

Execução:



Financiamento:



Projeto **ROSA**

**Robô para Operação de Stoplogs Alagados**

Título	<b>Relatório Quadrimestral 01</b>
PD	6631-0002/2013
Contrato	Jirau 151/13
Coordenador	Ramon Romankevicius Costa
Gerente	Breno Bellinati de Carvalho
Período	08.10.2013 - 08.02.2014
Data:	14 de abril de 2015

## Participante(s)

Nome	Função	Qualificação	Instituição	CPF
Ramon Romankevicius	Coordenador	DO	UFRJ	310.036.646-87
Alessandro Jacoud	Pesquisador	DO	UFRJ	028.503.687-41
Julia Campana	Pesquisador	SU	UFRJ	102.517.697-98
Renan Freitas	Pesquisador	SU	UFRJ	129.325.817-24
Eduardo Elael	Pesquisador	SU	UFRJ	045.287.677-08
Gabriel Alcantara	Pesquisador	SU	UFRJ	136.759.937-79
André Figueiró	Pesquisador	SU	UFRJ	124.207.057-050
Alana Monteiro	Auxiliar Adm.	SU	UFRJ	147.881.217-60
Patrick Paranhos	Pesquisador	MS	CIR	092.144.157-65
Breno Carvalho	Gerente	SU	ESBR	0000000
Gizelle Ferreira	Auxiliar Adm.	SU	ESBR	0000000

# Sumário

0.1	Nomenclatura . . . . .	7
0.2	Introdução . . . . .	12
0.3	Descrição do problema . . . . .	13
0.3.1	Viagem de Reconhecimento . . . . .	13
0.3.2	Operação padrão de inserção . . . . .	22
0.3.3	Operação excepcional de inserção 1 - Travamento durante inserção . . . . .	23
0.3.4	Operação excepcional de inserção 2 - Falha do desencaixe da garra pescadora . . . . .	24
0.3.5	Operação excepcional de inserção 3 - Não vedamento devido ao acumulo de detritos na base do trilho . . . . .	25
0.3.6	Operação padrão - Remoção . . . . .	25
0.3.7	Operação excepcional de remoção 1 - Falha no encaixe . . . . .	26
0.3.8	Operação excepcional de remoção 2 - Travamento durante remoção . . . . .	27
0.3.9	Operação excepcional de remoção 3 - Acúmulo de sedimentos no fundo . . . . .	27
0.4	Metodologia . . . . .	29
0.5	Pesquisa Bibliográfica . . . . .	30
0.5.1	Stoplog . . . . .	30
1	Projeto Conceitual	41

1.1	Operação excepcional de inserção 1 - Travamento durante inserção	41
1.2	Operação excepcional de inserção 2 - Falha do desencaixe da garra pescadora	42
1.3	Operação excepcional de inserção 3 - Não vedamento devido ao acumulo de detritos na base do trilho	43
1.4	Operação excepcional de remoção 1 - Falha no encaixe	44
1.5	Operação excepcional de remoção 2 - Travamento durante remoção	44
1.6	Operação excepcional de remoção 3 - Acúmulo de sedimentos no fundo	45
1.7	Conclusão do Conceito Básico	45
<b>2</b>	<b>Pesquisa Tecnológica</b>	<b>47</b>
2.1	Sensores de Contato	48
2.1.1	Sensor de força	48
2.1.2	Sensor indutivo de proximidade	50
2.1.3	Sensor capacitivo de proximidade	52
2.1.4	Conclusão de análise técnica	54
2.2	Posição Angular	56
2.2.1	Encoder	56
2.2.2	Conclusão de análise técnica	57
2.3	Mapeamento 3D	59
2.3.1	Sonar	59
2.3.2	Unidade Pan e Tilt	64
2.4	Reconstrução de superfície 3D	65
2.5	Sistema de Gerenciamento de Umbilical	70
<b>3</b>	<b>Sistema proposto</b>	<b>72</b>
3.1	Operação padrão (inspeção e remoção)	72
3.1.1	Sensores	72
3.1.2	Eletrônica embarcada	73

3.1.3	Umbilical . . . . .	76
3.1.4	Eletrônica de superfície - base . . . . .	76
3.1.5	Eletrônica de superfície - remota . . . . .	76
3.1.6	Carretel . . . . .	76
3.2	Operação Excepcional 1 - Inspeção . . . . .	77
3.3	Operação Excepcional 2 - Remoção de sedimentos sobre o olhal . .	78
<b>4</b>	<b>Fluxograma da solução</b>	<b>79</b>

# **Lista de Figuras**

1	<i>Stoplogs.</i>	8
2	<i>Lifting Beam.</i>	8
3	<i>Garra pescadora.</i>	9
4	<i>Chave de operação.</i>	9
5	<i>Olhal.</i>	10
6	<i>Guindaste.</i>	11
7	Reunião de abertura.	13
8	Modelo de turbina da Usina Jirau, observado durante o tour da Usina.	14
9	Alessandro Jacoud, observando o lifting beam da garra pescadora.	14
10	Equipe conhecendo a montagem de turbinas.	14
11	Visita de Campo.	15
12	Vista frontal do <i>Lift beam.</i>	15
13	Peça de <i>Stoplog.</i>	16
14	Peça de <i>Stoplog.</i>	16
15	Trilho para as peças de <i>Stoplog.</i>	16
16	Trilho para as peças de <i>Stoplog.</i>	17
17	Parte da análise inclui a observação da operação de <i>Stoplog</i> dentro da cabine do operador.	18
18	Operador de Portigo Rolante.	19

19	Ponto de vista do stoplog a partir da cabine do operador do pórtigo rolante.	20
20	A análise de operação, processo de engate de das garras pescadoras vista 1.	20
21	A análise de operação, processo de engate de das garras pescadoras vista 2.	21
22	A análise de operação, processo de desengate de das garras pescadoras.	21
23	Local onde ocorre o acúmulo de sedimentos no fundo.	28
24	Pressão interna se torna muito menor que a externa devido ao isolamento causado pelos sedimentos.	28
25	Mapa da região do rio Santa Clara	31
26	Stoplog em River Great Ouse	32
27	Lakefield Generating Station	33
28	Killaloe Canal	33
29	The Goolwa stoplog	34
30	The Goolwa Barrage	35
31	Stoplog de Jack Lewin	37
32	Stoplog de Jack Lewin	38
33	Lifting Beam da Hatch	39
34	Lifting Beam da AtlasPolar	40
2.1	Exemplo de um sensor de força: cilindro com strain gauge acoplado.	49
2.2	Exemplo de instalação de sensor de força em garra.	50
2.3	Lifting Beam desenvolvido pela empresa HATCH	52
2.4	Sensor capacitivo	53
2.5	Sensor indutivo do fornecedor Pepperl-Fuchs.	55
2.6	Sistema interno de um encoder.	57
2.7	Encoder do fornecedor IFM	58

2.8	Típico feixe em formato de leque de sonares tipo <i>imaging</i> . . . . .	60
2.9	Sonar <i>imaging</i> sendo arrastado para mapeamento das profundezas	61
2.10	Típico feixe em formato de cone de sonares tipo <i>profiling</i> . . . . .	62
2.11	Tipos de Sonares . . . . .	63
2.12	Exemplo de uma reconstrução 3D da saída de uma barragem dos dados obtidos de um sonar 3D. . . . .	65
2.13	Exemplo de uma reconstrução tridimensional representado por uma Pointcloud . . . . .	66
2.14	Exemplo de uma reconstrução tridimensional representado por um Mapa de Elevação . . . . .	67
2.15	Divisão recursiva do espaço em octantes . . . . .	68
2.16	<i>Esquerda:</i> Representação do ambiente utilizando pointclouds e sem a possibilidade de se diferenciar espaços desconhecidos e vazios. <i>Meio:</i> Representação em octomap com os espaços vazios omitidos. <i>Direita:</i> Representação em octomap com os espaços vazios em cinza claros e os ocupados em cinza escuro. . . . .	68
3.1	Diagrama de interfaces . . . . .	75

## 0.1 Nomenclatura

- *Stoplog*: Bloco de aço com vinte metros de comprimento, três metros de altura e três metros de largura (20x3x3 m). O fluxo de água do rio é controlado pelo empilhamento de *Stoplogs* (figura 1 ).
- *Lifting Beam*: Estrutura mecânica responsável pelo deslocamento de *Stoplogs*, composta por: duas garras não atuadas, duas chaves de operação, vigas e mecanismo. Um guindaste atua neste mecanismo (figura 2 ).
- *Garra pescadora*: Garra localizada no *Lifting Beam* que se prende ao *Stoplog*. O mecanismo é composto por duas garras (figura 3 ).
- *Chave de operação*: Localizada na viga principal, próxima à garra pescadora, seleciona o modo de operação. Atuada manualmente (figura 4 ).
- *Olhal*: Grande ilhó localizado na parte superior do *Stoplog* utilizado como ponto de encaixe para a *Garra pescadora* (figura 5 ).
- *Guindaste*: O guindaste é capaz de sustentar todo o conjunto *Lifting Beam/ Stoplog* e é atuado por um motor elétrico (figura 6 ).



Figura 1: Stoplogs.



Figura 2: Lifting Beam.



Figura 3: *Garra pescadora.*



Figura 4: *Chave de operação.*



Figura 5: *Olhal.*

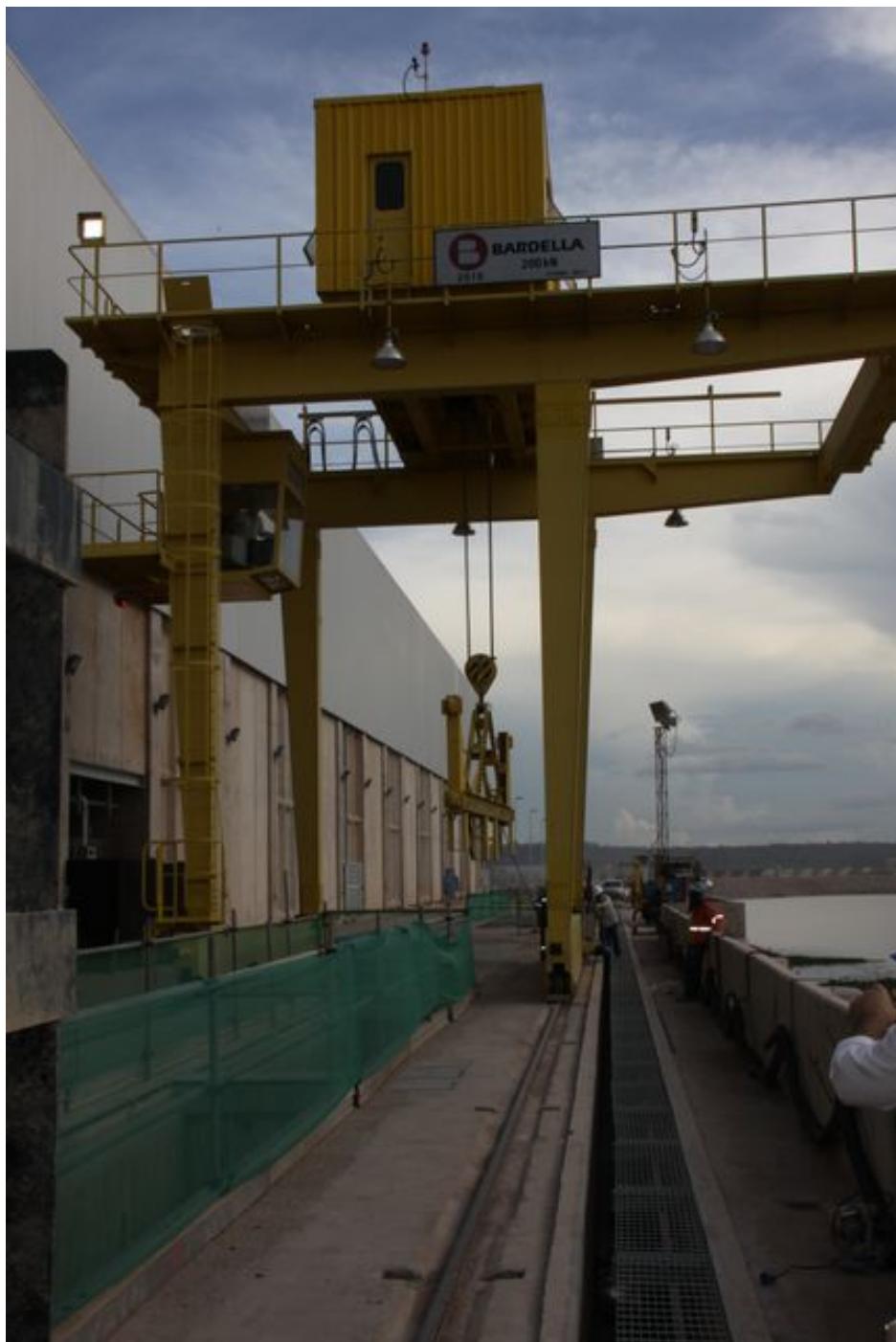


Figura 6: Guindaste.

## 0.2 Introdução

No primeiro quadrimestre do projeto ROSA, período de 8.10.2013 ao 8.01.2014, foi realizada o projeto básico. O projeto básico é o conjunto de elementos necessários e suficientes que caracterizam o trabalho a ser realizado e resultado de estudos técnicos preliminares que asseguram a viabilidade do projeto.

