

Luis Carlos Greggianin – Braskem UNIB-RS
Carlos Eduardo A. de C. e Sousa – RMC Eng.
Novembro/2016



Braskem

FÓRUM TANQUES DE ARMAZENAMENTO

18 NOVEMBRO | 2016

Programação

08:30 | Abertura

Roberto Odilon Horta | Gerente de Certificação – IBP

Teófilo Antônio de Souza | GRINSP/RJ

08:50 | Mecanismos de Danos em Tanques & Casos Práticos na TRANSPETRO

Carlos André Tavares de Moura | TRANSPETRO

09:40 | Tecnologias para Inspeção e Monitoração da Corrosão em Tanques

Rafael Wagner F. dos Santos | PETROBRAS – CENPES

10:30 | Coffee Break

10:50 | Colapso de Teto Flutuante Causas & Soluções

Luis Carlos Greggianin | BRASKEM – UNIB RS

11:40 | O uso do RBI como Ferramenta para a Programação de Inspeção de Tanques

Rafael Adriano Guimarães dos Reis | PETROBRAS – REGAP

12:30 | Intervalo para Almoço

14:00 | Inspeção de Tanques Estruturais em Unidades Offshore – Técnicas & Estratégias

Ivan Lima | TRIAM Engineering

14:50 | Nova Norma PETROBRAS N-2318 – Inspeção em Serviço de Tanques de Armazenamento

Adriano Marques | PETROBRAS – REDUC

15:40 | Encerramento – IBP / GRINSP-RJ

Objetivo

Apresentar a ocorrência no teto flutuante de tanque de armazenamento de nafta petroquímica para divulgação técnica

1. Descrição do tanque
2. Histórico do evento
3. Estudo das causas
4. Recuperação e Teste do Tanque
5. Melhorias no projeto
6. Conclusões e Recomendações



