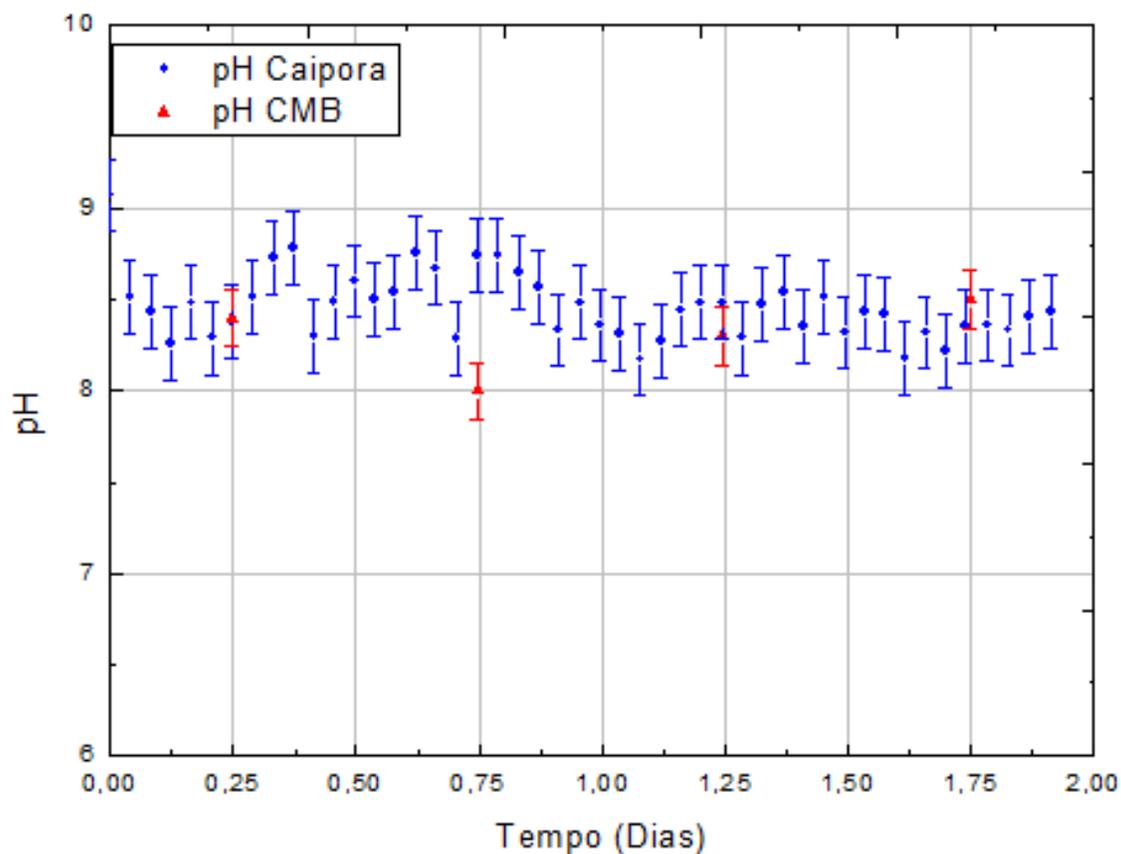


**Figura 49 – Gráfico dos dados aqisitados do sensor de ORP posicionado dentro do efluente da Casa da Moeda do Brasil. É possível serem notadas as mesmas falhas que ocorreram nas outras medidas indicadas pelas setas marcadas pelos números 1, 2 e 3.**

Diante dos dados aqisitados no efluente é possível afirmar que o sistema de monitoramento obteve um desempenho funcional considerável. Foi possível gerar gráficos que mostram o comportamento das medidas durante o período de monitoramento, pode ser constatada a funcionalidade dos dispositivos de autonomia do sistema, comprovou-se que os dados realmente são armazenados em memória local, de onde foi possível ser feito à recuperação. Mesmo com a perda de uma parte dos dados do monitoramento, restaram

informações suficientes para avaliar o comportamento funcional do sistema de instrumentação.