Este documento apresentará as etapas realizadas para o desenvolvimento do projeto básico, organizado nas seguintes seções:

- **Descrição do Problema:** descrição do problema e os modos de operação do processo atual.
- **Metodologia:** a técnica de análise científica utilizada no desenvolvimento do projeto Básico.
- **Pesquisa Bibliográfica:** revisão das contribuições existentes na literatura sobre o problema de operação de Stoplogs alagados.
- **Escopo:** descrição das características e funções que caracterizam o robô para operação de Stoplogs alagados - ROSA.
- **Pesquisa Tecnológica:** pesquisa prescritiva aplicada ao escopo do projeto.
- **Conclusão do Projeto Básico:** descrição da solução robótica ROSA.
- **Fluxograma:** fluxograma da operação de inserção e remoção considerando a utilização da solução robótica ROSA.
- **Referências Bibliográficas**

## 0.3 Descrição do problema

Esta seção descreve o problema que será atacado a partir dos modos de operação executados durante o processo de vedação do rio.

### 0.3.1 Viagem de Reconhecimento

A viagem a Usina Jirau aconteceu entre os dias 10 e 13 de Novembro de 2013. A equipe foi formada por Patrick Paranhos, Ramon Romankeviciuz, Alessandro Jacoud e Julia Campana. A viagem teve um caráter inicial, o objetivo foi realizar a reunião de abertura, passando por uma análise inicial do problema, assim como a análise de uma operação de Stoplog. Complementarmente, a visita proporcionou ao grupo a oportunidade de conhecer pessoalmente os responsáveis pelo projeto na ESBR. Na reunião de abertura, esclarecemos questões de ordem técnica e também questões ligadas aos procedimentos da ESBR em Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento - (P&D). Por parte da ESBR estavam presentes Breno Mollinati, Ramon Campos e Gizele Ferreira. Após a reunião de abertura fomos conduzidos a um pequeno "tour" pela usina afim de conhecer melhor as instalações e as atividades lá realizadas. Figs. (7,8,9,10).



Figura 7: Reunião de abertura.



Figura 8: Modelo de turbina da Usina Jirau, observado durante o tour da Usina.



Figura 9: Alessandro Jacoud, observando o lifting beam da garra pescadora.



Figura 10: Equipe conhecendo a montagem de turbinas.

Posteriormente a reunião de abertura e ao tour pela usina, o grupo realizou a reunião de análise inicial do problema, onde os problemas existentes nas operações de inserção e remoção de Stoplogs foram discutidos. Por fim, foi feita a visita de campo para o acompanhamento da operação de Stoplog, visando a melhor compreensão por parte dos pesquisadores da metodologia e equipamento envolvido nas operações de Stoplogs. . Figs. (11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22).



Figura 11: Visita de Campo.



Figura 12: Vista frontal do *Lift beam*.



Figura 13: Peça de *Stoplog*.



Figura 14: Peça de *Stoplog*.



Figura 15: Trilho para as peças de *Stoplog*.



Figura 16: Trilho para as peças de Stoplog.



Figura 17: Parte da análise inclui a observação da operação de *Stoplog* dentro da cabine do operador.



Figura 18: Operador de Portigo Rolante.

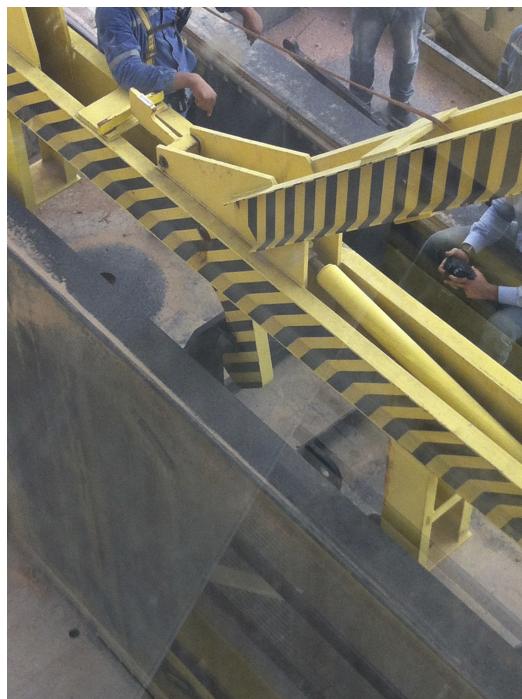


Figura 19: Ponto de vista do stoplog a partir da cabine do operador do pórtigo rolante.



Figura 20: A análise de operação, processo de engate de das garras pescadoras vista 1.



Figura 21: A análise de operação, processo de engate de das garras pescadoras vista 2.



Figura 22: A análise de operação, processo de desengate de das garras pescadoras.

Esta seção é subdividida em dois modos de operação padrão: inserção e remoção de *Stoplogs*. Cada modo de operação padrão possui três modos de operações excepcionais, realizados em caso de falhas discutidas durante esta seção.

### 0.3.2 Operação padrão de inserção

A operação padrão de inserção consiste: em inserção de *Stoplogs* no Rio Madeira para o controle de seu fluxo de água, a fim de realizar a manutenção de turbinas de um sistema de geração de energia elétrica. Esta operação assume as seguintes **hipóteses**:

1. O trilho está livre de obstáculos e sedimentos que poderiam impedir a execução da tarefa.
2. O conjunto *Lifting Beam/stoplog* não sofre inclinações e desnívelamento em relação ao trilho, portanto o *stoplog* desliza pelo trilho sem travamento.
3. O desencaixe do conjunto *Lifting Beam/stoplog* é realizado com sucesso.
4. O primeiro *stoplog* a ser inserido é posicionado corretamente e veda a base do trilho.

A operação de inserção de *Stoplogs* é composta pelas seguintes **etapas**:

1. Auxiliar de operação manualmente modifica o estado da *chave de operação* para **Encaixe**.
2. Operador controla o guindaste, o qual desloca o conjunto *Lifting Beam* e *Garras Pescadoras*, até a posição do *Stoplog*, que se encontra em terra, e realiza o encaixe. O encaixe bem sucedido é caracterizado pelo acoplamento correto das duas garras pescadoras com o *Stoplog*. (FIGURA)
3. Auxiliar de operação manualmente modifica o estado da chave de operação para **Desencaixe**.

4. Operador controla o guindaste, o qual desloca o *Lifting Beam* junto com o *Stoplog*, até os trilhos localizados na barragem, onde os *Stoplogs* deverão ser empilhados.
5. Operador desce o conjunto *Lifting Beam* e *Stoplog* guiado pelo trilho.
6. O desencaixa do conjunto *Lifting Beam/Stoplog* é realizado quando o conjunto é impedido de continuar seu curso. Isso ocorre pelo contato do *Stoplog* com o fim da guia ou pelo contato com outro *Stoplog* que já tinha sido posicionado (empilhamento). O desencaixe ocorre, pois, no contato, há perda de tensão no cabo de sustentação do *Lifting Beam* e de forma mecanicamente passiva a garra abre.
7. O procedimento é repetido até que haja *Stoplogs* suficientes para impedir o fluxo de água.

Durante todo o procedimento de inserção, o operador pode monitorar o nível de tensão exercido ao *Lifting Beam* pelo motor elétrico. Um sensor de força strain gauge é responsável por essa informação, porém há complicações em sua calibração. Dessa forma, o operador infere o nível de tensão aplicado de acordo com o ruído sonoro gerado pelo motor.

### **0.3.3 Operação excepcional de inserção 1 - Travamento durante inserção**

Durante a descida do conjunto *Lifting Beam/Stoplog* pelo operador (etapa 5 da operação padrão de inserção), se assumirmos que o trilho não está livre de obstáculos, detritos ou que possui alguma deformação da estrutura do trilho, existe a possibilidade do *stoplog* começar a se inclinar (falsas as hipóteses 1 e 2), o que pode gerar o travamento da operação.

Ao notar o travamento, o operador continuamente ergue e desce o conjunto *Lifting Beam/Stoplog* em um processo de tentativa e erro, até a tarefa ser realizada com sucesso.

Caso o grau de inclinação do Stoplog seja acentuado, o mesmo pode travar completamente no trilho. O risco de tal acontecimento é que o desencaixe entre a *Garras Pescadoras* e o *Stoplog*, durante o processo de inserção, é mecânicamente passivo. Logo, existe a possibilidade de haver uma perda de tração no cabo dado o travamento, o que acarretará em desengate parcial ou total prematuro do Stoplog.

Em caso de desencaixe parcial (apenas uma das garras) será necessário o envio de um equipe de mergulhadores para corrigir o problema. Uma operação lenta e de alto risco de vida, durante a qual o sistema hidráulico está inoperante.

Em caso de desengate total prematuro, o Stoplog cai até o solo sem controle, podendo resultar em danos a estrutura. Neste caso é necessário um processo de inspeção por mergulhadores para determinar a extensão do dano causado e para recuperação do Stoplog.

#### **0.3.4 Operação excepcional de inserção 2 - Falha do desencaixe da garra pescadora**

Existe a possibilidade de ao final da operação de inserção não haver o correto desengate do Stoplog. Esta falha pode ser parcial, apenas uma das *garras pescadoras* se mantém acoplada, ou total, ambas as *garras pescadoras* se mantém acoplada. O operador só pode inferir a ocorrência de um desengate mal sucedido pela tração do cabo do guindaste ao tentar levantar o *Lifting Beam*.

Ao notar a falha no desengate, o operador continuamente ergue e desce o conjunto *Lifting Beam/Stoplog* em um processo de tentativa e erro, até a tarefa ser realizada com sucesso. Entretanto, se o desengate for parcial existe o risco do Stoplog inclinar no trilho, resultando em seu subsequente travamento. Atualmente, o único modo de solucionar e determinar a natureza do problema é através do envio de mergulhadores.

### 0.3.5 Operação excepcional de inserção 3 - Não vedamento devido ao acumulo de detritos na base do trilho

Uma violação da **hipótese 1**, ou seja, existência de sedimentos ou obstáculos, nesse caso no fundo do rio, pode acarretar em um mau posicionamento do *stoplog* resultando em uma má vedação do circuito hidráulico (falha da **hipótese 4**). A falha na vedação acarreta que não seja possível a drenagem do circuito hidráulico, resultando em atrasos na inspeção planejada e no retorno da geração.

Atualmente, o único método possível para averiguação da causa da obstrução e solucionamento do problema é através do envio de mergulhadores.

### 0.3.6 Operação padrão - Remoção

A operação padrão de remoção consiste em, basicamente, a operação inversa à da inserção de *Stoplogs*. Esta operação assume as seguintes **hipóteses**:

1. Encaixe bem sucedido entre o conjunto *Lifting Beam/stoplog* realizado dentro d'água.
2. Não há acúmulo de sedimentos entre *stoplogs* e entre *stoplog* e base do trilho. Dessa forma, não há diferença extra de pressão hidrostática a ser vencida pelo *Lifting Beam*.
3. O conjunto *Lifting Beam/stoplog* se movimenta livremente pelo trilho, sem obstáculos e sedimentos.
4. O conjunto *Lifting Beam/stoplog* é removido do trilho e depositado em solo sem sofrer inclinações.
5. O desencaixe do conjunto *Lifting Beam/stoplog* é realizado com sucesso.

A operação de remoção de *Stoplogs* é composta pelas seguintes **etapas**:

1. Auxiliar de operação manualmente modifica o estado da *chave de operação* para **Encaixe**.

2. Operador controla o guindaste, o qual desloca o conjunto *Lifting Beam* pelo trilho até a posição do *Stoplog*, submerso. O encaixe bem sucedido é realizado dentro d'água.
3. O conjunto *Lifting Beam / Stoplog* é removido da barragem pelo trilho.
4. Auxiliar de operação manualmente modifica o estado da chave de operação para **Desencaixe**.
5. *Stoplog* é depositado em solo.
6. O procedimento é repetido até todos os *Stoplogs* serem removidos *Stoplogs*.

### 0.3.7 Operação excepcional de remoção 1 - Falha no encaixe

O encaixe no olhal do *Stoplog* é realizado de forma passiva e sem feedback quando a operação é realizada submersa. É importante observar que o operador não recebe nenhum tipo de feedback com relação a encaixe e desencaixe da garra pescadora. Como a operação é realizada debaixo d'aguá, sem visibilidade, o processo de encaixe no *Stoplogs* se torna uma longa série de tentativas e erros, na qual o *Lifting Beam* é suspenso e submerso inúmeras vezes.

Um encaixe mal sucedido durante a etapa 1 (a hipótese 1 não satisfeita) pode ser decorrente de uma tentativa de encaixe com o *Lifting Beam* inclinado ou por detritos presentes no olhal do *Stoplog* ou em sua superfície. Um encaixe mal sucedido pode acarretar em um desencaixe durante o percurso ou um encaixe parcial, ocasionando a queda ou travamento do *Stoplog* (necessitando a realização da **Operação excepcional de remoção 2**).

Caso não ocorra nenhum encaixe, é realizada múltiplas tentativas até um encaixe completo. Entretanto, se não houver sucesso, mergulhadores são enviados para a inspeção do olhal e da superfície do *Stoplog* a procura de detritos obstruindo o encaixe.

Em caso de engate parcial (apenas uma das garras), auxiliares mergulhadores são enviados para alterar a posição da *Chave de Operação*, para a realização do desencaixe das *Garras Pescadoras*. Quando o engate parcial não é percebido em tempo hábil, devido a ausência de feedback (operação submersa), existe o risco de inclinação acentuada do *Stoplog* ao ser levantado por apenas um olhal, podendo resultar em travamento da operação.

### **0.3.8 Operação excepcional de remoção 2 - Travamento durante remoção**

Caso o conjunto *Lifting Beam/Stoplog* não possa se mover livremente pelo trilho (hipótese 3 não satisfeita), o conjunto poderá começar a se inclinar e, assim,occasionar um possível travamento do sistema. O único feedback presente nesse tipo de erro é a tração no cabo do guindaste. O operador continuamente ergue e desce o conjunto *Lifting Beam/Stoplog* em um processo de tentativa e erro, até a tarefa ser realizada com sucesso. Caso o problema não seja solucionado, é necessário o envio de mergulhadores para averiguação e correção.

