



Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



**PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SEIS  
ESQUEMAS DE PINTURA APLICADOS NA SUPERFÍCIE INTERNA DA  
ESTRUTURA DE DESCARGA DO SISTEMA DE ÁGUA DE  
CIRCULAÇÃO DA USINA NUCLEAR DE ANGRA I**

**SEBASTIÃO DOMINGOS GOMES FILHO**

**ORIENTADORA: Dra. Cirlene Fourquet Bandeira**

**COORIENTADORES: Dr. Ricardo Coutinho**

**Dr. Bruno Chaboli Gambaratto**

VOLTA REDONDA  
Novembro - 2024



Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



**ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO:**

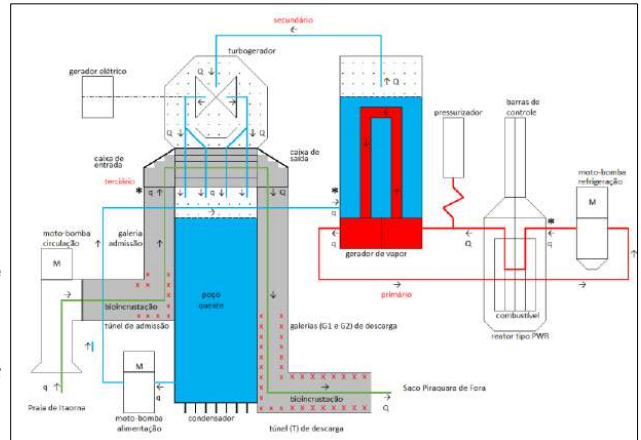
- 1. INTRODUÇÃO**
- 2. OBJETIVOS**
- 3. JUSTIFICATIVA**
- 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**
- 5. MATERIAIS**
- 6. MÉTODOS**
- 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO**
- 8. CONCLUSÕES**

## 1. INTRODUÇÃO

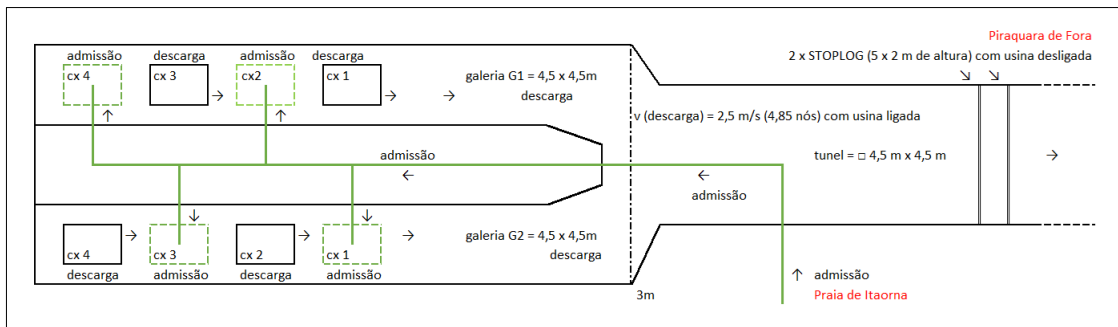
### Usina nuclear de Angra I

Planta industrial dividida em três circuitos Primário, Secundário e Terciário visando produção de energia elétrica.

- Circuito primário  
Reator e Gerador de Vapor  
**Produção de vapor**
- Circuito secundário  
Gerador de vapor, Turbina acoplada a Gerador elétrico  
Poço quente  
**Produção de energia elétrica**
- Circuito terciário = **Sistema de Água de Circulação - SAC**  
Condensador, galerias e túneis de concreto armado  
**Condensação do vapor**