A Divisão de Moedas e Medalhas é obrigada por lei a monitorar alguns parâmetros na efluente líquida, dentre estes está o pH. A Casa da Moeda do Brasil cedeu os dados dos testes feitos nos seus laboratórios referentes ao período que coincidiu com o do monitoramento realizado pelo Caipora. E então, pôde ser feita uma estimativa entre o valor do pH medido pelo Caipora e pela CMB.



**Figura 50 – Gráfico comparativo entre a medida do pH feita pelo Caipora e a medida feita pelo laboratório analítico da Casa da Moeda do Brasil, é possível constatar que as medidas estão dentro da margem de erro.**

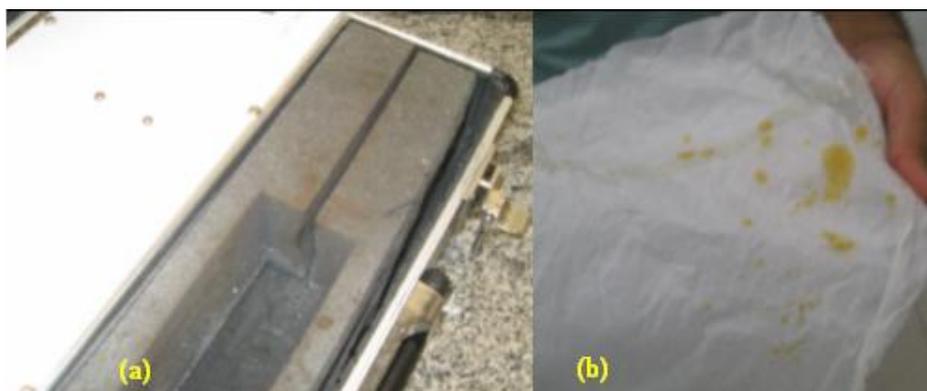
A figura 50 é um comparativo entre a medida de pH realizada pelo Caipora e a realizada pelo laboratório analítico da Casa da Moeda do Brasil. Nessa análise foi constatado um desvio de 18% entre as duas medidas. O fato de a medida ter sido feita em

tempo real, com a água em constante agitação, entre outras complicações, pode explicar a discrepância dos resultados. A Casa da Moeda do Brasil realiza a medida através da coleta de amostras, que então são enviadas a um laboratório de análise.

Um fato interessante constatado foi à tendência agressiva do meio ambiente na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do Departamento de Moedas e Medalhas (DEMOM) da Casa da Moeda do Brasil (CMB).



**Figura 51 – No período de medição na CMB aconteceu a deposição de algumas substâncias químicas sobre o protetor da sonda. Não é conhecida a composição da substância e nem os efeitos que ela pode causar no equipamento. O período que se deu a acumulação da substância sobre o as partes da sonda foi de 1 semana.**



**Figura 52 – Efeito de agressão sobre o corpo do Caipora no período de medida na ETE DEMOM, na figura (52a) efeitos de um amarelamento que também é visto no papel de proteção na figura (52b).**

O corpo e partes do sensor foram cobertos por uma substância amarelada e que ainda não foi identificada. Não sabemos quais efeitos podem ser causados ao equipamento

por essa substância. Contudo, este fato mostra que as condições encontradas na ETE podem vir a serem prejudiciais para as operações de monitoramento do equipamento.

As imagens das figuras 51 e 52 evidenciam a deposição de substâncias, na cor amarelada, sobre o corpo do sistema. Esse mesmo efeito se deu no corpo da sonda onde apareceram manchas amareladas. Para a proteção da mesma, esta teve de ser limpa no local, o que impossibilitou a tomada de fotografias do acontecido.

O ambiente da Estação de Tratamento da Divisão de Moedas e Medalhas opera utilizando diversos produtos químicos que são potencialmente tóxicos e/ ou corrosivos (ácidos e sais de cianeto). Foi sugerido a utilização de uma película de plástico PVC que envolvesse o corpo do equipamento. O objetivo era o de protegê-lo de efeitos indesejáveis (corrosão de partes ou placas eletrônicas).