### **0.3.9 Operação excepcional de remoção 3 - Acúmulo de sedimentos no fundo**

Uma vez que a inserção é realizada com sucesso, mantendo então a **hipótese 4**, pode-se ocorrer um posterior acúmulo de sedimentos na base, ou seja, uma violação da **hipótese 2**.

Os sedimentos acumulados no vão inferior (vide figura 23) do *stoplog* em contato com o solo ocasiona um efeito efeito ventosa. Eles formam uma barreira que forma uma contenção à pressão hidrostática da água (vide figura 24) eliminando a força devido ao princípio de arquimedes.

As medidas tomadas atualmente consistem apenas em força bruta. Puxa-se o *stoplog* com um guindaste com força suficiente para vencer a pressão da coluna d'água, o que comumente acarreta em danos ao próprio *stoplog* e aos equipamentos envolvidos.



Figura 23: Local onde ocorre o acúmulo de sedimentos no fundo.

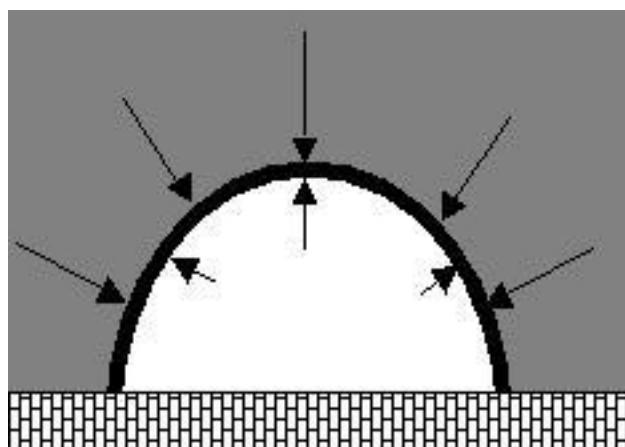


Figura 24: Pressão interna se torna muito menor que a externa devido ao isolamento causado pelos sedimentos.

## 0.4 Metodologia

Após a análise e compreensão do problema de inserção e remoção de Stoplogs, descrito na seção **Descrição do Problema**, foi feita uma pesquisa **Pesquisa Bibliográfica** e *brainstorm* com o objetivo de alcançar um conceito sólido de solução ao problema.

A partir do resultado dessa pesquisa foi desenvolvido um conceito base de solução robótica, descrito na seção **Escopo**. Baseado neste conceito, foram realizadas pesquisas de tecnologias e de fornecedores (secção **Pesquisa Tecnológica**) de forma recursiva e convergente com relação aos resultados. Isto é, com base nas pesquisas de solução tecnológicas possíveis, buscam-se fornecedores compatíveis e com o resultado e informação dos produtos dos fornecedores encontrados faz-se novamente uma pesquisa de tecnologia , agora mais aprofundada, e assim sucessivamente até encontrar-se um resultado final satisfatório.

Esta pesquisa já é focada nos componentes a serem utilizados, dessa maneira, os fornecedores escolhidos eram baseados não somente na conformidade técnica, mas também tempo de entrega, dificuldade de importação, suporte e reconhecimento. O escopo inicial de solução é então atualizado e detalhado de acordo com o resultado desta pesquisa, resultando na descrição do robô a ser construído no projeto (secção **Conclusão do Projeto Básico**).

## 0.5 Pesquisa Bibliográfica

### 0.5.1 Stoplog

O termo stoplog deriva do tempo em que eram utilizados blocos de madeira para isolar instalações de eclusas. Atualmente, stoplogs são estruturas da engenharia hidráulica utilizadas para o controle do fluxo de água de um rio, canal ou reservatório. Essas estruturas são normalmente blocos de metal (ferro) moldados para suportarem grande pressão hidrostática.

Stoplogs não podem ser posicionados livremente em grande fluxo de água, por serem suscetíveis à vibração tanto na imersão quanto na emersão. Portanto, são guiados por trilhos no local do seu posicionamento.

Nesta seção, serão apresentadas diversas instalações que fazem proveito desta tecnologia, a sua instrumentação e sensoriamento, tipos de vedação, vantagens/desvantagens desta tecnologia, propriedades físicas do sistema, e problemas durante a instalação.

#### Santa Clara River

Localizado na Califórnia, as principais áreas que contornam o rio Santa Clara são: Ventura Road, Strouble Drain, Wagonwheel Shopping Center e Mobile Home Park, áreas 285-1, 285-2 e 285-3, respectivamente, da figura 25.



Figura 25: Mapa da região do rio Santa Clara

Em janeiro de 2005, o rio atingiu um fluxo de  $3851\ m^3/s$ , alagando as regiões da Venture Road e comprometendo Strouble Drain. A partir de então, houve investimento na construção de portas hidráulicas para medir o fluxo do rio.

Stoplogs foram uma solução em Strouble Drain para prevenir inundações em Riverpark. Porém, pode haver problemas quando um fluxo muito grande de água não é drenado, causando inundação de áreas vizinhas. Portanto, Strouble deve ser observado durante o alto fluxo, pois pode haver reversão do fluxo da água. O processo de inserção de Stoplogs é realizado manualmente por guindaste e demora em torno de 3 horas.

### River Great Ouse

Localizado em King's Lynn, na Inglaterra, o rio Ouse sofria problemas de inundações mesmo após 1988, quando foi instalada uma porta hidráulica de 16m. Em agosto de 2006, houve a construção de um novo sistema de defesa utilizando sete sto-

plogs 16mx9m com 7.5 toneladas cada. Em Alexandra Dock, porto comercial de King's Lynn, os stoplogs são erguidos por guindastes móveis.



Figura 26: Stoplog em River Great Ouse

Os três últimos stoplogs, que formam a base, apresentam quatro válvulas tipo flap não retornáveis para reduzir o nível do rio. Lakefield Generating Station

#### **Lakefield Generating Station**

Em 1928, Lakefield, Canada, foi construída a planta de geração de energia no rio de Ontario, Otonabee River. A água passa por quatro comportas de 6 m até uma guia de adução, parede de concreto de 533.4 m para direcionar a água até a casa de energia. Essas comportas podem ser fechadas com stoplogs quadrados de madeira de 35.6 cm. Da guia de adução, a água é direcionada até três comportas de 4.3 m de comprimento também equipadas com stoplogs e chega na turbina.



Figura 27: Lakefield Generating Station

### Killaloe Canal

Localizado no rio Shannon, Irlanda, o canal de Killaloe é passagem de embarcações de pequeno porte. O canal, porém, tornou-se redundante em 1929 com a instalação da hidrelétrica de Ardnacrusha devido ao aumento do nível do rio. Dessa forma, novas portas foram instaladas no local e, para assistir a instalação e futura manutenção, dois conjuntos de stoplogs de ferro serão utilizados.



Figura 28: Killaloe Canal

### The Goolwa Barrage

Localizado na Austrália, Goolwa compreende cinco barragens que ligam o lago Alexandrina e o rio Murray Mouth. O controle do nível da água é realizado tipicamente com stoplogs e pequeno número de portas radiais e automáticas. Períodos

de baixo fluxo de água no rio, stoplogs e portas fecham completamente o fluxo e assiste em manter o nível do lago. Em casos de inundações , stoplogs são removidos e as portas hidráulicas são abertas.



Figura 29: The Goolwa stoplog



Figura 30: The Goolwa Barrage

### Conclusão das aplicações

Stoplogs são utilizados com ampla finalidade: controle de nível d'água do rio para prevenir inundações, regular nível para a reutilização de comportas em rios que sofreram grande variação de fluxo devido a hidrelétricas, bloquear fluxo d'água para construção de barragens e manutenção, reduzir fluxo de água para turbinas. As vantagens na utilização desta tecnologia são:

- Provê excelente controle de nível de água e drenagem.
- Ajustável ao nível da água desejado: empilhamento e válvulas flap.
- Baixa manutenção.
- Fabricação e projeto são normalmente de baixo custo.
- Pode ser fixado no local ou móvel.

As desvantagens na utilização desta tecnologia são:

- Pode apresentar vazamento.
- Difícil remoção em caso de grande pressão hidrostática.
- Operados manualmente.
- Restritivo a passagem de peixes.
- Não há proteção contra inundações acima do último stoplog.
- Facilmente adulterado ou vandalizado.
- Pode requerer infraestrutura com proteção adicional devido à manipulação de objetos de grande porte.

#### **Propriedades físicas, instrumentação e sensoriamento de stoplogs**

Jack Lewin, em seu livro Hydraulic Gates and Valves: In Free Surface Flow and Submerged Outlets, estuda as propriedades de um stoplog e Lifting beam semelhantes aos utilizados no projeto ROSA. Na figura 31, pode ser observada a vedação inferior ‘a’ e superior ‘b’ do stoplog, e uma válvula ‘d’ conectada ao olhal de tal forma que ao encaixar o Lifting Beam e início de movimento, a válvula é aberta para igualar a pressão hidrostática da parte superior com a inferior do stoplog. O sensor de contato mecânico (haste) ‘e’, no stoplog, é posicionado na parte inferior ou superior. O deslocamento da haste permite o desencaixe da garra.

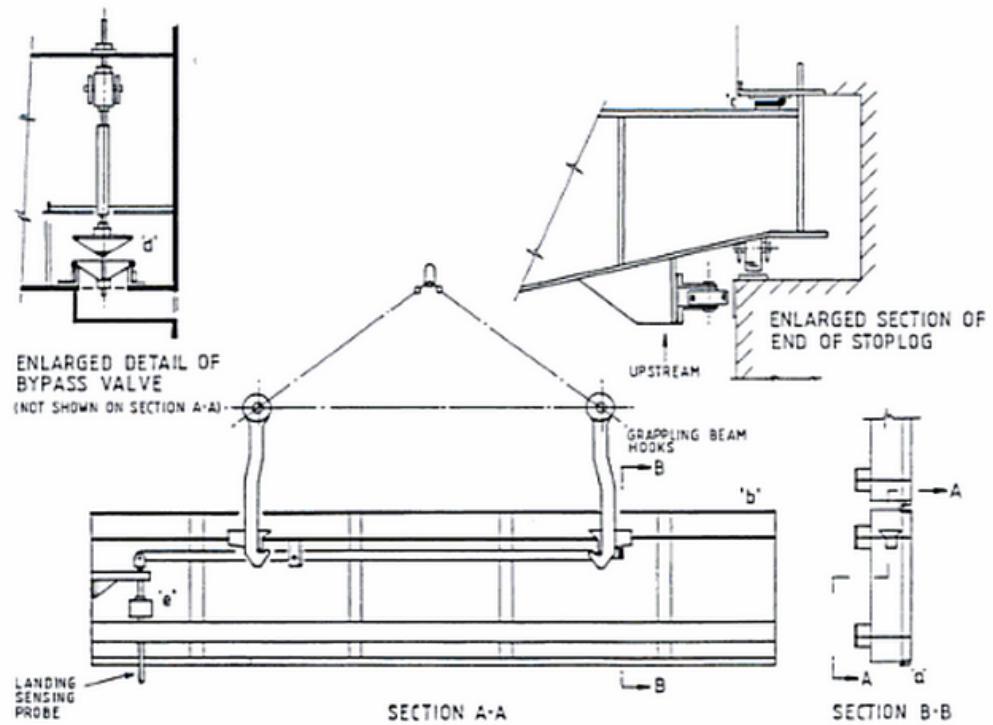


Figura 31: Stoplog de Jack Lewin

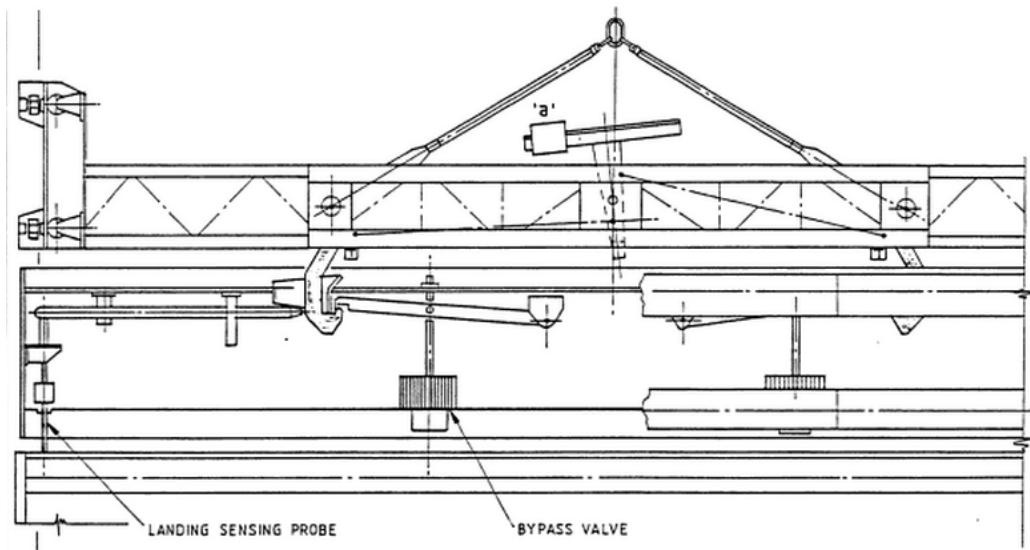


Figura 32: Stoplog de Jack Lewin

Apesar de possuir design semelhante, o stoplog a ser utilizado no projeto ROSA não é instrumentado como o modelo estudado por Jack Lewin. O sensor de mecânico de contato, acoplado à haste que realiza o desencaixe, e a válvula reguladora de pressão hidrostática não estão disponíveis na versão simplificada do stoplog do projeto.