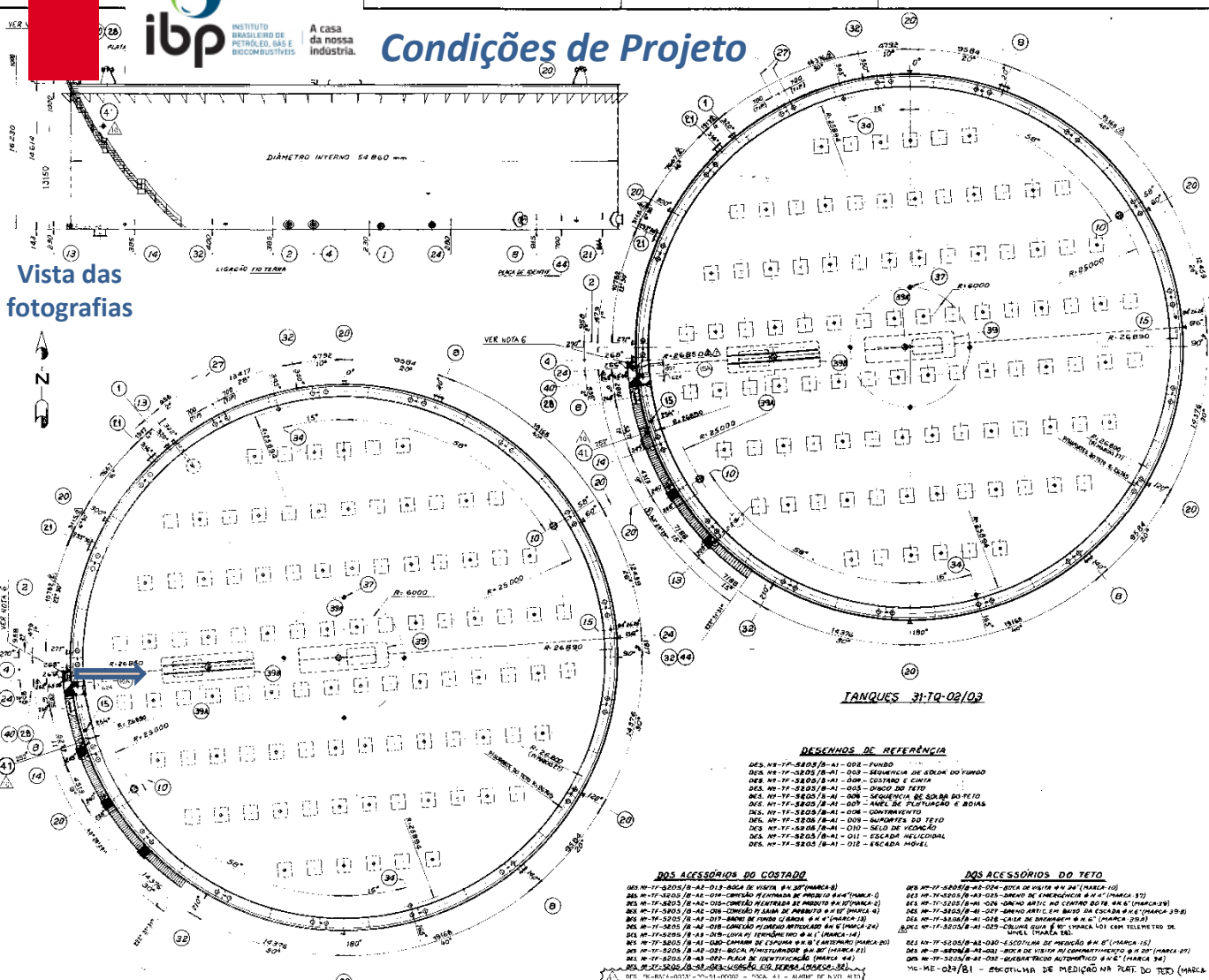
BRASKEM UNIB-RS



Área Administrativa

Condições de Projeto

Vista das fotografias



TANQUES 31-TQ-02/03

TANQUE 31-TQ-01

- DESENHOS DE REFERÊNCIA**
- DES. Nº-TP-3803/8-AI-008-FUNDO
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-009-SEMIPLANTA DE ABRIGA DO FUNDO
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-006-COSTADO E CINTA
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-005-DISCO DO TETO
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-008-SEMIPLANTA DE ABRIGA DO TETO
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-007-ANEL DE PLANTARDO E BOCAS
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-008-CONTEINER
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-008-SUportes DO TETO
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-010-SELO DE VEDAÇÃO
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-011-ESCALA HELICOIDAL
 - DES. Nº-TP-3803/8-AI-012-ESCALA MOVEL

- NOTAS GERAIS**
- AS QUANTIDADES INDICADAS NA TABELA DE BOCAS REFEREM-SE A 1(M) TANQUE.
 - PODAS AS MEDIDAS LINEARES CORRESPONDENTES A ALOCAÇÃO EM GRUPOS, SÃO TOLERÂNCIAS DE CONFORMIDADE EXISTENTE EM 10 ANOS, NO CASO DE:
 - TUBOS AS MEDIDAS LINEARES SÃO EM MILÍMETROS.
 - O REVESTIMENTO DE BOCAS DE VISITA É DO TIPO "STOCK FINISH".
 - NA FAZEL INTERIORES BASTANTE PARA BASTANTE COM REVESTIMENTO DO COSTADO.
 - ELEVADOR Y GARRAS DE AMOSTRAGEM (VER DES. STD-31-34-101)

1 - CÓDIGO

- 1 - PRESSÃO
- 2 - TEMPERATURA
- 3 - TEMPERATURA
- 4 - TEMPERATURA
- 5 - TEMPERATURA
- 6 - PUNTO DE FUSÃO
- 7 - CAPACIDADE NOMINAL
- 8 - DIÂMETRO DO PRODUTO
- 9 - SUBREPRESENTAÇÃO DE COMPRIMENTO
- 10 - QUANTIDADE DE TUBOS
- 11 - RADIOGRAFIA
- 12 - EFICIÊNCIA DE SOLDAS
- 13 - TESTE HIDROSTÁTICO
- 14 - VAZÃO DE ENTRADA (MAX)
- 15 - PESO MÁXIMO
- 16 - CARGA DE VELA
- 17 - DECLINAÇÃO DO FUNDO
- 18 - DIÂMETRO NOM. S/ABR. ANOM. MÁX.
- 19 - PRODUTO ARMAZENADO
- 20 - ISOLAMENTO TÉRMICO
- 21 - INSULFADO
- 22 - PINTURA