## 6. Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de medição capaz de monitorar parâmetros físico-químicos de maneira automática e em tempo real, com intuito de determinar e quantificar alterações em meio ambientes. A arquitetura utilizada no dispositivo foi baseada em uma estrutura modular e microcontrolada. Desenvolvemos o hardware e o software que compõe o instrumento. Este conjunto possibilitou a realização dos testes para fins de caracterização do sistema de medidas. O meio aquoso foi escolhido para a caracterização do sistema. Adaptações foram feitas para adequar o dispositivo a realizar medidas neste ambiente. Optou-se por utilizar um sistema de sensores mais flexíveis e robustos do que os utilizados em trabalhos anteriores [3]. Foi desenvolvido um módulo para o sistema que permitisse a utilização desse tipo de sensor, que consiste no protocolo SDI-12 que é ainda é pouco divulgado nacionalmente, porém é largamente adotado em sensores para monitoramento ambiental.

Com o sistema já montado e em operação, inicio-se a fase de testes. As medidas se deram em três diferentes ambientes aquáticos, em um aquário no Laboratório de Instrumentação e Medidas, em um ambiente de praia arenosa, nas proximidades do centro de pesquisas e em um efluente líquido industrial dentro das dependências da Casa da Moeda do Brasil. O intuito do teste no laboratório foi o de verificar a estabilidade do dispositivo de medida, assim como as características estáticas e dinâmicas dos dispositivos sensores. O teste conduzido em ambiente de praia arenosa tinha o objetivo de verificar o comportamento na utilização do equipamento em campo. O teste na efluente líquida seria o mais significativo, pois o Caipora foi idealizado para operar neste tipo de ambiente e os resultados dos testes contribuiriam para a melhoria do protótipo. Na análise dos testes no laboratório pôde se perceber que as características das medidas realizadas pelo equipamento estão de acordo com as das especificações dadas pelo fabricante, exceto a medida do ORP. Na análise dos testes realizados no ambiente de mar foi percebido que o dispositivo é estável o bastante para permitir medidas em ambientes de campo. Em um dos primeiros testes em ambiente externo pôde ser percebido que o tempo de amostragem ideal é de 1 minuto. O teste no efluente apresentou um desempenho dentro do esperado para o sistema. Os resultados obtidos mostraram o comportamento do equipamento ao realizar

medidas dinâmicas de Temperatura, Potencial Hidrogeniônico, Condutividade Específica na ação de monitoramento.

Uma proposta para dar continuidade ao trabalho seria a de utilizar sensores mais adaptados ao ambiente industrial, como é o caso de sensores baseados em dispositivos de fibras ópticas. Estes sensores sofrem menos a ações de agressão dos produtos químicos utilizados em estações de tratamento de efluentes. O aumento da distância que é possível transmitir dados seria um ponto importante, a utilização de links GPRS ou mesmo 3G poderiam capacitar o sistema a conexões com a Internet, o que viria a expandir as possibilidades funcionais do equipamento. O sistema de armazenamento poderia vir a sofrer algumas alterações para possibilitar a utilização de mídias mais atuais. Essa alteração estaria vinculada à atualização das unidades de processamento utilizadas atualmente nos módulos do sistema. Uma estrutura mais robusta e adaptada aos meios agressivos industriais deveria ser adotada, com vedação que reduzisse efeitos de agentes corrosivos aos componentes internos do sistema. O tempo de autonomia necessita ser expandido, o período atual se mostrou insuficiente para atender as necessidades de monitoramento do sistema. A interface de software para a utilização de um usuário precisa ser melhorada, para que se torne mais usual.

Acreditamos que o principal resultado do trabalho seja que o Projeto Caipora tem potencial para realizar o monitoramento, de maneira remota e automatizada, em ambientes aquáticos dos parâmetros de potencial hidrogeniônico, de temperatura e de condutividade específica nas especificações já descritas. O medidor de potencial de oxidação-redução mostrou um comportamento consistente com as demais medidas. Contudo, devido a nossa impossibilidade de calibração da sonda descartamos seu uso no momento.