Em Design of Movable Weirs and Storm Surge Barries: Report of Working Group 26, a Inglaterra busca a padronização de stoplogs por razões de fabricação, econômica e manutenção. Em Lagan, Irlanda do Norte, os stoplogs são padronizados e as portas hidráulicas foram construídas de tal forma a suportar a estrutura. Os stoplogs têm 13,8m de comprimento, 1,25 m de espessura e pesam 7018 kg. Esses e outros stoplogs utilizados no Reino Unido, porém, não apresentam os sensores descritos por Jack Lewin.

Em Ivanhoe River 2009, em Ontario, Canada, stoplogs sem sensoriamento foram instalados para o controle do fluxo do rio. A fim de não alterar a estrutura do stoplog, a solução da empresa Hatch ficou responsável pelo desenvolvi-

mento de um Lifting Beam para monitoramento da operação. As garras foram instrumentadas com sensores indutivos para monitorar o contato, além de serem independentemente atuadas.



Figura 33: Lifting Beam da Hatch

Outra solução semelhante, que realiza a instrumentação no Lifting Beam, foi utilizada pela Atlaspolar. De mesma forma, sensores indutivos e de força são acoplados ao Lifting Beam. O processo requer diversos stoplogs, o que inviabiliza sua instrumentação pelo custo e, principalmente, por corrosão e danos por impacto, vibração.



Figura 34: Lifting Beam da Atlaspolar

A manutenção de stoplogs é realizada fazendo-se a inspeção da região de vedação, área de contato entre stoplogs. Esta área perde a pintura e é de fácil localização, sendo realizada, normalmente, anualmente.

# Capítulo 1

## Projeto Conceitual

Esta seção aborda a solução conceitual construída a partir da análise dos modos de operação e falhas expostas na seção **Descrição do Problema** e da revisão bibliográfica realizada na seção **Revisão Bibliográfica**. Conceitualmente, o robô ROSA será constituído por um conjunto de sensores e atuadores a prova d'água que serão instalados no *Lifting Beam*. As subseções que se seguem descrevem o projeto conceitual direcionado a cada falha de operação, definindo assim o sensoriamento e atuação necessária para o sistema.

### 1.1 Operação excepcional de inserção 1 - Travamento durante inserção

As falhas consequentes da operação excepcional de inserção 1 - travamento do *stoplog*, ocorrem devido à inclinação excessiva do *stoplog* no trilho e pela liberação prematura do *stoplog*. Logo, os mesmos podem ser evitados através do monitoramento da inclinação do *Lifting Beam* e pelo monitoramento do engate entre *Garra Pescadora* e *stoplog*.

Dado o acoplamento mecânico entre o *Lifting Beam* e o *stoplog* é possível medir a inclinação do *stoplog* através da medição da inclinação do *Lifting Beam*.

Logo, a solução conceitual para executar este monitoramento será a instalação de um inclinômetro dentro da eletrônica embarcada acoplada ao *Lifting Beam*.

Devido à geometria do *Lifting Beam*, no desencaixe entre *Garra Pescadora* e *Stoplogs*, a *Garra Pescadora* deve obedecer uma sequência de posições angulares conhecidas. A partir desse fato, é possível monitorar o status do engate por meio de monitoramento da posição da *Garras Pescadoras* com relação ao *Lifting Beam*. Cada *Garra Pescadora* é acoplada ao *Lifting Beam* através de um único eixo, logo a posição da mesma é diretamente relacionada a posição angular deste eixo. Por conseguinte, através da medição da posição angular deste eixo é possível medir a posição da *Garra Pescadora*.

O engate entre a *Garras Pescadoras* e o *Stoplog* pode ser medido também através de sensores de contatos nas extremidades das *Garras Pescadoras*. Considerando o fato que não é possível prever todos os cenários que podem ocorrer durante a operação do *Stoplog*, a solução conceitual irá considerar ambas as soluções para medição do engate/desengate.

Vale ressaltar que o projeto conceitual visa o monitoramento da operações. O operador, a partir dos dados recebidos, pode decidir em continuar a tarefa ou reiniciá-la, podendo assim evitar as situações extremas que resultariam em danos a infraestrutura.

## 1.2 Operação excepcional de inserção 2 - Falha do desencaixe da garra pescadora

As consequências danosas de um desencaixe mal sucedido entre o *Stoplog* e as *Garras Pescadoras*, como desencaixe parcial, ocorrem principalmente devido à falta de feedback na operação de inserção dos *Stoplogs*. Logo, a solução conceitual será o monitoramento redundante (medição da posição angular e do contato) do status do engate e por conseguinte evitar possíveis danos a estrutura.

A solução concebida não atua diretamente na movimentação das garras,

entretanto possibilita um monitoramento de todos os parâmetros fundamentais para uma operação correta e eficiente e, assim, permite, em tempo real, que ajustes sejam realizados para se finalizar a operação com sucesso.

A solução da atuação ativa das *Garras Pescadoras* através de motores foi discutida com os operadores de stoplogs e desconsiderada como uma solução viável, pois tal solução iria alterar significativamente a estrutura mecânica do sistema e, por conseguinte, reduziria o grau de robustez do mesmo. Logo, a aplicação ou não de tal atuador ficará em aberto para futuras discussões e não será parte da solução conceitual inicial do projeto ROSA.

### **1.3 Operação excepcional de inserção 3 - Não vedamento devido ao acumulo de detritos na base do trilho**

Atualmente, não existe um método eficiente de se realizar uma inspeção prévia da base do trilho do Stoplogs antes da inserção. A má vedação, em geral, só é detectada quando o escoamento do circuito hidráulico falha, resultando no envio de mergulhadores para averiguação da causa do problema.

Logo, propõe-se uma solução de inspeção inicial através da realização do mapeamento 3D da base do trilho. O mapeamento 3D proporciona a vantagem de não apenas detectar a existência, mas, também, de se conhecer a extensão e volume do detrito/silte acumulado. Logo, possibilitando uma decisão informada do método mais eficiente para remoção do detrito/silte.

A solução conceitual para remoção de pequenos detritos e acúmulos de silte será através de um sistema de bombeamento submarino direcionado a região obstruída. A metodologia/sistema para a remoção de detritos/silts acumulados na base do trilho de grande volume vai além da robotização da *Garra Pescadora* e não faz parte do escopo deste projeto.

## 1.4 Operação excepcional de remoção 1 - Falha no encaixe

A solução conceitual de monitoramento redundante (medição da posição angular e do contato) do status do engate, possibilita verificar se a operação de engate foi realizada com sucesso. Evitando, assim, a tentativa de remoção do *Stoplog* quando o engate for apenas parcial, o que pode vir a danificar a estrutura.

Entretanto, apenas o monitoramento do status do engate não permite ao operador determinar a causa da falha. Logo, a solução conceitual irá incluir um sistema para mapeando 3D do topo do stoplog e da região do olhal, o que possibilita a visualização do problema sem a necessidade do envio de mergulhadores.

A causa mais comum, de acordo com o pessoal de operação da ESBR, para este tipo de falha é o acúmulo de detritos/silte na região do olhal. Logo, o projeto irá apresentar uma solução conceitual de limpeza ativa através de uma bomba submarina. O mapeamento de todas as causas possíveis para a falha do engate e suas soluções vai além do escopo deste projeto.

## 1.5 Operação excepcional de remoção 2 - Travamento durante remoção

O travamento do *Stoplog* durante a remoção é causado pela inclinação excessiva do Stoplog no trilho, o que resulta em um desalinhamento e subsequentemente no travamento da operação. Logo, através do monitoramento contínuo por um inclinômetro instalado no *Lifting Beam* é possível que o operador tome as medidas preventivas necessárias para evitar o travamento.

## 1.6 Operação excepcional de remoção 3 - Acúmulo de sedimentos no fundo

O método para a resolução da condição de acúmulo de sedimentos no fundo, descrita na subseção 0.3.9, não faz parte do escopo deste projeto.

## 1.7 Conclusão do Conceito Básico

Dados as falhas e os conceitos desenvolvidos nas subseções acima, o sensoriamento e atuação necessária para o robô ROSA será:

- medição de contato entre a *Garra Pescadora* e o *Stoplog*;
- medição do posicionamento angular da *Garra Pescadora*;
- medição da inclinação do *Lifting Beam*;
- medição da profundidade do *Lifting Beam*;
- mapeamento 3D do fundo do trilho e do topo do *Stoplog*; e
- limpeza por jato de água pressurizado.

Os sensores medirão dados detalhados sobre o atual status da operação de inserção/remoção dos *stoplogs* permitindo ao operador tomar decisões com base nessas informações, otimizar a operação e evitar possíveis problemas. Entretanto, para o mesmo, os dados medidos em baixo d'água precisam estar disponíveis para vizualização do operador que se encontra no pórtigo rolante e controla o sistema de inserção e remoção do *Stoplog*.

Logo, os sensores serão conectados a uma eletrônica embarcada a prova d'água, instalada também no *Lifting Beam*, que pré-processará e transmitirá as informações para a superfície através de um umbilical. O umbilical também será utilizado para transmitir energia para a eletrônica embarcada subaquática e deverá funcionar passivamente junto ao pórtigo rolante através de um sistema de

gerência de umbilical. Na superfície, uma eletrônica de terra constituída por um computador embarcado e um sistema de potência receberá e pós-processará os dados, transmitindo os mesmos via rede sem fio. Um tablet conectado na rede sem fio será instalado na cabine do operador, possibilitando a visualização dos dados em uma interface gráfica.

O conceito da estrutura física necessária para o robô ROSA e sua utilização será:

- eletrônica embarcada subaquática;
- umbilical;
- sistema de gerência de umbilical;
- eletrônica de terra; e
- tablet para interface do usuário.

O sistema de limpeza por jato de água pressurizado possibilita intervir na operação, resolvendo problemas encontrados, sem a necessidade de enviar mergulhadores ao local. Entretanto, a posição precisa na qual o sistema será montado dependerá da localização específica da obstrução. Logo, o mesmo será utilizado caso a caso independente da eletrônica embarcada.

## Capítulo 2

# Pesquisa Tecnológica

A pesquisa tecnológica visa definir os componentes, métodos e fornecedores que possibilitam a realização da solução conceitual do robô ROSA. Os principais requisitos de projeto são robustez dos dispositivos, capacidade de submersibilidade (IP69K), resistência a choque, vibração, e campos magnéticos externos não devem afetar as medições. As subseções que se seguem descrevem a pesquisa tecnológica realizada direcionado a soluções conceituais apresentada na **secção Escopo**, estas são:

- Sensor de Contato;
- Posição Angular;
- Mapeamento 3D;
- Sistema de Gerência de Umbilical;

## 2.1 Sensores de Contato

Visando a medição do contato entre a *Garra Pescadora* e o *Stoplog* foram pesquisados os seguintes sistemas de sensoriamento: sensor de força, sensor inutivo de proximidade, sensor capacitivo de proximidade. Em sequência foi realizada a pesquisa por fornecedores que atendam aos requisitos de projeto.

### 2.1.1 Sensor de força

Sensores de força podem ser utilizados para detectarem a presença da garra pescadora. A análise quantitativa e comparativa dessas forças pode indicar encaixe mal ou bem sucedido durante a operação e, portanto, é considerada uma solução viável mediante calibração. Os diversos tipos de sensores de força e suas aplicações podem ser consultados em **Guide to the Measurement of Force**, publicado por **The Institute of Measurement and Control, London**.

O sensor de força é composto por um transdutor, que é submetido à força, e uma instrumentação associada, responsável por alimentar o transdutor e processar a saída. O transdutor é um dispositivo que recebe um estímulo físico, como a contração elástica do material devido ao peso, e traduz em outra medida física, como variação de voltagem ou corrente elétrica. Esta variação obedece uma relação conhecida e, dessa forma, é possível determinar quantitativamente a força aplicada.

Existem diversos sensores de força disponíveis no mercado, com sistemas variados de operação. As principais características a serem consideradas na escolha de um sensor de força são: curva de resposta, capacidade máxima, não-linearidade, histerese, sensibilidade e reproduzibilidade.

O sensor de força mais utilizado e que atende aos requisitos do projeto é o strain gauge. A força atua em um metal cilíndrico, que é comprimido e altera a resistência de um strain gauge, acoplado à superfície do cilindro (ver figura 2.1).



Figura 2.1: Exemplo de um sensor de força: cilindro com strain gauge acoplado.

A resistência elétrica de um fio varia conforme seu comprimento e sua área, portanto, a variação de corrente que passa por este fio pode ser utilizada como medida quantitativa e é possível determinar a força aplicada por um modelo matemático conhecido:  $R = \frac{\rho L}{A}$ . Outros sensores que poderiam atender às especificações, mas são de mais difícil comercialização, em relação aos requisitos de projeto, são: sensor de força piezoeletrico

De acordo com **Guide to the Measurement of Force**, a aplicação pode ser caracterizada como sistema para medições e controle de forças para operações de segurança. Pode ainda ser especificada como **Crane overload/underload protection**, que consiste em monitorar forças atuando em garras tipo pescadora ou gancho (ver figura 2.2), no qual a medida será avaliada em situações estáticas ou de pouco movimento/vibração.



Figura 2.2: Exemplo de instalação de sensor de força em garra.

A solução por sensores de força é eficiente em aplicações onde se deseja avaliar frequência de vibração e duração da onda de choque, porém não muito na medida quantitativa e comparativa de forças devido à sensibilidade do strain gauge a campos magnéticos externos, pressão hidrostática e umidade. A variação de acúmulo de sedimentos no stoplog também dificulta a calibração do instrumento.