23 - TETO

24 - BOCAS DE VISITA

25 - BOCAS DE VISITA

26 - BOCAS DE VISITA

27 - BOCAS DE VISITA

28 - BOCAS DE VISITA

29 - BOCAS DE VISITA

30 - BOCAS DE VISITA

31 - BOCAS DE VISITA

32 - BOCAS DE VISITA

33 - BOCAS DE VISITA

34 - BOCAS DE VISITA

35 - BOCAS DE VISITA

36 - BOCAS DE VISITA

37 - BOCAS DE VISITA

38 - BOCAS DE VISITA

39 - BOCAS DE VISITA

40 - BOCAS DE VISITA

41 - BOCAS DE VISITA

42 - BOCAS DE VISITA

43 - BOCAS DE VISITA

44 - BOCAS DE VISITA

MATERIAIS

- 1 - COSTADO, FUNDO E TETO
- 2 - FLANGES
- 3 - PARAFUSOS (EXTERNO)
- 4 - PARAFUSOS (EXTERNO)
- 5 - JUNTA
- 6 - JUNTA
- 7 - INTERNOS (CHAPA)
- 8 - INTERNOS (TUBO)
- 9 - BOCAS DE VISITA
- 10 - BOCAS DE VISITA
- 11 - CURVAS
- 12 - REVESTIMENTO
- 13 - BOCAS DE VISITA

ASTM - A-283-GR-C

ASTM - A-105

ASTM - A-232-GR-B

ASTM - A-193-GR-B

ASTM - A-194-CL 2H

ASTM - A-283-GR-C

ASTM - A-53-GR-B

ASTM - A-733

ASTM - A-105

ASTM - A-283-GR-B

ASTM - A-283-GR-C

TABELA DE BOCAS

MARCA	DIAM.	QUANT.	CURS.	FACE	INSTR.	SERVICO	NOTAS E/OU OBS.
1	4"	1	150"	RF	3-7	ENTRADA DE PRODUTO	"STOCK FINISH"
2	10"	1	300"	RF	3-7	ENTRADA DE PRODUTO	"STOCK FINISH"
3	10"	1	150"	RF	3-7	SADA DE PRODUTO	"STOCK FINISH"
4	30"	3	-	-	3-6	BOCA DE VISITA	COSTADO
5	10"	2	-	-	3-6	BOCA DE VISITA	TETO
6	4"	1	150"	RF	3-10	ORNO DE FUNDO COM BRACA	"STOCK FINISH"
7	4"	1	300"	RF	3-7	MEDIDA DE TEMPERATURA	BOCA A 10"
8	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	TETO
9	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
10	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
11	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
12	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
13	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
14	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
15	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
16	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
17	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
18	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
19	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
20	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
21	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
22	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
23	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
24	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
25	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
26	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
27	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
28	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
29	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
30	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
31	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
32	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
33	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
34	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
35	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
36	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
37	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
38	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
39	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
40	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
41	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
42	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
43	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"
44	6"	2	150"	RF	3-7	BOCA DE MEDIDA COMPLETA	"STOCK FINISH"

COPESUL-PCA
Pedido em 21.10.18
2020

REVISÃO

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
1	21.10.18	...
2	23.10.18	...

REVISÃO

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
1	21.10.18	...
2	23.10.18	...

BRASILEIRO DE METALURGIA S.A.
CONSTRUTORA DO IQU/BRASILEIRO S.A.
BARRIL DE ALUMINIO COM EST. 1000
SEGUNDO CERTIFICADO
DATA: 21.10.18

REVISÃO

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
1	21.10.18	...
2	23.10.18	...

CERTIFICADO
0888 USE
0777

BADONI-ATB
INDÚSTRIA METALMECÂNICA S.A. - São Paulo

COPESUL COMPANHIA PETROQUÍMICA DO SUL
CENTRAL DE PETROQUÍMICOS BÁSICOS
TRIUNFO - RS - BRASIL

DES. Nº	17-5205/8-AI-001
REV. Nº	01/18

1. Descrição do Tanque

Características Construtivas do Tanque: **Tag: 31TQ02**

Norma: API 650 Ed 1978 - Tipo de Teto: Flutuante Buoy-roof

Diâmetro: 54.860 mm

Altura Costado: 14.614 mm

Capacidade: 34.544 m³

Flutuadores periféricos: 32 câmaras

Flutuadores centrais: 8 fileiras – 96 câmaras

Drenos do Teto: 2 do tipo articulado - diâmetro 6”