## 7. Bibliografia

- [1] **Instrumentation: Devices and Systems**, T. Rangan, MCGRAW-Hill, 2006, Pg 1-3, 20.
- [2] **Fundamentals of Instrumentation and Measurement**, D. Placko, ISTE LTD, 2007, Pg 3-4.
- [3] **Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto**, R. Herbert, CBPF, Rio de Janeiro, 2009.
- [4] **Environmental Instrumentation and Analysis Handbook**, D. Randy, J. Down, H. Lehr, WILEY INTERSCIENCE, 2005, Pg 419-547.
- [5] **Environmental Monitoring**, Shyam Kishor Agarwal, Kul Bhushan Nangia, APH PUBLISHING CORPORATION, New Delhi, 2005, Pg 1-55.
- [6] **Poluição Urbana: as Grandes Cidades Morrem: Você Pode Salvá-las**, F. Schivartche, L. Dantas, TERCEIRO NOME, 2005, Pg 15-17.
- [7] **Pollution prevention and abatement handbook**, World Bank Group, UNITED NATIONS ENVIRONMENT, 1998.
- [8] **An Introduction to Analytical Chemistry**, S. Iqbal, M. Satake, DISCOVERY PUBLISHING HOUSE, 1999, Pg 90-93.
- [9] **Advances in Water Quality Control**, G. Krantzberg, A. Tanik, J. Antunes, SCIENTIFIC RESEARCH PUBLISHING, 2010, Pg 7-12.
- [10] **Environmental Pollution Control Engineering**, C. Rao, NEW AGE INTERNATIONAL PUBLISHERS, 2006, Pg 261-263.
- [11] **Environmental Pollution Monitoring and Control**, S. Khopkar, NEW AGE INTERNATIONAL PUBLISHERS, 2004.
- [12] **Chemistry: an Environmental Prospective**, P. Saxena, DISCOVERY PUBLISHING HOUSE, 2009.
- [13] **Groundwater Engineering**, I. Kono, M. Nishigaki, M. Komatsu, A. A. BALKEMA, 2003, Netherlands, Pg 326-327.
- [14] **Environmental Monitoring and Characterization**, J. Artiola, I. Pepper, M. Brusseau, ELSEVIER INC, 2004, Cap I, II, IV, IX, XII e XIII.
- [15] **Salinity: Environment Plants Molecules**, A. Läuchli, U. Lüttge, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2002, Pg 22-23.

- [16] **Introduction to GPS: the Global Positioning System**, A. Rabbany, ARTECH HOUSE INC, 2002, Pg 9-10.
- [17] **A Serial-Digital Interface Standard for Microprocessor-Based Sensors**, SDI-12 Support Group, SDI-12 SUPPORT GROUP, 2009.
- [18] **Modelling and Control of Mini-Flying Machines**, P. Castillo, R. Lozano, A. Dzul, SPRINGER VERLAG LONDON LIMITED, 2005, Pg 223-224.
- [19] **Secure Digital Card**, SanDisk, SanDisk, 2003.
- [20] **Internacionalização e Desenvolvimento da Indústria no Brasil**, Laplane, Coutinho, Hiratuka, EDITORA UNESP, SP, 2003, Pg 340-342.
- [21] **Fronteiras da Engenharia Química**, Melo Jr, E-PAPER SERVIÇOS EDITORIAIS, RJ, 2005, Pg 27-29.
- [22] **Responsabilidade Social Empresarial: Teoria e Prática**, G. Tenório, FGV EDITORA, RJ, 2004, Pg 13-16.
- [23] **Responsabilidade social das empresas: a contribuição das universidades**, Vários, EDITORA PEIROPOLIS, SP, 2004.
- [24] **Meio Ambientes – Acidentes, Lições, Soluções**, C. Valle, H. Lage, EDITORA SENAC, SP, 2003, Pg 23-30.
- [25] **Caminhos de uma ciência ambiental**, Mantovani, ANNABLUME EDITORA, SP, 2005.
- [27] **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, Marcos von Sperling, EDITORA UFMG, MG, 2005, Pg 27-43.
- [28] **Gestão em Biotecnologia**, A. Antunes, N. Pereira, M. Fátima, E-PAPER SERVIÇOS EDITORIAIS, RJ, 2006, Pg 158-163.
- [29] **Qualidade Ambiental - ISO 14.000**, Cyro Eyer do Valle, EDITORA SENAC, SP, 2004, Pg 26-31.
- [30] **Reduction Oxidation Potential (Electrode Method)**, D.K. Nordstrom, F.D. Wilde, U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2005.
- [31] **Chemical Technicians' Ready Reference Handbook**, Gershon J. Shugar, Jack T. Ballinger, Linda M. Dawkins, MCGRAW-HILL, EUA, 2006, Pg 657-663.
- [32] **Basic Concepts of Analytical Chemistry**, S. Khopkar, NEW AGE INTERNETIONAL, New Delhi, 2004.