Os fornecedores para sensores de força do tipo strain gauge avaliados nesta pesquisa são: Applied Measurements Limited, Load Cell Central, Transducer Techniques. Os modelos avaliados são da série DBEP e CLP de seus respectivos fornecedores.

### 2.1.2 Sensor indutivo de proximidade

Sensores induktivos de proximidade podem ser utilizados para detectarem a presença da garra pescadora. Este sensor de presença pode ser do tipo linear, podendo ser realizada análise quantitativa, ou simplesmente chaveado, um simples indicador de presença. Portanto, pode indicar encaixe mal ou bem sucedido durante a operação de remoção/inserção de stoplogs. Os sensores induktivos apresen-

tam a mesma forma de operação nos diversos produtos disponíveis no mercado, diferenciando-se principalmente na medida de distância da aplicação.

O sistema para sensoriamento por indução magnética é composto por uma fonte de alimentação e um indutor. Ao alimentar o sensor indutivo, uma corrente alternada é gerada. A corrente elétrica que passa pelo indutor gera um campo magnético na face do sensor. Este campo magnético induz corrente de Foucault no alvo metálico, que aumenta conforme o alvo se aproxima do sensor indutivo. O aumento das correntes de Foucault cria um campo magnético no alvo, que irá se opor ao campo produzido pelo sensor indutivo. Essa redução do campo magnético pode ser medida e, portanto, é possível presenciar o alvo.

Existem diversos sensores indutivos disponíveis no mercado que atendem às especificações, apresentam o mesmo modo de operação e diferenciam-se principalmente quanto à robustez, instalação (faceada ou não) e interface de saída. A resistência a choques, vibração, submersibilidade e o tipo de instalação são as características mais importantes para a aplicação. O sensor deve ser do tipo IP69K e faceado, o que diminui o alcance, mas aumenta a proteção.

A pesquisa por sensores indutivos de proximidade para a finalidade desejada resultou em aplicações equivalentes. A empresa **HATCH - Energy Innovations** desenvolveu em 2007 um Lifting Beam instrumentado com sensores indutivos (ver figura 2.5). Em 2008, a empresa **Atlas Polar** adotou a mesma solução com sensores indutivos.



Figura 2.3: Lifting Beam desenvolvido pela empresa HATCH

A solução por sensores indutivos é eficiente em aplicações onde se deseja avaliar a presença de stoplog. A grande maioria dos sensores são frágeis a choque e vibração, além de sensíveis a ruídos elétricos e magnéticos. Porém, já há no mercado produtos IP69K e encapsulados. Há, também, a possibilidade de falso positivo em caso de sedimentos metálicos, mas é baixa a probabilidade. Pesquisas em aplicações semelhantes mostraram que o sensor indutivo é a solução adotada para o monitoramento de encaixe entre garra pescadora e stoplog, auxiliado por outros sensores ou sistemas independentes de atuadores.

Os fornecedores pesquisados para sensores indutivos que atendem aos requisitos de projeto são: Contrinex, Pepperl-Fuchs, Positek e Turck. Diversos modelos foram avaliados, juntamente com os técnicos das respectivas empresas.

### 2.1.3 Sensor capacitivo de proximidade

Os sensores capacitivos de proximidade são capazes de detectar objetos devido à capacidade destes alvos em serem carregados eletricamente. Analogamente ao sensor indutivo, que detecta variações de campo magnético devido a alvos metálicos, o sensor capacitivo é sensível a variações na capacidade (ver figura 2.4).

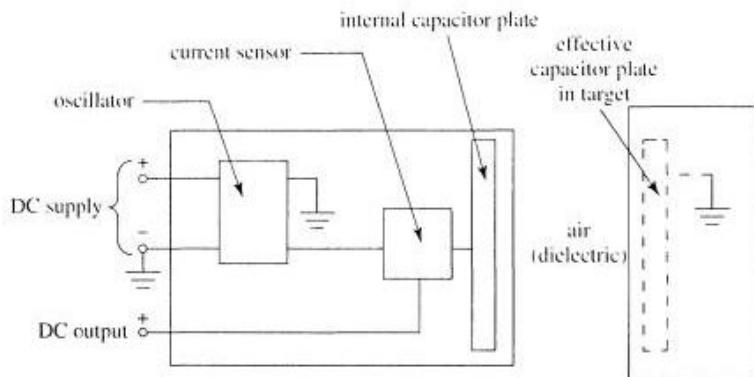


Figura 2.4: Sensor capacitivo

Internamente ao sensor, há um circuito que utiliza a alimentação DC para gerar voltagem alternada (oscilador). O circuito interno RC é, então, alimentado e uma corrente alternada passa por esse circuito. O fluxo de corrente alternada depende da capacitância, e esta varia conforme a distância e área entre as placas do capacitor e o material dielétrico entre as placas:  $C = \frac{\epsilon A}{d}$ .

Em sensores capacitivos, uma placa do capacitor está no sensor e a outra é o objeto a ser detectado, que pode ser um material metálico ou não-metálico. A aproximação do alvo modifica a capacitância, resultando em variações no campo elétrico e na corrente alternada. Finalmente, as variações da corrente podem ser medidas e o alvo é detectado.

As características que devem ser avaliadas em sensores capacitivos são as mesmas dos sensores induktivos, como tipo de instalação, modo de operação chaveado ou linear e etc. Porém, deve-se atentar ao fator de redução, que depende do alvo a ser detectado.

Os sensores capacitivos exercem função semelhante ao sensor induutivo e pode ser utilizado para detecção de presença de stoplog. Porém, a calibração se mostra bem mais complexa devido à sensibilidade do sensor e ao fato de não estar restrito a detecção de materiais metálicos. A chance de falsos positivos será bem maior em caso de escolha deste sensor em comparação com o sensor induutivo.

Os fornecedores pesquisados de sensores capacitivos que atendem aos requisitos de projeto são: Contrinex, Pepperl-Fuchs, Positek e Turck. Diversos modelos foram avaliados, juntamente com os técnicos das respectivas empresas.

#### **2.1.4 Conclusão de análise técnica**

As tecnologias que foram analisadas para detectar o contato entre a garra pescadora e o Stoplog foram: sensor de força, sensor indutivo e sensor capacitivo. Os sensores de força necessitaria de ser instalados nos eixos da garra pescadora, logo alterando a estrutura mecânica do mesmo, além de serem sensíveis a calibração, logodesconsiderados como uma solução viável. O sensor capacitivo, assim como o sensor indutivo, podem ser instalados diretamente na garra pescadora, entretanto o capacitivo não está restrito a detecção de materiais metálicos, logo resultaria em maiores chances de falsos positivos que os sensores indutivos. Sendo assim, a solução de medição de contato por sensor indutivo se mostra mais eficiente para a detecção do contato entre a garra pescadora e o Stoplog.

Dados os requerimentos do meio foi buscado no mercado produtos a prova d'água e encapsulados com nível de proteção mínima IP69K. Os fornecedores pesquisados para sensores indutivos que atendem aos requisitos de projeto são: Contrinex, Pepperl-Fuchs, Positek e Turck. Diversos modelos foram avaliados, juntamente com os técnicos das respectivas empresas. A lista dos modelos de cada fabricante que seriam ideais à aplicação no projeto se encontra na tabela abaixo. Por os modelos serem equivalente em aplicabilidade, foi selecionado o sensor que apresenta o menor custo ao projeto o NBB20-L2-E2-V1 de instalação faceada, chaveado normalmente aberto e distância de operação de 2cm (figura 2.5).

<b>Modelo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Distribuidor</b>	<b>Preço</b>
DW-LD-M18	Contrinex	Electric Control	428,97 R\$
NBB20	Pepperl-Fuchs	Pepperl-Fuchs Brasil	181,17 R\$
NI35	TURCK	TURCK Brasil	514,29 R\$
NI50-Q42	TURCK	TURCK Brasil	414,75 R\$



Figura 2.5: Sensor indutivo do fornecedor Pepperl-Fuchs.

## 2.2 Posição Angular

O Sistema de Lifting Beam desenvolvido em aplicação semelhante de remoção e inserção de stoplogs pela empresa **HATCH** utiliza atuadores elétricos independentes em cada garra, o que permite o monitoramento da abertura das garras, sendo possível saber quando há encaixe mal ou bem sucedido. O sistema em estudo a ser desenvolvido, porém, é a monitoramento de um Lifting Beam mecânico, onde as garras abrem e fecham passivamente. Por questões de restrição de projeto, não é permitido alterar a estrutura mecânica de forma que as garras sejam atuadas independentemente, mas é permitida a instrumentação do Lifting Beam com encoders, sendo possível instalá-los nas vigas das garras, a fim de medir suas posições angulares. A movimentação angular das garras durante o encaixe é conhecido e sequencial, de forma que uma simples análise comparativa com os dados fornecidos pelos encoders durante a execução da tarefa pode indicar se o encaixe foi mal ou bem sucedido.

### 2.2.1 Encoder

O encoder óptico é um dispositivo eletromecânico que entrega como saída um sinal elétrico proporcional à posição angular do eixo acoplado. O eixo é acoplado mecanicamente a um disco opaco e marcado em sua superfície por segmentos (ver figura 2.7).

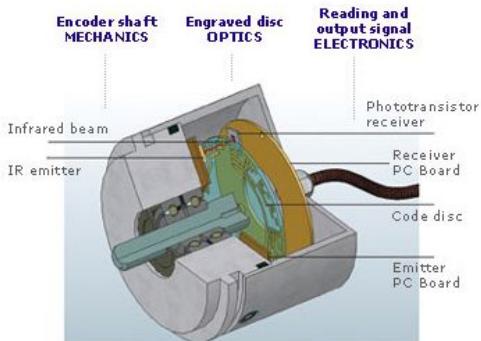


Figura 2.6: Sistema interno de um encoder.

Diodos emissores de luz infravermelha alcançam os receptores através das fendas do disco. O sinal analógico é criado, amplificado, convertido em digital e transmitido ao processador.

Além dos requisitos básicos do projeto, como submersibilidade e resistência a choque e vibração, as principais características a serem avaliadas neste projeto para a escolha de um encoder são: modo de operação incremental ou absoluto, multi-voltas ou não, interface de comunicação, resolução e tensão de operação.

### 2.2.2 Conclusão de análise técnica

A pesquisa mostrou ampla aplicação de encoders para a aplicação e é esperado que seja possível identificar encaixe mal ou bem sucedido com sua utilização. A instalação do encoder na viga da garra pescadora não é mecanicamente complexa e não resultará em alteração permanente da estrutura.

Os fornecedores para encoders que atendem aos requisitos de projeto pesquisados são: Hohner, IFM, Pepperl-Fuchs e Rotary Encoder Solutions. O modelo selecionado, após ampla análise entre fornecedores, é o modelo Encoder RM9000 Absoluto com interface CAN, multi-voltas que apresenta a configuração necessária para a aplicação e o menor custo para o projeto dentro os modelos analisados. (figura 2.7)

SUBXWD Hohner Hohner Brasil R3.248,91 AR63 Rotary Encoder Solutions –  
R 2.949,61 CVS42H Pepperl-Fuchs Pepperl-Fuchs Brasil R2.586,46 RM9000 IFM IFM Brasil R  
1.298,69

Modelo	Fabricante	Distribuidor	Preço
SUBXWD	Hohner	Hohner Brasil	3.248,91 R\$
AR63	Rotary Encoder Solutions	-	2.949,61 R\$
CVS42H	Pepperl-Fuchs	Pepperl-Fuchs Brasil	2.586,46 R\$
RM9000	IFM	IFM Brasil	1.298,69 R\$



Figura 2.7: Encoder do fornecedor IFM

## 2.3 Mapeamento 3D

Muitos dos problemas encontrados na operação de inserção e remoção dos *stoplogs* são provenientes da existência de objetos estranhos, trazidos pelo próprio rio, presentes no leito de concreto ou na superfície de um dos *stoplogs*. A inspeção da existência de tais objetos, isto é, a sua visualização, é de suma importância para que se possa determinar corretamente qual ação corretiva é a mais adequada.

Em ambientes subaquáticos onde o meio possui uma boa visibilidade, é possível a utilização de câmeras para a realização da inspeção. Porém em ambientes onde a visibilidade não é satisfatória, a utilização de câmeras fica inviabilizada. Para esses casos, é necessário a utilização de Sonares para a visualização do ambiente a ser inspecionado. Porém os Sonares utilizados para mapear os ambientes não tem uma resposta que é facilmente interpretada pelo ser humano e, por isso, é necessário que se faça uma conversão dos dados e uma a construção de uma representação 3D da superfície.

Nesta secção será apresentado o que é o sensor Sonar e determinando através de uma análise técnica e de fornecedores qual o Sonar que atende aos requisitos de projeto. Assim como, será descrito qual tecnologia de mapeamento 3D será aplicada ao projeto.

### 2.3.1 Sonar

Sonar<sup>1</sup> é uma técnica que utiliza a propagação do som na água para se comunicar e detectar objetos nesse meio, ela possui duas vertentes uma chamada ativa e outra passiva. A passiva se resume a escutar o meio e não será investigada, pois não possui a funcionalidade para o mapeamento de superfícies submersas. Os equipamentos que fazem uso de tal tecnologia acabam por herdar seu nome, assim sonares que utilizam a tecnologia ativa são chamados de sonares ativos.

O sonar ativo, daqui em diante apenas referido como sonar, emite um ping

---

<sup>1</sup>A sigla tem origem como acrônimo de *sound navigation and ranging*.

que é um pulso de onda sonora que será refletido pelo meio. Conforme a frente de onda atravessa os objetos submersos ela é refletida e este eco é detectado no retorno pelo sonar, onde ele extraí as informações do tempo que a onda levou para retornar e sua intensidade, podendo, a partir do conhecimento de características do meio, como a velocidade de propagação do som, estimar a distância de origem do eco e consequentemente do objeto.