### Estrutura de concreto armado de descarga do Sistema de Água de Circulação (SAC)



## Galerias e túnel de descarga do SAC

### Estrutura de concreto armado

- Concreto: esforços de compressão
- Armadura: esforços de tração

### Circulação de água do mar

- Água do mar não é estéril
- Formação de bioincrustação na superfície interna

### Bioincrustação impede

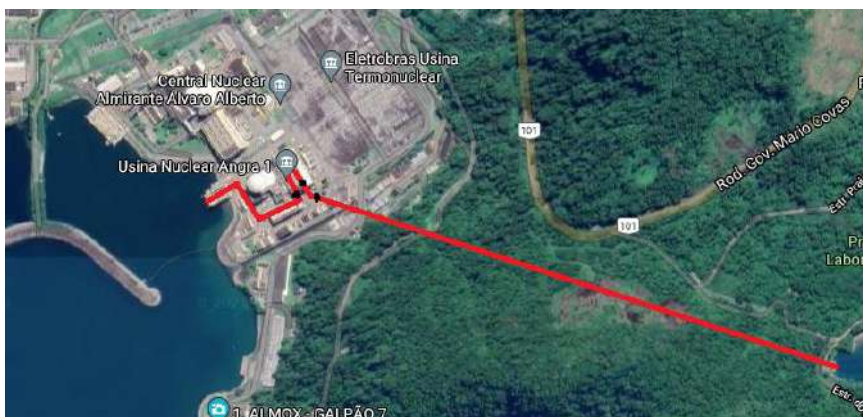
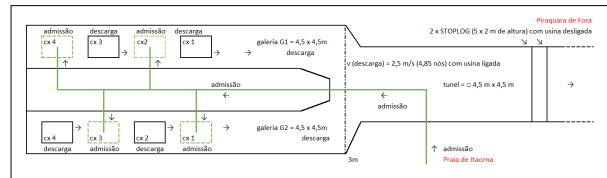
- Detecção de manifestações patológicas
- Intervenção precoce para evitar anomalias

### Manifestações patológicas

- Fissuras: Ingresso de cloretos e sulfatos

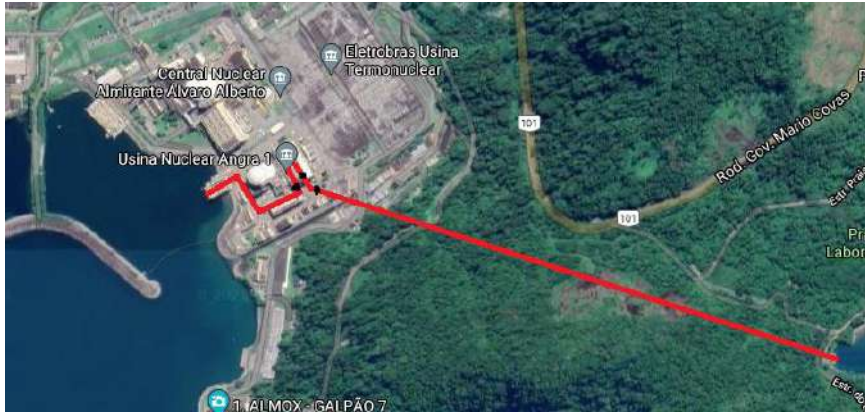
### Anomalias

- Corrosão da armadura e produtos de corrosão
- Desplacamentos do concreto



Mediante estes riscos apresentados, foram iniciados processos visando a inibição do crescimento da bioincrustação e a proteção anticorrosiva da armadura

Dentre estes processos, foram avaliados cinco esquemas de pintura nas paredes das galerias e um sexto esquema de pintura no túnel após a remoção da bioincrustação.



Mediante estes riscos apresentados, foram iniciados processos visando a inibição do crescimento da bioincrustação e a proteção anticorrosiva da armadura

Dentre estes processos, foram avaliados cinco esquemas de pintura nas paredes das galerias e um sexto esquema de pintura no túnel após a remoção da bioincrustação.



## 2. OBJETIVO:

### **Geral**

Estudar a eficácia dos esquemas de pintura, no que se refere a inibição ou eliminação do crescimento da bioincrustação, na superfície interna da estrutura de descarga do Sistema de Água de Circulação - SAC que é composta por duas galerias e um túnel.

### **Específico**

Monitorar o recrutamento da bioincrustação, manifestações patológicas das estruturas de concreto armado e dos esquemas de pintura, além de criar um manual técnico para avaliação das estruturas submersas do SAC da usina nuclear de Angra I.