- [33] **Redução de Efluentes Líquidos Industriais: Medida de Prevenção à Poluição**, Cláudia Araújo Amorim de Oliveira, Luiz Antonio Daniel, 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.
- [34] **Metodologia de Monitoração de Efluentes de Laboratórios**, Jamil da Silva, UNICAMP, SP, 2010.
- [35] **GPS18x Technical Specifications**, GARMIN LTD, USA, 2008.
- [36] **Manual de Métodos de Análise Físicas e Químicas da Água**, FEEMA, 1978.
- [37] **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 14 ed**, APHA, New York. 1975.
- [38] **Meio Ambiente e Oceanos**, Luiz Roberto Tommasi, EDITORA SENAC, SP, 2008, Pg 44-47.
- [39] **Introduction to Measurements and Instrumentation**, A. Ghosh, PHI LEARNING PRIVATE LIMITED, New Delhi, 2009, Pg 459-464.
- [40] **Alterações do Meio Físico Decorrentes de Obras de engenharia**, Fornasari Filho, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, São Paulo, 1992.
- [41] **Water Quality: an Introduction**, Claude E. Boyd, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS GROUP, USA, 2000, Pg 46-49.
- [42] **Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice**, Jonathan Love, SPRINGER-VERLAG, London, 2007, Pg 110-112.
- [43] **Instrumentação e Detectores para Potenciometria**, Rui Alexandre Santos Iapa, UNIVERSIDADE DO PORTO, Porto, 1994, Pg 5-15.
- [44] **SD Flash Controller - Reference Design RD1048**, LATTICE SEMICONDUCTOR, North América, 2009.
- [45] **Drinking Water Contaminants**, EPA, <http://water.epa.gov/drink/contaminants/>, acesso em Julho de 2011.
- [46] **Quanta**, HYDROLAB, [http://www.hydrolab.com/web/ott\\_hach.nsf/id/pa\\_quanta.html](http://www.hydrolab.com/web/ott_hach.nsf/id/pa_quanta.html), acesso em Janeiro 2011.
- [47] **NMEA - 0183 Standard**, NMEA, [http://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_083\\_v\\_400.asp](http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_083_v_400.asp), acesso em Maio de 2011.
- [48] **Spread Spectrum Wireless Data Transceiver**, FreeWave Technologies, 1995.

- [49] **Moedas e Medalhas**, Casa da Moeda do Brasil, [http://www.casadamoeda.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1&Itemid=8](http://www.casadamoeda.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=8), acesso em Maio de 2011.
- [50] **Probability and Statistics**, R. Deep, ELSEWIER, 2006.
- [51] **Registrador Multiproposito Modular para Monitoramento Remoto**, Alexandre Benevento, Geraldo Cernicchiaro, Registro de patente (21) PI0904196-6 A2, 2011.
- [52] **Embedded Hardware**, J. Ganssle, T. Noergaard, F. Eady, L. Edwards, D. Katz, Elsevier Inc, USA, 2008, Pg 303 – 305.
- [53] **Introduction to Parallel Processing**, D. Shikhare, P. Prakash, Prentice Hall, 2000, New Delhi Pg 1 – 6.
- [54] **Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos**, Márcia Dezotti, E-Papper Serviços Editoriais LTDA, 2008, Rio de Janeiro, Pg 9.
- [55] **NBR 9897 - Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987.
- [56] **Sewage and Industrial Effluent Treatment**, John Arundel, Wiley-Blackwell Science Ltd, 2000, USA, Pg 209.
- [57] **Instrumentação electrónica. Métodos e Técnicas de Medição**, Aurélio Campilho, Universidade do Porto, 2000, Pg 61.
- [58] **The art of electronics**, Paul Horowitz, Winfield Hill, Cambridge University Press, 1989.