Pela aplicação os sonares são divididos em basicamente duas categorias: *profiling* e *imaging*;

O sonar do tipo *imaging* são tipicamente utilizados para fazer o mapeamento do fundo do mar, possuindo uma abertura em formato de leque (ver figura 2.8), eles podem utilizar um motor de rotação sobre o eixo perpendicular ao feixe ou podem ser arrastados pela água para fazer o escaneamento (ver figura 2.9).

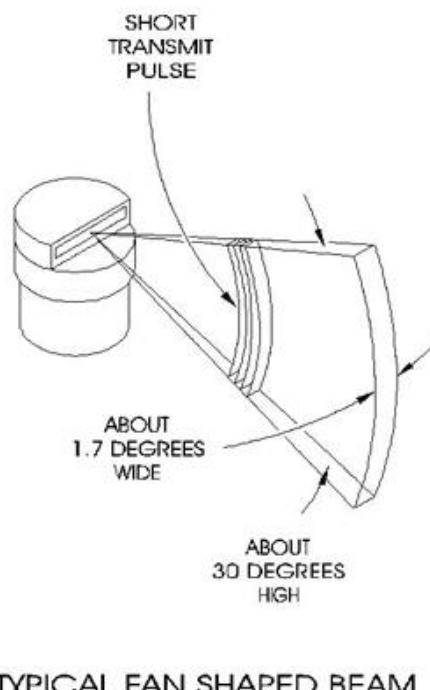


Figura 2.8: Típico feixe em formato de leque de sonares tipo *imaging*

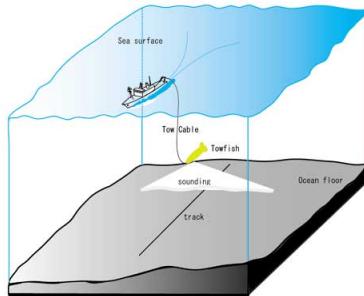


Figura 2.9: Sonar *imaging* sendo arrastado para mapeamento das profundezas

A resposta dos sonares tipo *imaging* forma uma imagem colorida exibindo tons diferentes para respostas mais fortes e mais fracas de eco do sonar. Sendo utilizado para obter uma imagem do fundo do mar semelhante as que os radares fazem na superfície.

Pela tecnologia empregada os sonares *imaging* possuem dois tipos de configuração: *multibeam* e *mechanical* (single beam).

A configuração *single beam* possui um transdutor acoplado a um mecanismo de *pan* para possibilitar a varredura de determinada área. Assim, o sonar envia seu *ping* espera o eco de retorno e avança para a próxima posição determinada pelo passo, ou resolução angular, do motor que compõe o mecanismo de *pan*.

Alternativamente, os sonares *multibeam* possuem idealmente um feixe *ping* extremamente amplo, sendo na prática composto por diversos feixes com seus respectivos transdutores sincronizados. Essa configuração possui diversos receptores espalhados por uma região do sonar, resolvendo qual a posição de origem do eco através de um sistema de multilateração. Assim, o *multibeam* sobrepuja a configuração *single beam* no aspecto de precisão e tempo de varredura.

De forma diferente, os sonares do tipo *profiling* retornam apenas um valor e não uma graduação de tons. Esse valor é referente, normalmente, ao tempo de retorno do eco mais intenso dentro do intervalo de amostragem, intervalo de espera que delimita o alcance máximo de interesse. Esses sonares também podem

ser configurados para enviarem o valor do tempo de retorno do primeiro eco, em vez do mais intenso, de maneira a agilizar o processo de captura de dados, pois todos os ecos à partir do primeiro são ignorados, passando para a emissão de um novo *ping* em uma nova posição.

Outra característica importante dos sonares *profiling* é o formato do seu feixe, este possui uma abertura estreita de formato tipicamente cônico (ver figura 2.10).

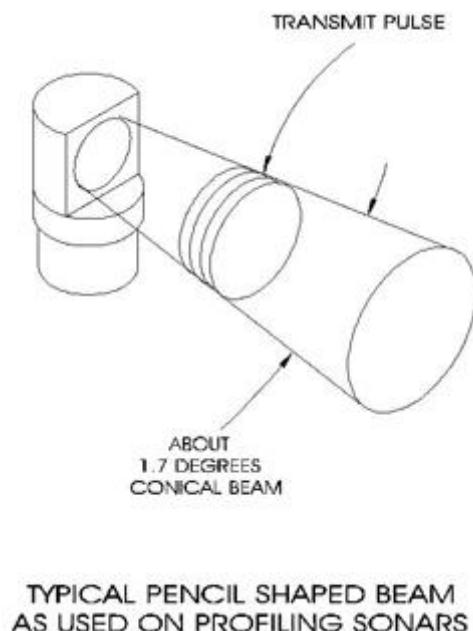


Figura 2.10: Típico feixe em formato de cone de sonares tipo *profiling*

A figura 2.11) demonstra comparativamente a diferença entre os diferentes tipos de sonares.

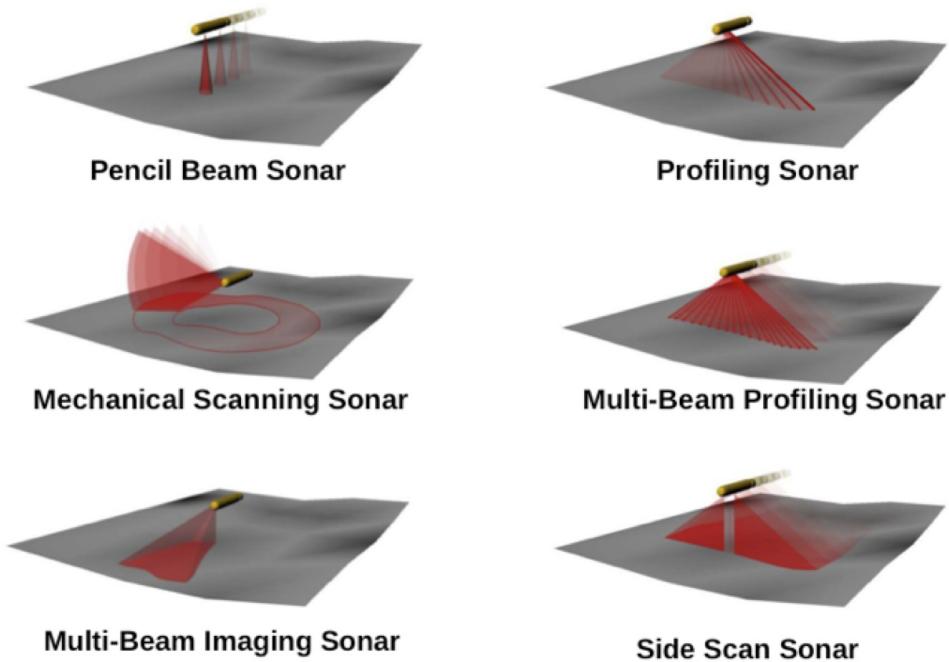


Figura 2.11: Tipos de Sonares

### Conclusão de análise técnica

O ambiente no qual será utilizado o sonar possui uma profundidade inferior a 20 metros e a necessidade de mapeamento se localiza sobretudo em uma área de aproximadamente  $2 \times 15m^2$ . Para essa situação o sonar profiling se mostra como o mais apropriado devido ao seu estreito feixe que otimiza a precisão para uma pequena superfície pouco profunda.

Os fornecedores e modelos pesquisados estão apresentados na tabela abaixo. Dentro os modelos analisados o Super Seaking DFP e Micron apresentam o melhor custo. A diferença de custo entre ambos os modelos se dá devido a diferença da abertura do feixe. O Super Seaking DFP possui um feixe mais estreito, o que permite uma maior precisão. Não é possível determinar qual seria o modelo mais

aplicável apenas por análise teória, logo parte da pesquisa deste projeto será testar ambos os modelos para determinar qual é o mais aplicável.

<b>Modelo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Distribuidor</b>	<b>Preço</b>
BV5000	Blueview	-	323.000,40R\$
3D Echoscope	Octopus	Seatronics	960.000,00 R\$
DT101	Imagenex	Marine Solution	365.000R\$
Super Seaking DFP	Tritech	MacSea	33.990,50R\$
Micron Sonarg	Tritech	MacSea	16.798,90R\$

### 2.3.2 Unidade Pan e Tilt

O sonar tipo profiling definido possui apenas 1 grau de liberdade interno, logo não é possível mapear toda a região do trilho do stoplog com o mesmo a partir de uma posição fixa de acoplamento na garra pesadoura. Logo, uma unidade de pan e tilt será acoplado ao Sonar possibilitando assim cobrir toda a extensão do trilho do Stoplog.

O fator mais importante na escolha do motor de posicionamento é a precisão que o mesmo consegue operar, pois o sonar mede a distância ao meio que se encontra de 3 a 50 metros de distância do mesmo, logo um pequeno erro de posicionamento angular do motor resultará em um erro grande na reconstrução do meio. Exemplo: 1 grau de erro a 50m de distância significaria 0,87m de erro na reconstrução do ambiente. A tabela abaixo lista alguns dos modelos disponíveis no mercado, sua precisão dada a folga mecânica do mesmo e o custo. Logo, o modelo escolhido para o projeto foi o OE10-102 da Kongsberg que oferece a menor folga mecânica.

<b>Modelo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Folga</b>	<b>Preço</b>
PT-10FB	ROS	0.6deg	24.101,90 R\$
SS109	Sidus	0.5deg	14.576,57 R\$
OE10-102	Kongsberg	0.08 def	29.441,40 R\$

## 2.4 Reconstrução de superfície 3D

Uma reconstrução 3D de superfície consiste na interpretação e combinação de dados, afim de se extrair informações tridimensionais do ambiente. Em ambientes subaquáticos com pouca visibilidade, o sensor recomendado para esse tipo de operação é o sonar. A figura 2.12 exemplifica uma reconstrução 3D obtida pelo processamento de dados provenientes de um sonar.

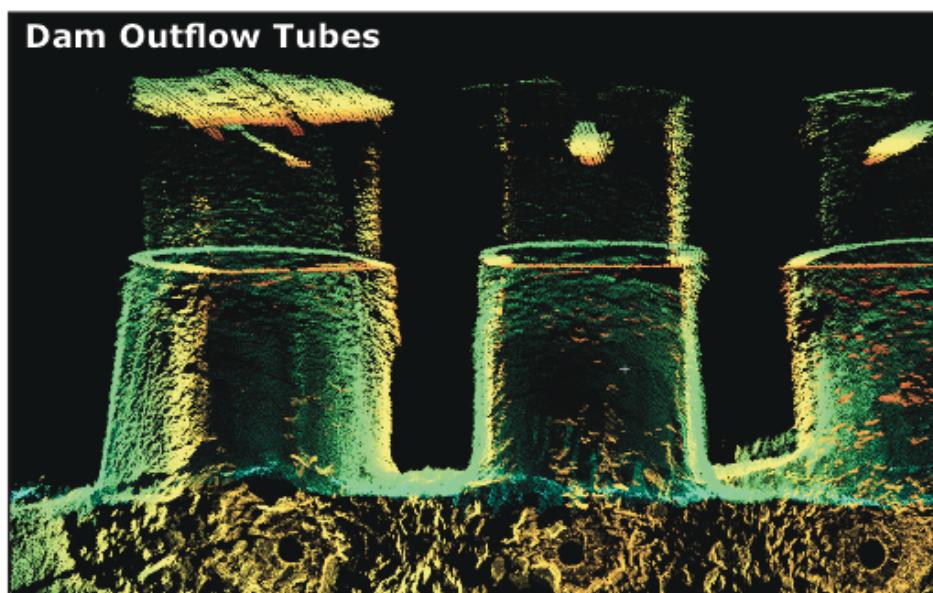


Figura 2.12: Exemplo de uma reconstrução 3D da saída de uma barragem dos dados obtidos de um sonar 3D.

Um dos pontos determinantes para uma boa reconstrução 3D é a forma de se representar e armazenar as informações tridimensionais, já interpretadas dos sensores. Uma boa representação 3D deve possuir uma boa fidelidade do ambiente real representado, ter boa velocidade de processamento e pouca utilização de memória do sistema.

Após a revisão bibliográfica realizada, os tipos de armazenamento e representação mais recentes e avançados existentes na literatura eram a representação a partir de pointclouds, mapas de elevação e octomaps. A representação escolhida foi

a por meio de octomaps. A seguir será realizado uma descrição das principais características de cada método.

- **Pointcloud** - Armazena as coordenadas tridimensionais de cada ponto lido pelo sensor. Possui uma boa fidelidade de representação de ambientes 3D complexos, porém não é capaz de distinguir entre espaços vazios e ocupados.

Por amazenar informações ponto a ponto, não possui uma eficiente utilização de memória. A figura 2.13 mostra a representação utilizando pointcloud de uma área externa.