### 3. JUSTIFICATIVA:

- Ambiental** Uso de material, no caso tintas, com baixo teor de solventes orgânicos, sendo, pouco agressivo ao meio.
- Econômico** Redução do número de intervenções para recuperação dos esquemas de pintura aplicados
- Social** Produção de conhecimento para aplicação nas outras duas usinas Angra II e Angra III e outras estruturas em condições similares na região das usinas



### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

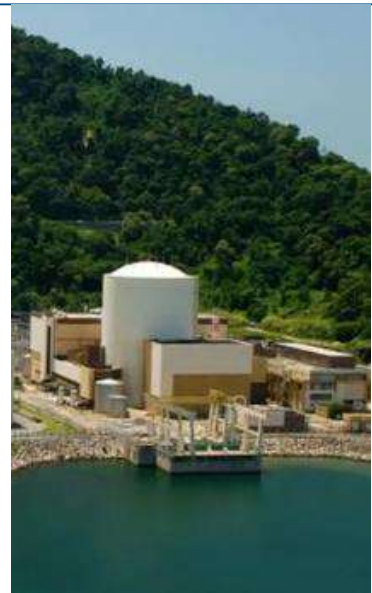
#### **Usina Nuclear de Angra I**

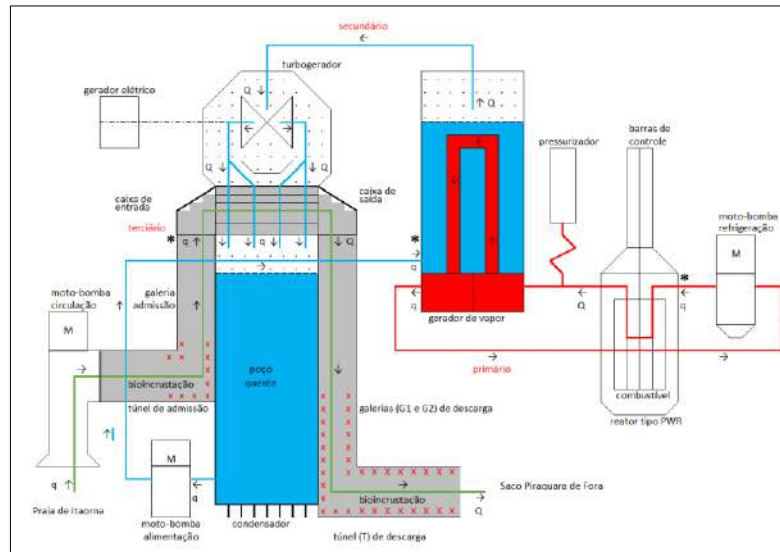
##### **Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto**

- Composta pelas três usinas nucleares Angra I, Angra II e Angra III

##### **Angra I**

- Projeto da empresa Westinghouse
- Produção nominal de 640 MW
- Início da operação comercial em 1985





## Bioincrustação

É a colonização ou o crescimento de bactérias, algas e/ou invertebrados sésseis que pode ocorrer em superfícies submersas naturais ou feitas pelo homem.



### Etapas do desenvolvimento

- 1) absorção de biopolímeros presentes na água à superfície,
- 2) atração química de bactérias e inicialmente essa absorção é reversível, passando rapidamente a um estado irreversível que envolve a fixação por fibrilas macromoleculares,
- 3) aglomeração e a formação de colônias e o crescimento de uma população bacteriana secundária, assim como diatomáceas bentônicas e protozoários (microincrustação),
- 4) Formação de comunidade de organismos macroscópicos. A macroincrustação desenvolve-se sobre a microincrustação e é aí que conseguimos ver o surgimento de cracas, briozoários, ascídias, esponjas e macroalgas.



### **Classificação da Bioincrustação em estruturas submersas**

- Coleta de amostra da bioincrustação
- Comparação da amostra com figuras em registros bibliográficos



### **Presença da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* na baía da Ilha Grande**

Artópode da família Balanidae, descrita por Darwin em 1854. Espécie exótica invasora encontrada na porção inferior da região entre marés em costões rochosos da baía da ilha grande.