## Anexo A – Funções do fluxograma apresentado na figura (13)

**//Função que acessa os módulos de medida e envia os dados direto para o cartão**

```
void medir(void) {
    int i,j;
    byte erro;
    // Amostra SDI-12
    erro = I2C1_SelectSlave(10); //Seleciona Módulo SDI-12 no endereço 10 //
    erro = executar_amostra(); //Requisita amostra de medida
    espera(200);
    // Amostra GPS
    erro = I2C1_SelectSlave(11); //Seleciona Módulo GPS no endereço 11
    erro = executar_amostra(); //Requisita amostra de medida
    espera(200);

    rhh= (BM>>24)&(0b11111111); //BM - Endereço do ultimo bloco que foi gravado
    rhl= (BM>>16)&(0b11111111); // Essa operação consiste em separar BM em 4
    rlh= (BM>>8)&(0b11111111); // partes de 8 bits cada
    rll= (BM)&(0b11111111);

    Comando24_open(rhh,rhl,rlh,rll); //Abre SD Card para gravação no endereço BM

    i = envia_char_SD Card('*'); //Envia carácter para o sdcard
    i = envia_char_sdcard('*');
    i = envia_char_sdcard('*');

    i = envia_char_sdcard('B');
    i = envia_char_sdcard('L');
    i = envia_char_sdcard('C');
    i = envia_char_sdcard('(');

    for(j=8;j>0;j--)
    {
        ch = double_to_string(BM, j); // concerte BM de float para string
        i = envia_char_sdcard(ch); // envia BM para o cartão em 8 dígitos
        espera(1);
    }

    i = envia_char_sdcard('(');
    i = envia_char_sdcard('&');

    i = envia_char_sdcard('C');
    i = envia_char_sdcard('T');
    i = envia_char_sdcard('R');
    i = envia_char_sdcard('(');

    for(j=8;j>0;j--)
```

```

{
  ch = double_to_string(medida_atual, j); // converte o numero da medida atual
  espera(1);                               // de float para string
  i = envia_char_sdcard(ch);                // envia numero da medida para o sdcard
}

i = envia_char_sdcard('');
i = envia_char_sdcard('&');

i = envia_char_sdcard('T');
i = envia_char_sdcard('M');
i = envia_char_sdcard('P');
i = envia_char_sdcard('');

for(j=8;j>0;j--)
{
  ch = double_to_string(timer_geral, j); // Converte o relógio interno de float
  espera(1);                               // para string
  i = envia_char_sdcard(ch);                // envia o relógio para o sdcard
}

i = envia_char_sdcard('');
i = envia_char_sdcard('&');

// Medida SDI-12
erro = I2C1_SelectSlave(10); // Seleciona Sonda no endereço i2c 10
for(i=0;i<34;i++)
{
  erro = requisitar_char(&ch); // pede um carácter ao buffer de saída
  espera(1);                               // do módulo SDCard
  j = envia_char_sdcard(ch); // envia o carácter recebido ao cartão
  erro = destruir_char(); // destroi o carácter transferido do buffer
} // de saída do modulo sdi-12

i = envia_char_sdcard('&');

// Medida GPS
erro = I2C1_SelectSlave(11); // Seleciona GPS no endereço i2c 11
for(i=0;i<100;i++)
{
  erro = requisitar_char(&ch); // pede um carácter ao buffer de saída
  espera(1);                               // do módulo Entrada RS232
  j = envia_char_sdcard(ch); // envia o carácter recebido ao cartão
  erro = destruir_char(); // destroi o carácter transferido do buffer
} // de saída do modulo entrada RS232

i = envia_char_sdcard('&');

```

```

i = 512;
while(i != 0)
{
    i = envia_char_sdcard('?'); // envia "?" ao cartão até completar 512 bytes
    espera(1);
}

BM += 512; // incrementa o endereço de medida do cartão em 512 bytes
medida_atual++; // incrementa a medida atual em 1 unidade
}

//Função que transmite um bloco do cartão pelo canal serial assíncrono
void transmitir(void)
{
    int i;
    AS1_ClearTxBuf(); // Limpa o buffer serial assíncrono de transmissão

    rhh= (BT>>24)&(0b11111111); // BT - Endereço do último bloco
    rhl= (BT>>16)&(0b11111111); // que foi transmitido
    rlh= (BT>>8)&(0b11111111);
    rll= (BT)&(0b11111111);

    Comando17_open(rhh,rhl,rlh,rll); // Abre o cartão no modo leitura

    i = 512;
    while(i != 0)
    {
        strncpy(buffer_in,"",10);
        i = recebe_char_sdcard(&ch); // recebe carácter do cartão
        espera(1);
        sprintf(buffer_in,"%c",ch); //converte byte para char
        SendMsg(buffer_in); // transmite o char pelo canal Serial
    } // Assíncrono

    if(BT<BM)
    {
        BT += 512; // incrementa de 512 bytes BT
    }
    else
    {
        BT = BM; // iguala BT a BM
    }
}