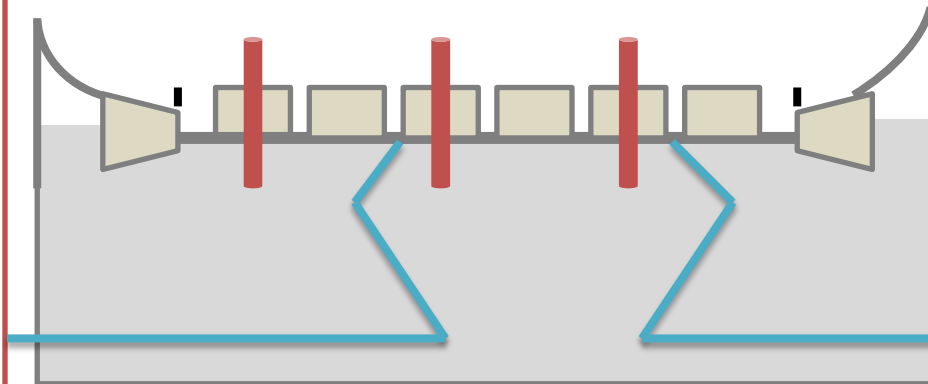
→ Sob a escada e no centro do tanque

Fabricação: 1980/1981

3 tanques similares → 31TQ01/02/03

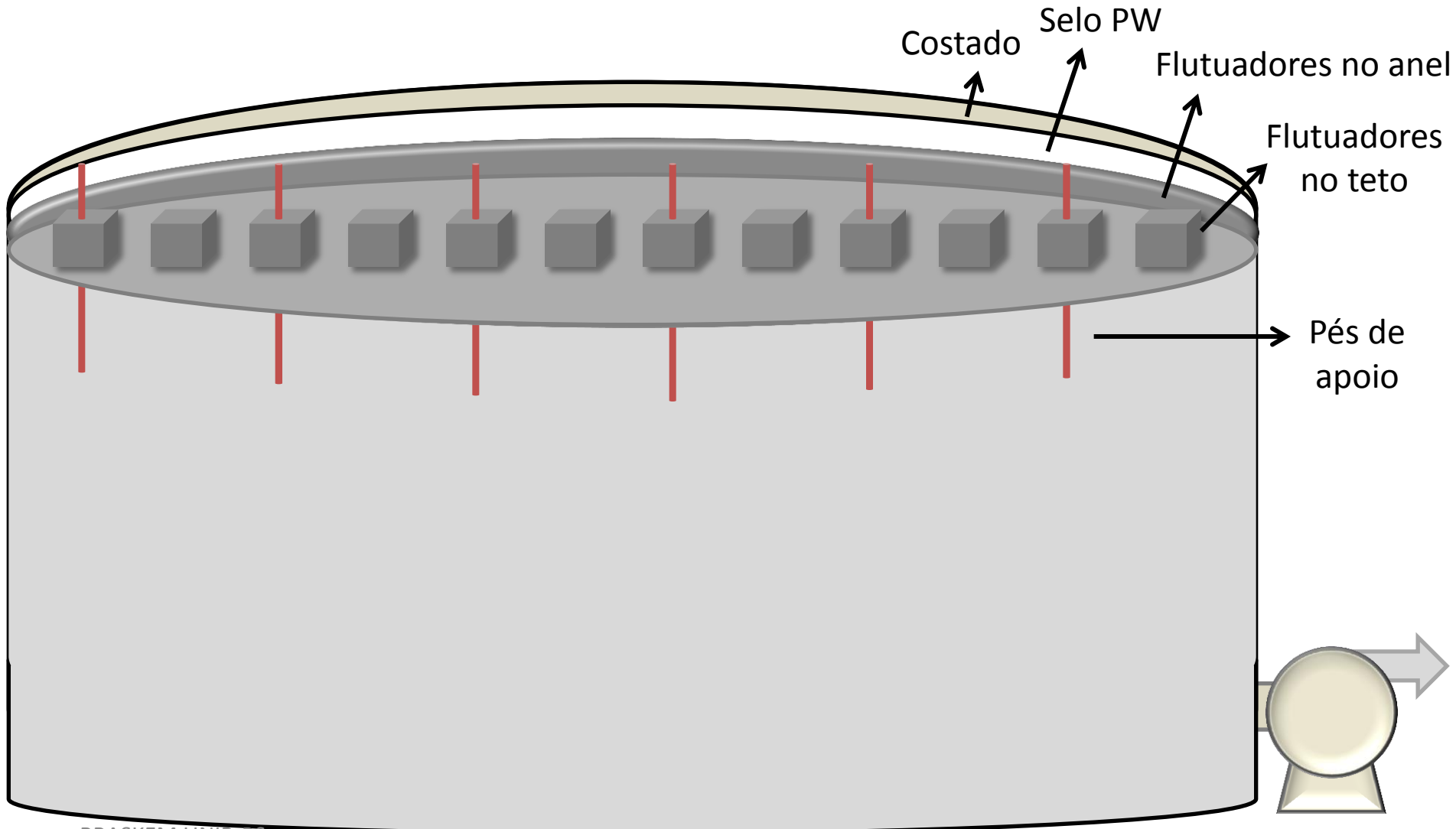
Início Operação: 1982

Teto buoyroof + dreno articulado



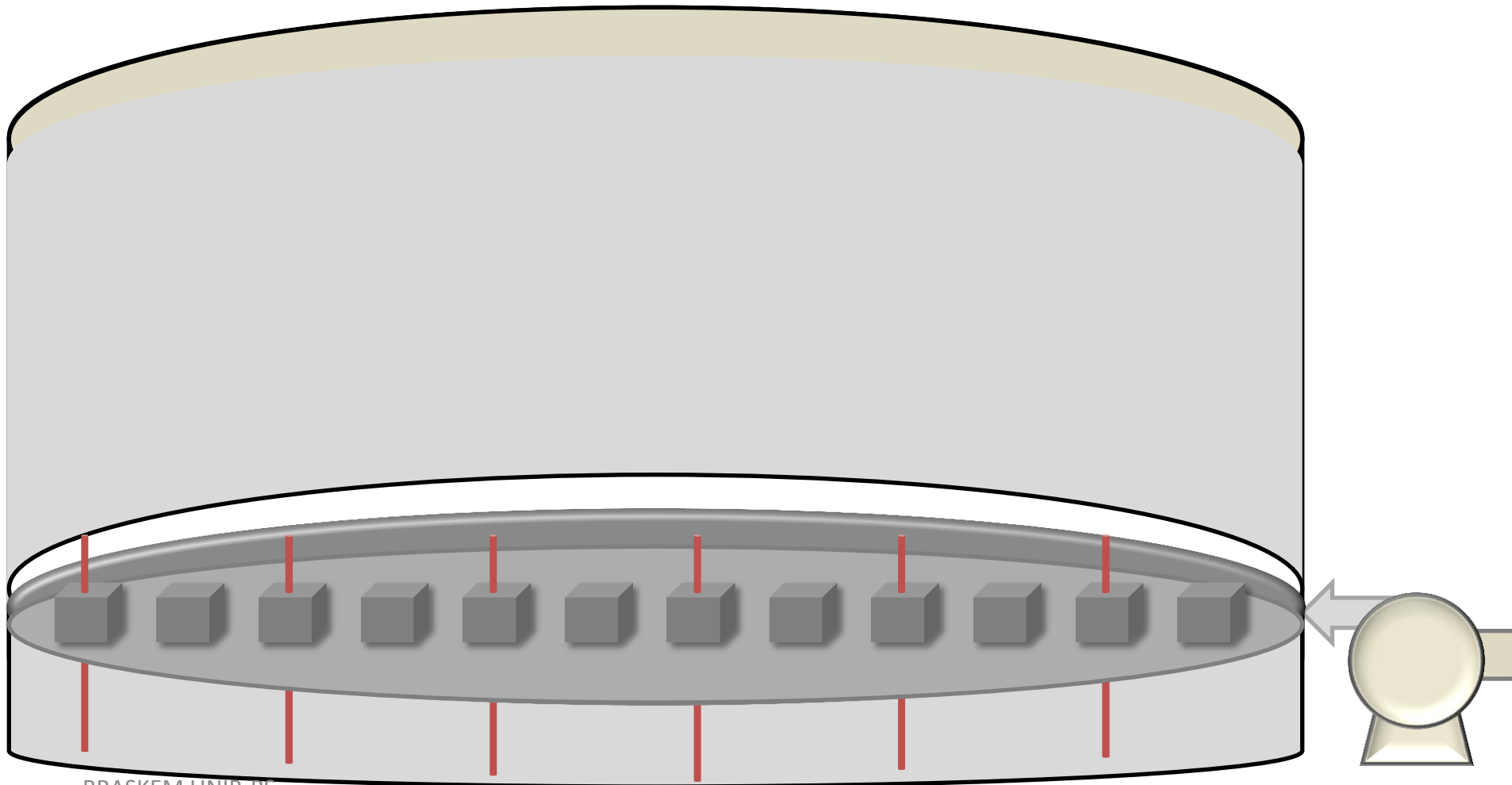
Funcionamento do Teto Flutuante

Processo de Esvaziamento – Tanque Alinhado para Planta



Funcionamento do Teto Flutuante

Processo de Enchimento – Recebimento de Nafta



2. Histórico do Evento

FEV/2012

Fechamento do **bloqueio do 2º dreno** do teto, tendo em vista que estava ocorrendo a entrada de nafta pela falha das juntas das uniões articuladas internas;