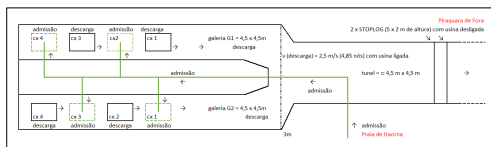
## Presença do vermetídeo da espécie *Petalococonchus varians* na baía da Ilha Grande

Molusco gastrópode da família Vermetidae, descrito por d'Orbigny em 1839, comumente encontrado na região entre marés dos costões rochosos da baía da Ilha Grande



## Possíveis manifestações Patológicas na estrutura das galerias e túnel

- Inspeção das estruturas de concreto durante as paradas para recarregamento do núcleo do reator ( $\pm 20$  dias)
- Detectar ocorrência de eventuais fissuras pelas quais podem ingressar vapores de cloretos e sulfatos





### **Composição das tintas utilizadas na construção civil**

Tintas: Veículo, pigmento e aditivo.

Veículo: Base e diluente

- Base: resina, cerâmica ou pó. Resina - Ligação dos pigmentos.
- Diluente: Solventes - Controle de viscosidade da tinta.

Pigmento: Inorgânico (ativo ou inerte) ou orgânico

- Funções: Cor, cobertura e resistência química e anticorrosiva.

Aditivos: Agregar características específicas às tintas

- Biocida: Inibir o crescimento de bioincrustação - óxido cuproso.
- Tributyl Estanho - TBT: Proibido pelo IMO (Agência da ONU)

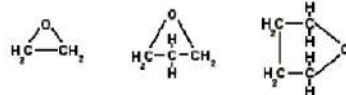


### **Resinas poliméricas utilizadas em tintas na construção civil**

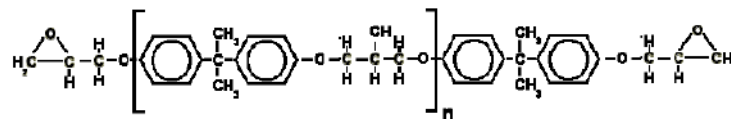
Resina epóxi

- Alta resistência à abrasão e agentes químicos; baixa resistência a raios UV.

- Presença do grupamento epóxi



- Principal DGEBA





## 5. MATERIAIS

Nome	Fornecedor	Especificação	Esquema de pintura
MC-2496 CTP	MC-Bauchemie	Resina poliuretano	EP1Q1G1
Plasteel azul	Quimatic Tapmatic	Resina epóxi	EP2Q2G1
Icosit K101 TW	Sika	Resina epóxi	EP3Q2G1
Intersleek 1100 SR	AkzoNobel	Resina fluoropolímero	EP4Q3G2
Plasteel anti craca	Quimatic Tapmatic	Resina epóxi	EP5Q4G2
Plasteel branco	Quimatic Tapmatic	Resina epóxi	EP6Q5G2 EP6Q6T

## 6. MÉTODOS

### Acesso às Galerias e Túnel de descarga do SAC

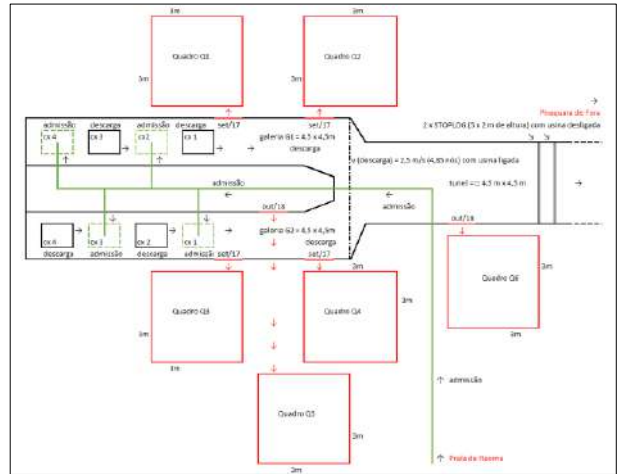
Escopo: Galerias e Túnel até os stoplog



## Remoção da bioincrustação na descarga do SAC em 6 quadros de 3 x 3 m

### Hidrojetamento

- Pressão: 27.000 psi
- Compressor, mangueiras e pistola com bico rotativo a 45° com a superfície