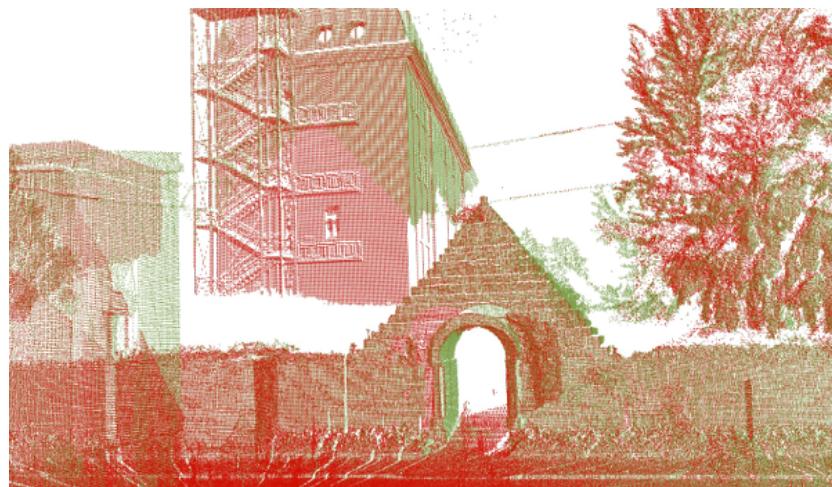


Figura 2.13: Exemplo de uma reconstrução tridimensional representado por uma Pointcloud

- **Mapas de elevação** - Os mapas de elevação representam uma superfície através de um grid 2D e armazenam uma informação de elevação para cada célula. Os mapas de elevação tem uma melhor eficiência de memória, porém para atingir essa virtude perdem o poder de representação fiel em todas as dimensões. A figura 2.14 mostra a representação utilizando mapas de elevação de uma área externa.

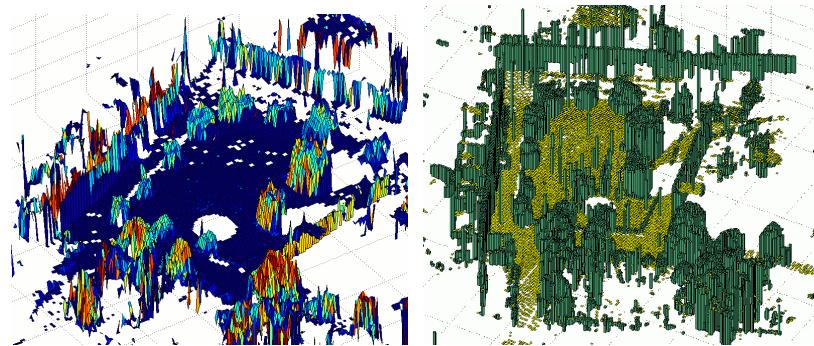


Figura 2.14: Exemplo de uma reconstrução tridimensional representado por um Mapa de Elevação

- **Octomap** - Octomap é um framework livre para mapeamento 3D baseado em uma estrutura hierárquica árvore de dados, chamada OcTree. O espaço tridimensional é recursivamente dividido em octantes, como exemplificado na figura 2.15. Aliada à estrutura de árvore, essa característica possibilita que somente a coordenada do ponto raiz do mapa necessite ser armazenada e todas as coordenadas dos demais pontos são inferidas através da posição relativa ao ponto raiz. Diminuindo, assim, a utilização de memória do sistema. A estrutura hierárquica possibilita, também, que no mapa gerado seja realizada buscas, segmentações para a análise separada de diferentes objetos e múltiplas resoluções, diferentemente de mapas de resolução fixa como no caso da representação com pointclouds.

O framework utiliza uma política de ocupância probabilística, o que possibilita uma boa caracterização de ambientes dinâmicos e atenuação de ruídos provenientes dos sensores. Outra vantagem importante é a diferenciação de espaços ocupados, vazios e desconhecidos, funcionalidade que não está presente em nenhum dos métodos já apresentados. A distinção entre espaços que estão desocupados e espaços ainda não explorados pelo sistema pode ser visualizada na figura 2.16 e também uma comparação com a utilização de pointclouds para o mapeamento do mesmo ambiente.

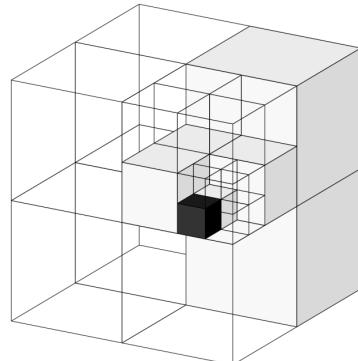


Figura 2.15: Divisão recursiva do espaço em octantes

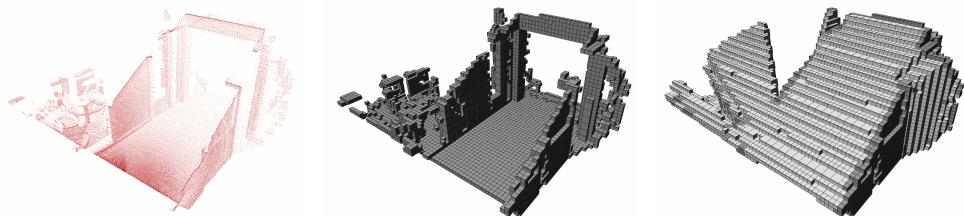


Figura 2.16: *Esquerda:* Representação do ambiente utilizando pointclouds e sem a possibilidade de se diferenciar espaços desconhecidos e vazios. *Meio:* Representação em octomap com os espaços vazios omitidos. *Direita:* Representação em octomap com os espaços vazios em cinza claros e os ocupados em cinza escuro.

### Conclusão de análise técnica

A representação 3D do ambiente a ser inspecionado por meio da utilização de Octomap se mostrou, além de mais eficiente no quesito de consumo de memória, perfeitamente alinhada com as necessidades particulares da solução a ser proposta. A possibilidade de busca e segmentação do mapa, possibilita a análise de partes isoladas do mapa e, consequentemente, a identificação de objetos esperados, assim como objetos estranhos e que não deveriam estar presentes. A diferenciação entre espaços vazios e cheios e a política de ocupância probabilística

exercem uma função de segurança, a medida que explicitam qual parte do ambiente já foi inspecionada e atenuam possíveis ruídos externos e, também, intrínsecos ao sensor.

## 2.5 Sistema de Gerenciamento de Umbilical

Carretéis industriais são dispositivos para recolhimento de cabos atuados por mola. Os cabos são fixados e conectados em contatos girantes. Tais dispositivos apresentam robustez estrutural e resistência ao tempo.

A partir da pesquisa realizada, é possível concluir que há boa disponibilidade de carretéis industriais para a aplicação visada, inclusive com graus de proteção adequados para umidade e resistência ao tempo (NEMA4) e perfil compacto. Vale notar, portanto, necessidades essenciais para a correta especificação e definição do produto:

- O local disponível para fixação do carretel, calculando-se o comprimento ativo do cabo (a diferença de comprimento entre o cabo totalmente recolhido e o cabo totalmente não recolhido), o comprimento máximo suspenso do cabo e o comprimento máximo submerso do cabo.
- O tipo de cabo a ser utilizado, seu peso e resistência à tração, bem como o número de fios e o diâmetro deste. O número e espessura dos fios deve ser considerado não só pelo efeito deste no peso do cabo, mas também devido à necessidade dos contatos girantes para cada condutor
- A opção pelo uso de fibra ótica elimina a possibilidade de uso dos carretéis analisados, visto que não só há a questão de possíveis danos à fibra devido ao enrolamento do cabo como, principalmente, há a necessidade do uso de um acoplamento ótico girante, que não é disponibilizado nos carretéis analisados.

### Conclusão de análise técnica

Um carretel deve ser utilizado para alimentação da bomba, tendo em vista a operação excepcional. Um segundo carretel pode ser utilizado para alimentação

e comunicação com o sistema eletrônico para operação convencional, tendo como alternativa o uso de um sistema de bateria e de comunicação por ultrassom.

Os fornecedores analisados que apresentam disponibilidade de carretéis adequados à aplicação visada são Cavotec e Conductix. Ambas as empresas apresentam representação no Brasil.

# **Capítulo 3**

## **Sistema proposto**

O objetivo do projeto ROSA é entregar uma solução para monitoramento, inspeção e remoção de sedimentos, de forma que as falhas comentadas nas seções anteriores sejam minimizadas e as operações sejam mais seguras. Esta seção é subdividida em uma descrição geral de dispositivos que compõem o projeto e nos modos de operações excepcionais expostos em seções anteriores.

### **3.1 Operação padrão (inspeção e remoção)**

A principal preocupação do operador nas operações padrões se resume ao encaixe bem sucedido entre garra e stoplog. Este encaixe deve ser constantemente monitorado, tornando-se necessária a instrumentação do Lifting Beam. O sistema será composto por sensores, eletrônica embarcada, sinalizadores e eletrônica da base, e um carretel com umbilical, responsável pelo fornecimento de energia e interface de comunicação entre base e eletrônica embarcada (FIGURA).

#### **3.1.1 Sensores**

O sistema é composto pelos dispositivos:

- Dois encoders absolutos.

- Dois sensores indutivos de proximidade.
- Sensor de inclinação.
- Sensor de profundidade.

Os encoders serão acoplados ao eixo de rotação da garra pescadora. O monitoramento do deslocamento angular das garras independentemente torna possível a identificação de falhas de encaixe. Durante a operação de encaixe, o eixo da garra percorre ângulos já conhecidos: o ângulo sofre leve abertura e volta a  $90^{\circ}$  no encaixe.

Os sensores indutivos de proximidade serão instalados na garra pescadora, próximo ao local de contato com o stoplog. Indicarão o acoplamento das garras com o stoplog, a partir da geração de campo magnético. Esses sensores só serão excitados em casos de proximidade com metais, sendo possível assim a identificação de obstáculos no encaixe do stoplog.

O sensor de inclinação ficará localizado junto à eletrônica embarcada, na parte central do Lifting Beam. O monitoramento da inclinação do Lifting Beam é importante na identificação de encaixe mal sucedido ou danos no equipamento. O sensor será do tipo capacitivo.

O sensor de profundidade também ficará localizado junto à eletrônica embarcada, na parte central do Lifting Beam. O sensor trabalha com diferença de pressão e será importante na identificação da localização do Lifting Beam quando submerso.

### 3.1.2 Eletrônica embarcada

A eletrônica embarcada é composta por:

- PC embarcado industrial com ethernet, RS485 e interface CAN
- conversores DC/DC

- placa microcontroladora com sensor de inclinação, sensor de profundidade, sensor de ingresso e portas para 2 sensores analógicos.
- circuito supervisório

A eletrônica embarcada terá encapsulamento à água, choque e resistente mínima de 5 bar de pressão. O encapsulamento deve possuir 8 conectores subconn a prova d'água para conectar os equipamentos externos:

- um Super Seaking Profiler DFP from Tritech
- um Gemini 720i from Tritech
- um Micron Sonar DST 750m from Tritech
- um OE10-10 from Kongsberg
- dois NBB20-L2-E2-V1 from Pepperl-Fuchs
- dois RM9000 from IFM

O circuito supervisório será responsável por distribuir a alimentação aos dispositivos, monitorar essa potência fornecida e proteger os equipamentos contra sobrecorrente/voltagem. Será composta por relés, microcontroladores e outros componentes eletrônicos.

Conversores DC/DC realizam o condicionamento do sinal. Os dispositivos têm alimentação variada e o umbilical fornece apenas um nível de tensão, dessa forma há a necessidade de conversores para distribuírem a potência como requerida entre os dispositivos.

A eletrônica embarcada será conectada a uma eletrônica de terra por um umbilical e operará submersa.

O diagrama 3.1 mostra as interfaces de comunicação da eletrônica proposta para esta solução.

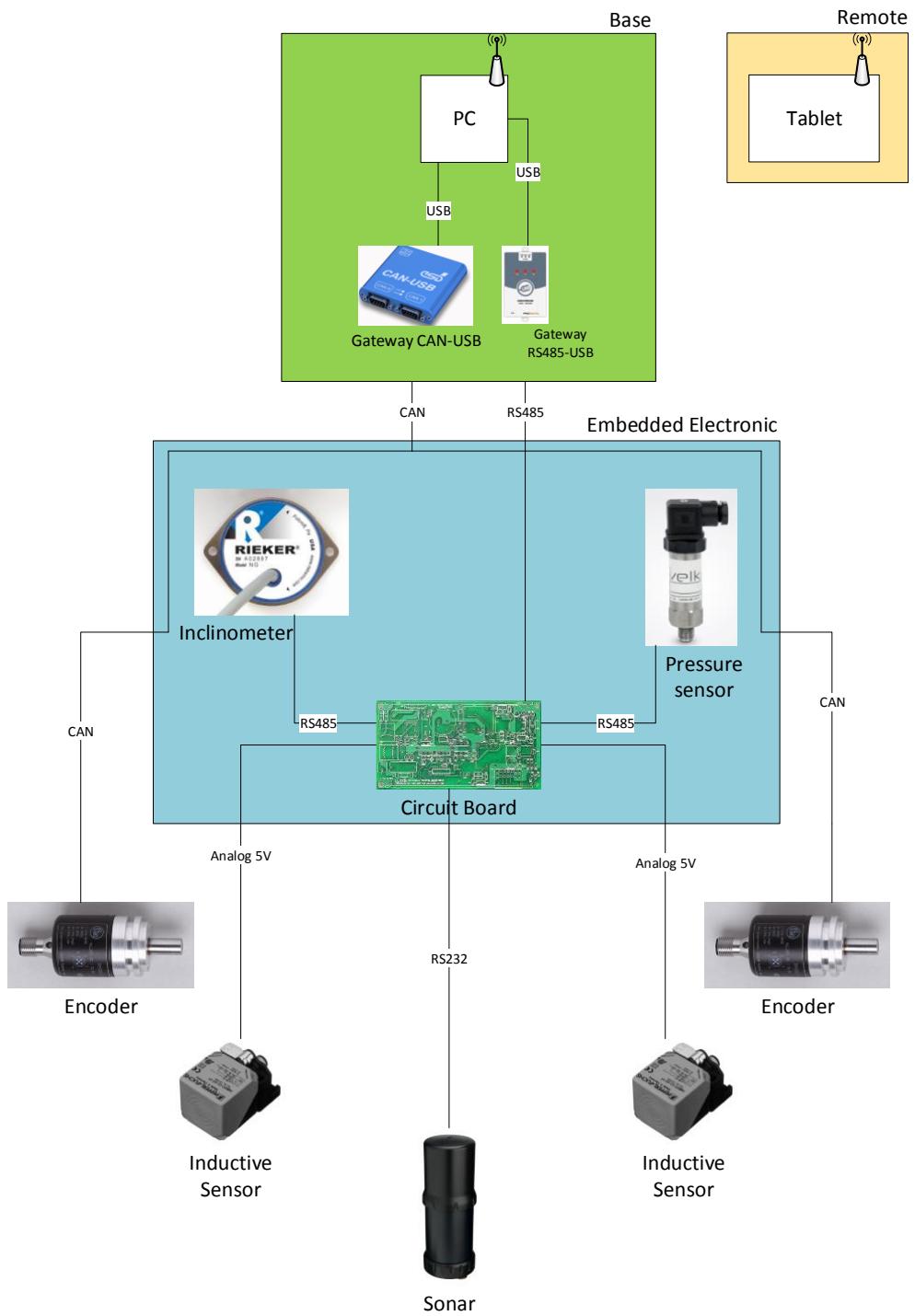


Figura 3.1: Diagrama de interfaces

### **3.1.3 Umbilical**

Cabo especial de alta resistência mecânica para operação submersa customizado para transmissão de energia e transmissão de dados. O umbilical fornece conexão de dados entre o sistema eletrônico embarcado e a eletrônica de terra. Além disso, o sistema eletrônico embarcado é alimentado pelo umbilical. A taxa de transmissão mínima necessária para o Umbilical é de 1xRS485