```

## Anexo B – Unidade de funções para acesso ao SDCARD

```
*/      sdcard.c      /*

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

#include "Cpu.h"
#include "Events.h"
#include "AS1.h"
#include "I2C1.h"
#include "FC1.h"
#include "AD1.h"
#include "CS_SPI.h"
#include "SPI1.h"
#include "sdcard.h"
static unsigned int bloco_contador;
static unsigned long aux=0;
int time_out_sd = 200;

int Init_MMC_SPI(void)
{
    int i,j;
    byte resp;
    while(resp == 0xFF)
    {
        SPI1_SendChar(0x95);
        SPI1_RecvChar(&resp);
    }
    if(resp != 0xFF)
    {
        for (j = 0; j < 100; j++)
        {
            SPI1_SendChar(0xFF);
        }
        for (j = 0; j < 16; j++)
        {
            SPI1_SendChar(0xFF);
        }
        return 0;
    }
    return 1;
}
```

```

int Comando0(void)
{
    int i;
    byte resp;
    resp = 0;
    SPI1_SendChar(0x40);
    SPI1_SendChar(0x00);
    SPI1_SendChar(0x00);
    SPI1_SendChar(0x00);
    SPI1_SendChar(0x00);
    SPI1_SendChar(0x95);
    for(i=0;i<time_out_sd;i++)
    {
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        if(resp == 1)
        {
            return 0;
        }
    }
    return 1;
}

```

```

int Comando1(void)
{
    int i,j;
    byte resp;
    resp = 255;
    for(j=0;j<time_out_sd;j++)
    {
        SPI1_SendChar(0x77);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_SendChar(0x69);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0x00);
        SPI1_SendChar(0xFF);
        for(i=0;i<time_out_sd;i++)
        {
            SPI1_SendChar(0xFF);

```

```

    SPI1_RecvChar(&resp);
    if(resp == 0)
    {
        return 0;
    }
}
SPI1_SendChar(0x41);
SPI1_SendChar(0x00);
SPI1_SendChar(0x00);
SPI1_SendChar(0x00);
SPI1_SendChar(0x00);
SPI1_SendChar(0xFF);
for(i=0;i<time_out_sd;i++)
{
    SPI1_SendChar(0xFF);
    SPI1_RecvChar(&resp);
    if(resp == 0)
    {
        return 0;
    }
}
return 1;
}

```

```

int Comando17_open(byte addrHH,byte addrHL,byte addrLH,byte addrLL)
{
    byte resp;
    int i,j;
    SPI1_SendChar(0x51);
    SPI1_SendChar(addrHH);
    SPI1_SendChar(addrHL);
    SPI1_SendChar(addrLH);
    SPI1_SendChar(addrLL);
    SPI1_SendChar(0x00);
    for(i=0;i<time_out_sd;i++)
    {
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        if(resp == 0)
        {
            for(j=0;j<time_out_sd;j++)
            {
                SPI1_SendChar(0xFF);
                SPI1_RecvChar(&resp);
                if(resp == 254)
                {

```

```

        bloco_contador = 0;
        return 0;
        break;
    } } }
    bloco_contador = 0;
    SendMsg("CMDopen17Fail\n\r");
    return 1;
}

```

```
int Comando17_close(void)
```

```

{
    unsigned char chr;
    int i;

    SPI1_SendChar(0xFF);
    SPI1_RecvChar(&chr);

    SPI1_SendChar(0xFF);
    SPI1_RecvChar(&chr);

    return 0;
}

```

```
int recebe_char_sdcard(byte *ch)
```

```

{
    unsigned char chr;
    if(bloco_contador >= 511)
    {
        Comando17_close();
        return 0;
    }
    else
    {
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_RecvChar(&chr);
        *ch = chr;
        bloco_contador++;
        return 512 - bloco_contador;
    }
}