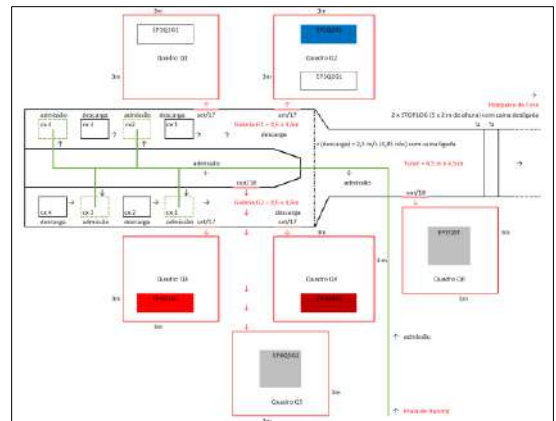


## Aplicação dos esquemas de pintura na estrutura de concreto armado de descarga do SAC após remoção da bioincrustação em 6 quadros de 3 x 3 m

### Preparação do substrato

Remoção de resíduos de fixação da bioincrustação  
Formão metálico com 1 m de comprimento  
Lixadeira pneumática (Espaço confinado)  
Secagem natural da superfície

- Mistura dos componentes das tintas
- Aplicação das tintas com trincha ou rolo





### ***Aplicação dos esquemas de pintura***

#### **EP1Q1G1 (MC-2496 CTP) MC-Bauchemie – Resina poliuretano: 300 µm**

- 1 demão de PRIMER MC-DUR 1200 VK;
- 1 demão de MC-DUR 2496 CTP.

#### **EP2Q2G1 (Plasteel azul) Quimatic Tapmatic – Resina epóxi: 200 µm**

- 1 demão de PLASTEEL AZUL.

#### **EP3Q2G1 (Icosit K 101 TW) Sika brasil – Resina epóxi: 15 mm**

- 1 demão de SIKAGARD 720 EPOCEM;
- 1 demão de ICOSIT K 101 TW.



#### **EP4Q3G2 (Intersleek 1100 SR) Akzo Nobel – Resina fluoropolímero: 300 µm**

- 1 demão de INTERSHIELD 300;
- 1 demão de INTERSLEEK 731;
- 1 demão de INTERSLEEK 1100 SR.

#### **EP5Q4G2 (Plasteel anti craca) Quimatic Tapmatic – Resina epóxi: 250 µm**

- 1 demão de PLASTEEL ANTI CRACA.

#### **EP6Q5G2 (Plasteel branco) Quimatic Tapmatic – Resina epóxi: 150 µm**

#### **EP6Q6T (Plasteel branco) Quimatic Tapmatic – Resina epóxi: 150 µm**

- 1 demão de PLASTEEL BRANCO.



## **Levantamento da densidade do recrutamento da bioincrustação nas galerias e túnel nas áreas onde foi removida a bioincrustação**

Frame de aço inoxidável com área de 400 cm<sup>2</sup> (20 cm x 20cm) com suporte para máquina fotográfica CANON semiprofissional

Densidade = N<sup>o</sup> indivíduos/Área do frame  
Resultado expresso na unidade "indivíduos por centímetro quadrado".

As fotos foram divididas em 4 linhas diagonais para facilitar a contagem de indivíduos evitando erros na sua visualização



## **Avaliação do grau de empolamento (formação de bolhas) em tintas**

### **Norma ASTM D714 – 02 (2017)**

Avaliação do grau de empolamento (formação de bolhas) em tintas feita mediante comparação com padrões visuais.