### **3.1.4 Eletrônica de superfície - base**

A eletrônica de superfície na base será composta por

- PC Industrial com interface Wi-Fi
- 230V de entrada de alimentação
- interfaces USB e LAN para periféricos
- Caixa Pelicase para a eletrônica

A fonte irá transmitir a potência necessária a todo o sistema embarcado através do umbilical.

O PC processará todos os dados recebidos do sistema embarco e publicará na internet ou disponibilizará através do WiFi.

### **3.1.5 Eletrônica de superfície - remota**

O operador poderá monitorar todos os sensores através de um tablet com sistema de rede WiFi.

### **3.1.6 Carretel**

O carretel industrial é necessário ao menos para fornecer alimentação para a bomba e comunicação para o sonar durante as operações que envolvam limpeza de sedimentos.

Devido à necessidade de montagem mecânica e ao fato deste estar vinculado ao guindaste e não ao *Lifting Beam*, deve preferencialmente ser utilizado somente um carretel, de forma a simplificar a montagem mecânica do sistema e se intervir ao mínimo no guindaste em si. Por esse mesmo motivo, deve ser utilizado um carretel de perfil compacto.

A definição do carretel a ser utilizado está condicionada às características do sistema de potência. A especificação elétrica da bomba e o cabeamento necessário para alimentá-la é fundamental para definir as características do elemento. O peso das blindagens necessárias para o cabeamento da bomba e do par trançado para comunicação também devem ser considerados.

### **3.2 Operação Excepcional 1 - Inspeção**

A utilização de mergulhadores para a realização da operação de inspeção, além de perigosa, é ineficiente, já que a visibilidade do Rio Madeira é muito comprometida devido a sedimentos em suspensão no rio. A solução proposta consiste em realizar a inspeção por meio de um sonar, que irá mapear a superfície a ser inspecionada afim de encontrar objetos estranhos e/ou a causa da falha nas operações de inserção e remoção.

O sonar será acoplado ao *Lifting Beam*, de maneira que a inspeção possa ser realizada através da operação do guindaste, similarmente à operação de inserção ou remoção de um *stoplog*. Não haverá a necessidade de nenhuma alteração estrutural tanto no *Lifting Beam*, quanto no guindaste, não violando, assim, nenhum tipo de garantia do equipamento.

A reconstrução da superfície analisada será exibida para o operador do guindaste, assim como no *tablet* em terra. A visualização possibilitará, então, a identificação de objetos estranhos e a possível causa do problema.

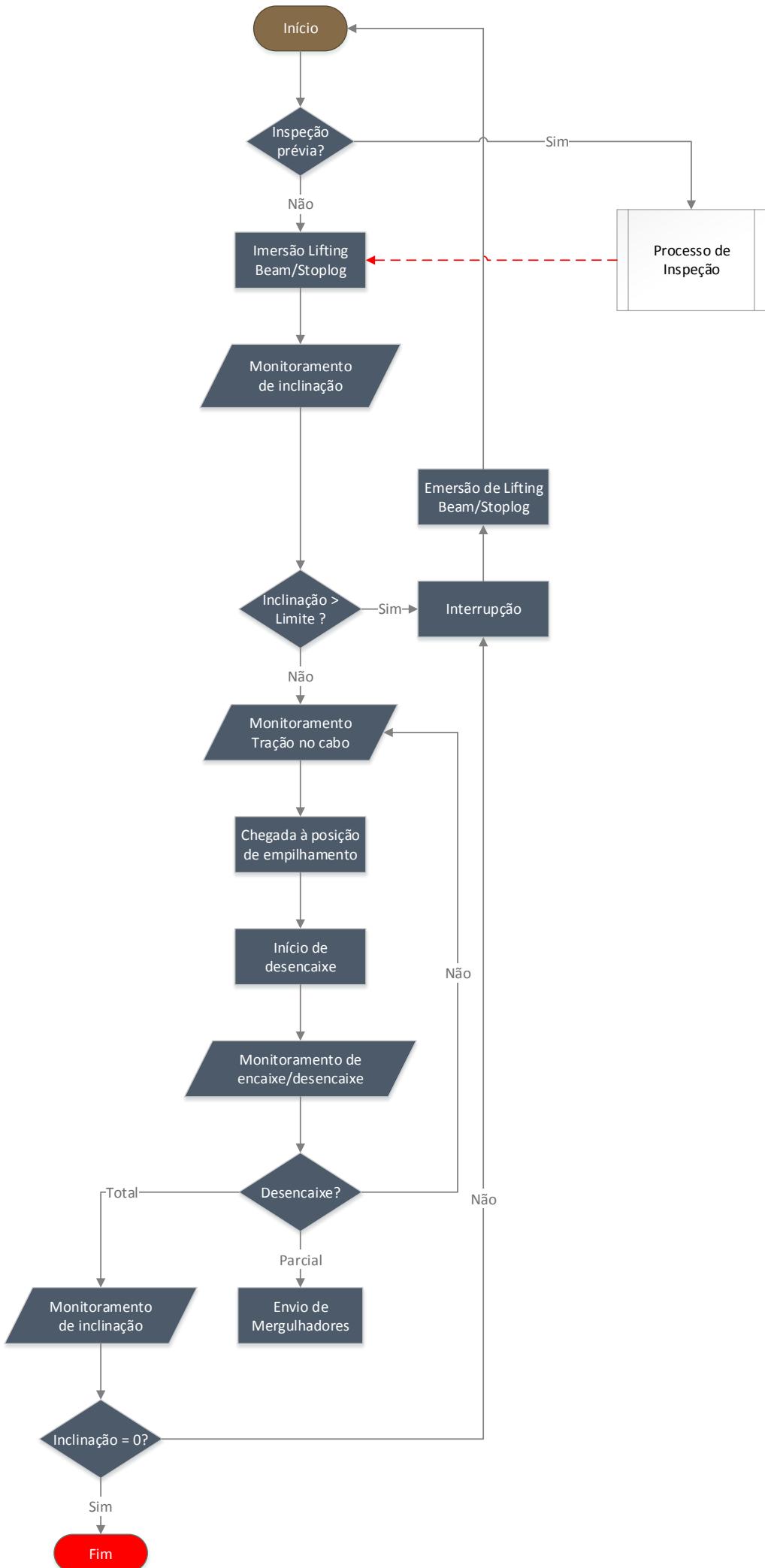
### 3.3 Operação Excepcional 2 - Remoção de sedimentos sobre o olhal

A remoção de sedimentos do *olhal* que poderiam vir a dificultar ou impedir um engate de sucesso da *garra pescadora* (subseção 0.3.8) será feito através de uma bomba submarina. Esta sendo acoplada ao *Lifting Beam* com uma posição e ângulo determinados é capaz de eficientemente remover os pequenos detritos que impediriam a passagem da *garra pescadora* pelo *olhal* e podendo ser comandado remotamente.

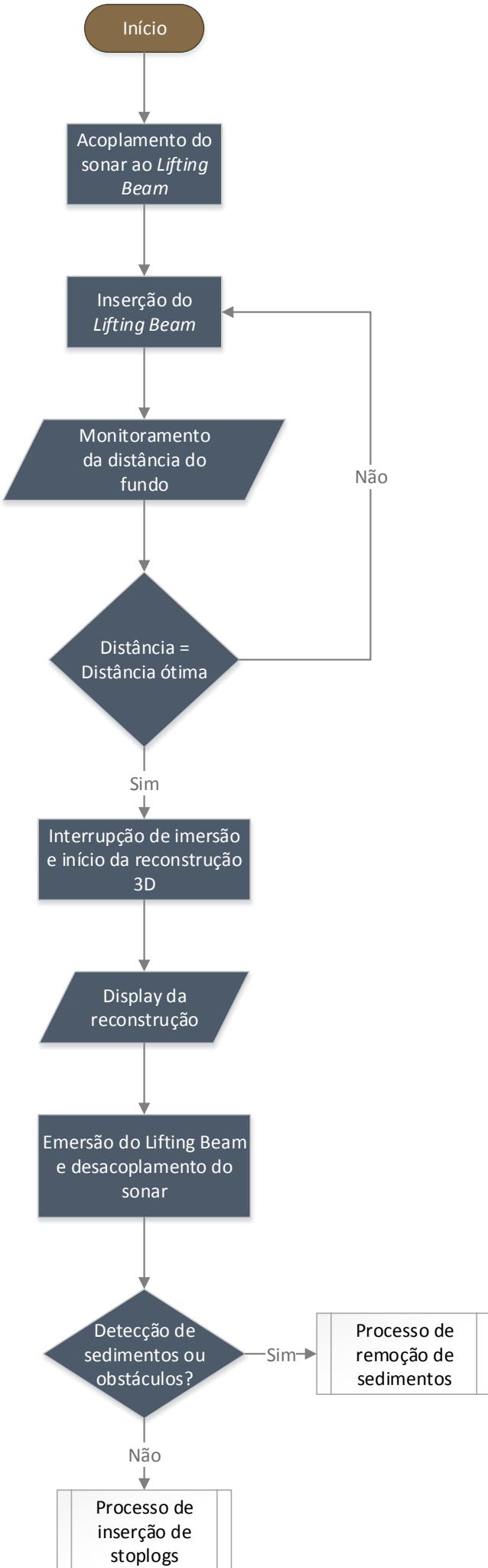
## **Capítulo 4**

### **Fluxograma da solução**

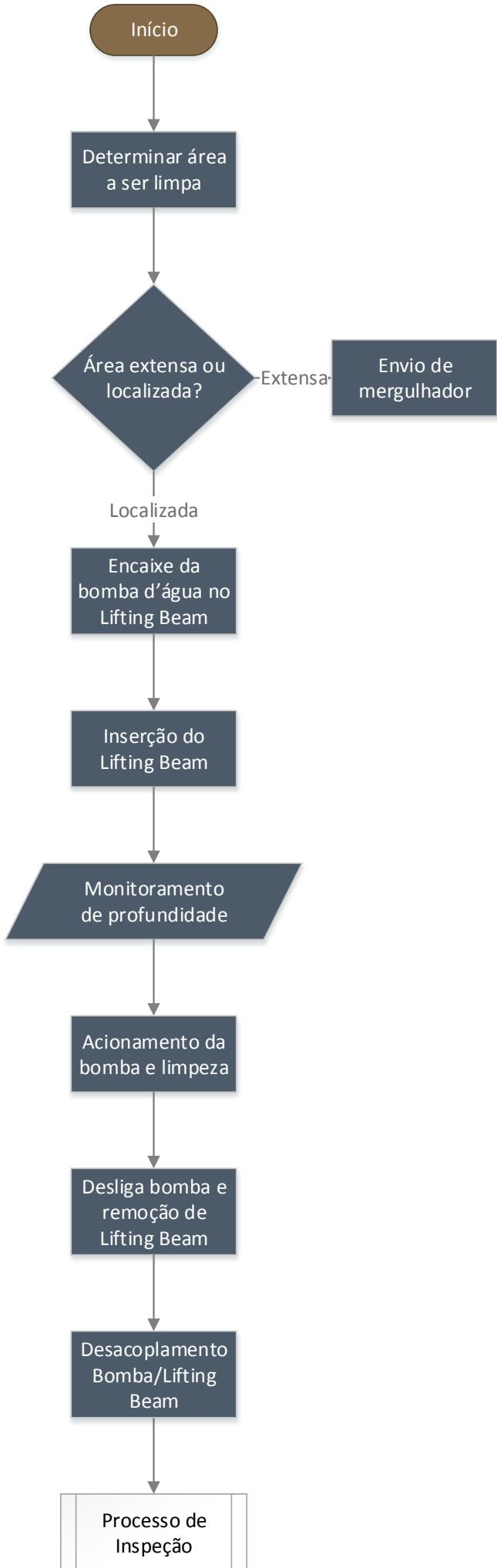
## Processo de Inserção de Stoplogs



## Processo de Inspeção



## Processo de Remoção de Sedimentos



## Processo de Remoção de Stoplogs