```

```
int Comando24_open(byte addrHH,byte addrHL,byte addrLH,byte addrLL)
```

```

{
    byte resp;
    int i,j;
    SPI1_SendChar(0x58);
    SPI1_SendChar(addrHH);

```

```

SPI1_SendChar(addrHL);
SPI1_SendChar(addrLH);
SPI1_SendChar(addrLL);
SPI1_SendChar(0x00);
for(i=0;i<time_out_sd;i++)
{
    SPI1_SendChar(0xFF);
    SPI1_RecvChar(&resp);
    if(resp == 0)
    {
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        SPI1_SendChar(0xFE);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        bloco_contador = 0;
        return 0;
        break;
    }
}
SendMsg("abertura gravar falha\n\r");
bloco_contador = 0;
return 1;
}

```

```

int Comando24_close(void)
{
    byte resp;
    unsigned int i,j,k;
    SPI1_SendChar(0x00);
    SPI1_RecvChar(&resp);
    SPI1_SendChar(0x00);
    SPI1_RecvChar(&resp);
    //Recebe data response
    for(i=0;i<time_out_sd;i++)
    {
        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        if(resp != 255)
        {
            for(j=0;j<time_out_sd;j++)
            {
                SPI1_SendChar(0xFF);
                SPI1_RecvChar(&resp);
                if(resp == 0)
                {
                    for(k=0;k<time_out_sd;k++)
                    {

```

```

        SPI1_SendChar(0xFF);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        if(resp == 0xFF)
        {
            return 0;
            break;
        }
    }
}
}
}
}
}
return 1;
}

int envia_char_sdcard(unsigned char chr)
{
    byte resp, j;
    unsigned int i;
    if(bloco_contador == 511)
    {
        SPI1_SendChar(chr);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        if(Comando24_close() == 0)
        {
        }
        else
        {
            SendMsg("\n\rFalha CMD24 close\n\r");
        }
        return 0;
    }
    else
    {
        SPI1_SendChar(chr);
        SPI1_RecvChar(&resp);
        bloco_contador++;
        return 512 - bloco_contador;
    }
}

int inicializa_sdcard(void)
{
    int i;
    if(Init_MMC_SPI() == 0)
    {
        if(Comando00() == 0)

```

```
{
  if(Comando1() == 0)
  {
    SendMsg("InitSDCardOK\n\r");
    return 0;
  }
  else
  {
    SendMsg("Erro cmd1 sdcard\n\r");
  }
}
else
{
  SendMsg("Erro cmd0 sdcard\n\r");
}
}
else
{
  SendMsg("Erro de inicializacao sdcard\n\r");
}
return 1;
}
```

## **Anexo C – Normas utilizadas para a fabricação dos sensores apresentados no trabalho**

“From time to time, the question comes up whether or not Hydrolab equipment is EPA approved”. The answer to this question is not necessary straightforward. EPA does not “approve” field equipment or sensors. Rather, for many years, EPA has had sets of EPA methods for use under the Clean Water Act, Safe Drinking Water Act, RCRA, and others. Recently, EPA has sought to reduce the overlap of EPA methods with those published by ASTM and APHA (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater). In 1998, EPA proposed to phase out the separate EPA Methods by adopting those approved by these two organizations. The final rule to do this was implemented in 1999 with an effective date of January 2, 2000. Below are the methods used by Hydrolab equipment that are found in Standard Methods. For turbidity, the Hydrolab sensors comply with the ISO 7027 standard instead of those found in Standard Methods. The ion selective sensors for nitrate, ammonium, and chloride comply with Standard Methods provided the user treats the sample according to the prescribed procedure” (Hydrolab Inc.)

**Tabela 1C – Normas de fabricação dos sensores utilizados**

<b>Parameter</b>	<b><i>Standard Methods</i></b>
Temperature	2550
Dissolved Oxygen	4500-O
Specific Conductance	2520-B
pH	4500-H+
Oxidation Reduction Potential	2580-A
Total Dissolved Gases	2810
Nitrate	4500
Ammonium	4500-NH3
Chloride	4500-Cl-