#### **Classificação**

- Tamanho das bolhas
- Frequência das bolhas

#### **Quanto ao tamanho**

O tamanho varia de 0 a 10

- 10 - Significa ausência de bolhas;
- 8 - O menor tamanho de bolhas facilmente detectável ao olho humano;
- 6, 4 e 2: tamanhos progressivamente maiores

#### **Quanto à frequência**

Classificação dividida em quatro níveis

- D - Densa;
- MD - Médio densa;
- M - Média
- F - Pouco



### Quanto ao tamanho

O tamanho varia de 0 a 10

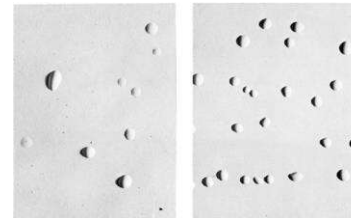
- 10 - Significa ausência de bolhas;
- 8 - O menor tamanho de bolhas facilmente detectável ao olho humano;
- 6, 4 e 2: tamanhos progressivamente maiores

### Quanto à frequência

Classificação dividida em quatro níveis

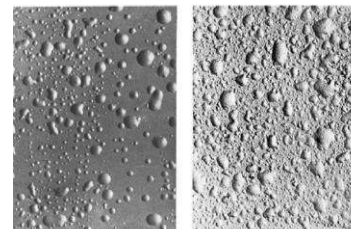
- D - Densa;
- MD - Médio densa;
- M - Média
- F - Pouco

Bolhas de tamanho 2



Pouco

Média



Médio densa

Densa



## Ensaio de aderência à tração (pull-off) em esquemas de pintura aplicados em materiais não metálicos

### Norma ASTM D7234-22

- Carreteis metálicos colados na superfície da tinta aplicada  
Tempo de cura varia com o grau de umidade do ambiente e a qualidade da cola.
- Testador de adesão: Extração do carretel colado após o tempo de cura da cola.
- Medida em MPa



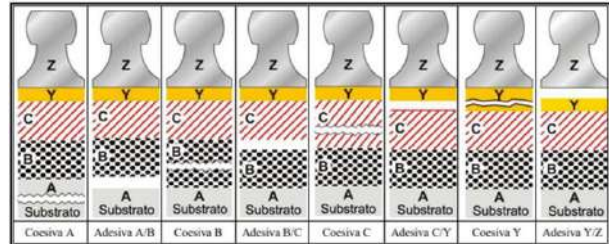
## Avaliação do tipo de falha no Ensaio de aderência à tração em esquemas de pintura

### Camadas consideradas no ensaio de aderência à tração

- A - Substrato
- B - Tinta de fundo e/ou intermediárias
- C - Tinta de acabamento
- Y - Cola adesiva
- Z - Carretel metálico

### Tipos de falha

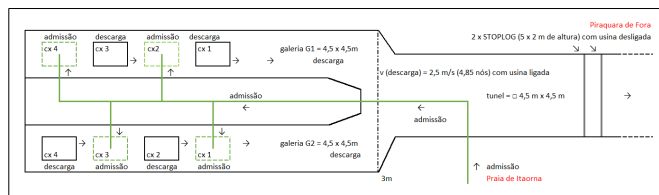
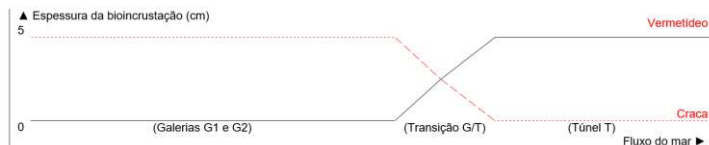
- Coesiva - Ruptura da camada
- Adesiva - Ruptura entre as camadas



Classificação	Natureza da Falha
A	falha coesiva do substrato
A/B	falha adesiva entre o substrato e a primeira camada do revestimento
B	falha coesiva da primeira camada do revestimento
B/C	falha adesiva entre as camadas B e C
C	falha coesiva da camada C
C/Y	falha adesiva entre a última camada de tinta e o adesivo
Y	falha coesiva do adesivo
Y/Z	falha adesiva entre o adesivo e o carretel ("dolly")

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES PARCIAIS

### Classificação da bioincrustação



Laboratório de Monitoração ambiental (LMA) da Eletronuclear



### ***Preparação do substrato***





Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



## Pintura

EP1Q1G1  
09/2017 após a aplicação



EP2Q2G1  
09/2017 após a aplicação



EP3Q2G1  
09/2017 após a aplicação



Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



EP4Q3G2  
09/2017 após a aplicação



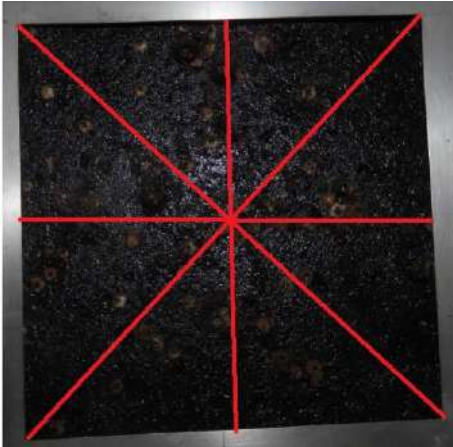
EP5Q4G2  
09/2017 após a aplicação



EP6Q5G2  
09/2017 após a aplicação

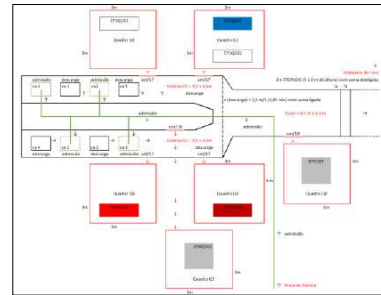


### Densidade do recrutamento da bioincrustação



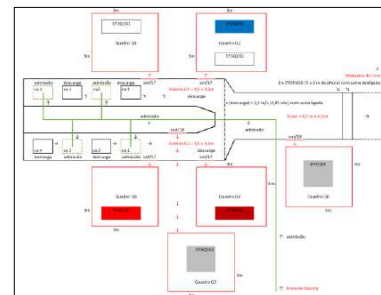
0,18 indivíduos / cm<sup>2</sup> no **Q1G1** em 09/2023.

Período: 09/2017 - 09/2023



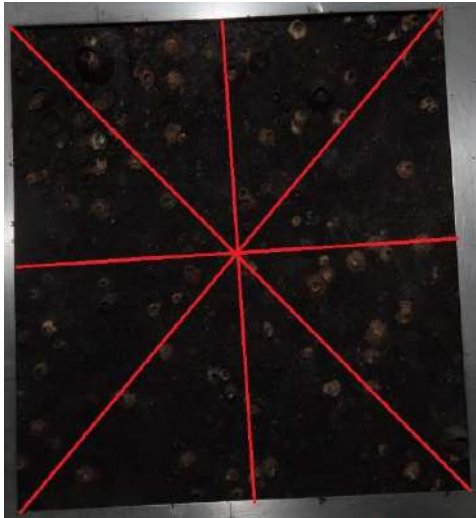
0,16 indivíduos / cm<sup>2</sup> no **Q2G1** em 09/2023.

Período: 09/2017 - 09/2023



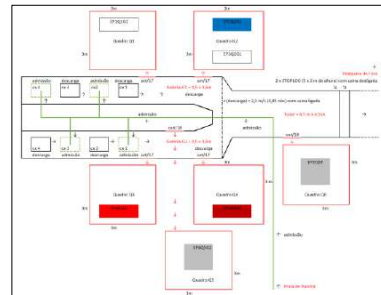


Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais

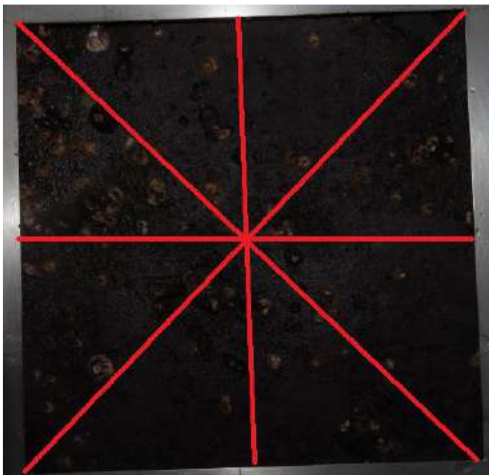


0,26 indivíduos / cm<sup>2</sup> no **Q3G2** em 09/2023.

Período: 09/2017 - 09/2023

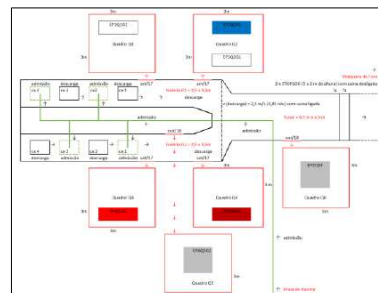


Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



0,21 indivíduos / cm<sup>2</sup> no **Q4G2** em 09/2023.

Período: 09/2017 - 09/2023



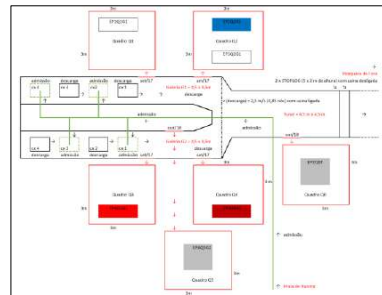


Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



0,16 indivíduos / cm<sup>2</sup> no **Q5G2** em 09/2023.

Período: 10/2018 - 09/2023

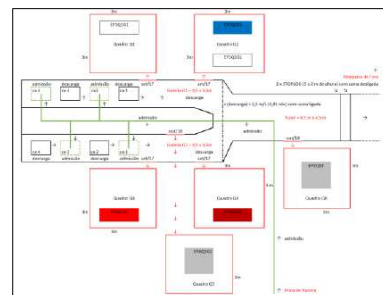


Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



5 cm de espessura no **Q6T** em 01/2020.

Período: 10/2018 - 09/2023



## Avaliação do grau de empolamento e aderência dos esquemas de pintura

<p><b>EP1Q1G1</b></p> <p>Formação de bolhas generalizada densa tamanho 2 (01/2020); Tensão de aderência: Não. Umidade proveniente da formação de bolhas impediu colagem do carretel</p> 	<p><b>EP2Q2G1</b></p> <p>Não apresentou degradação; Tensão de aderência: 2,9 MPa, falha tipo A/B</p> 	<p><b>EP3Q2G1</b></p> <p>Formação de bolhas generalizada densa tamanho 6 (09/2023); Tensão de aderência: 7,9 MPa, falha tipo B/C</p> 
<p><b>EP4Q3G2</b></p> <p>Delaminação entre as tintas de fundo e acabamento; Tensão de aderência: 2,4 Mpa, falha tipo A</p> 	<p><b>EP5Q4G2</b></p> <p>Mudança de cor superficial de vermelho para cinza; Tensão de aderência: 1,6 Mpa, falha tipo A/B</p> 	<p><b>EP6Q5G2</b></p> <p>Não apresentou degradação; Tensão de aderência: 2,4 Mpa, falha tipo A/B</p> 

## 8. CONCLUSÃO

### Esquema de pintura que apresentou o melhor desempenho

EP2 (Plasteel azul) Quimatic Tapmatic

Não apresentou anomalia;

Tensão de aderência 2,9 MPA.

### Atividade da bioincrustação

**Galerias** - Início do recrutamento pela craça sobre o concreto 6 anos após a remoção

**Túnel** - Vermetídeo atingiu a maturidade 1 ano após a remoção

EP	FORN	Q1G1	Q2G1	Q3G2	Q4G2	Q5G2	Q6T
EP1	MC	AP:2017 BOLHA 10/2018 AD:NÃO 01/2020					
EP2	QT	→	AP:2017 2,9 Mpa 01/2020				
EP3	SIKA		AP:2017 BOLHA 10/2018 09/2023 7,9 Mpa 01/2020				
EP4	AN			AP:2017 DELAM. 01/2020 2,4 Mpa 01/2020			
EP5	QT				AP:2017 MUD.COR 10/2018 09/2022 1,6 MPa 01/2020		
EP6	QT					AP:2018 2,4 Mpa 01/2020	AP:2018 BIOINC 01/2020 AD:NÃO 01/2020



Fundação Oswaldo Aranha  
Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais



---

**OBRIGADO!!!**