O 1º dreno já estava bloqueado pelo mesmo motivo **desde 2005**

Iniciada drenagem por gravitação, interrompida em 9.500 mm de nível, após ocorrência de **ruído forte** e deformação do teto, com seu dobramento e afundamento parcial no lado norte

Accionado os inspetores de equipamentos para registrar e avaliar o dano no teto.

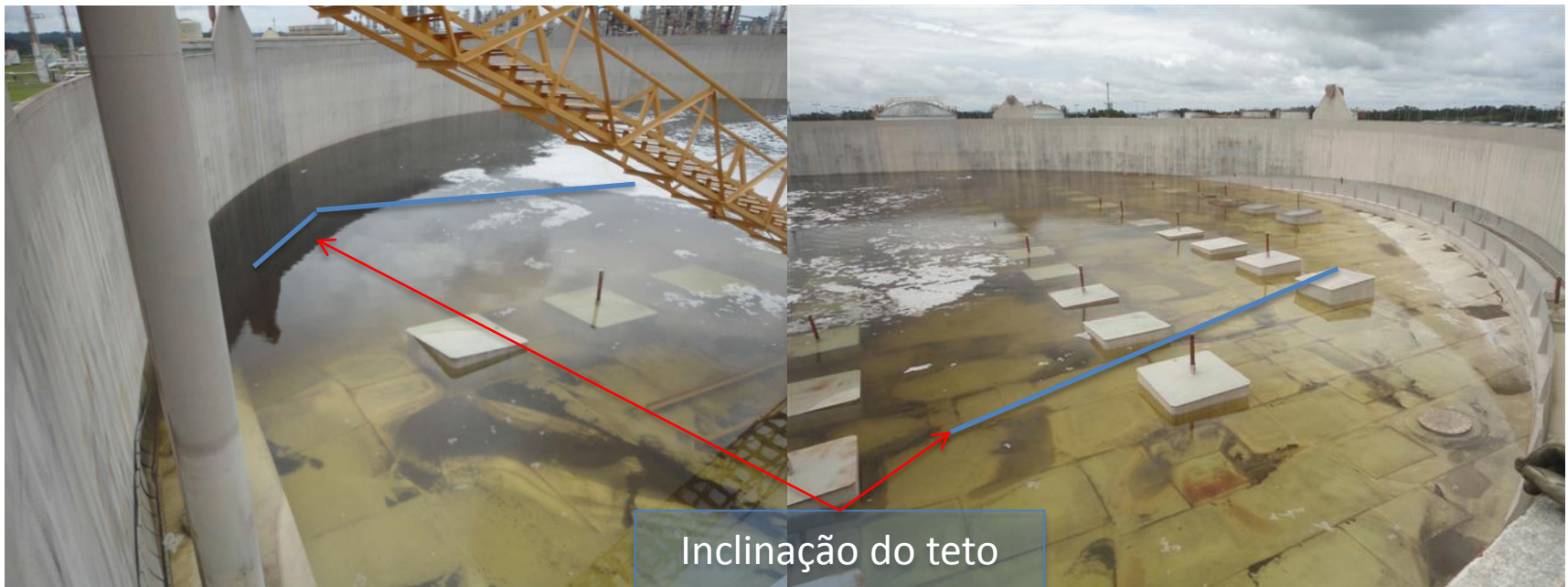
Na manhã do turno 8:00-16:00, após o carregamento do tanque em 12.000 mm (concluído no turno 0:00-8:00) após **forte cheiro na área** de tancagem, operador verificou a condição de adernamento-inclinação do teto, ficando submerso na nafta e ocasionando um aumento da vaporização da mesma para o ambiente.

Ocorrência de **tromba de água na região**, aproximadamente 115 mm

16 5ª	17 6ª	18 Sab	19 Dom	20 2ª	21 3ª	22 4ª	23 5ª	24 6ª	25 Sab	26 Dom	27 2ª	28 3ª	29 4ª
----------	----------	-----------	-----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	----------	----------	----------

Carnaval

Vista do Tanque a partir da escada – nível máximo, nafta sobre o teto flutuante

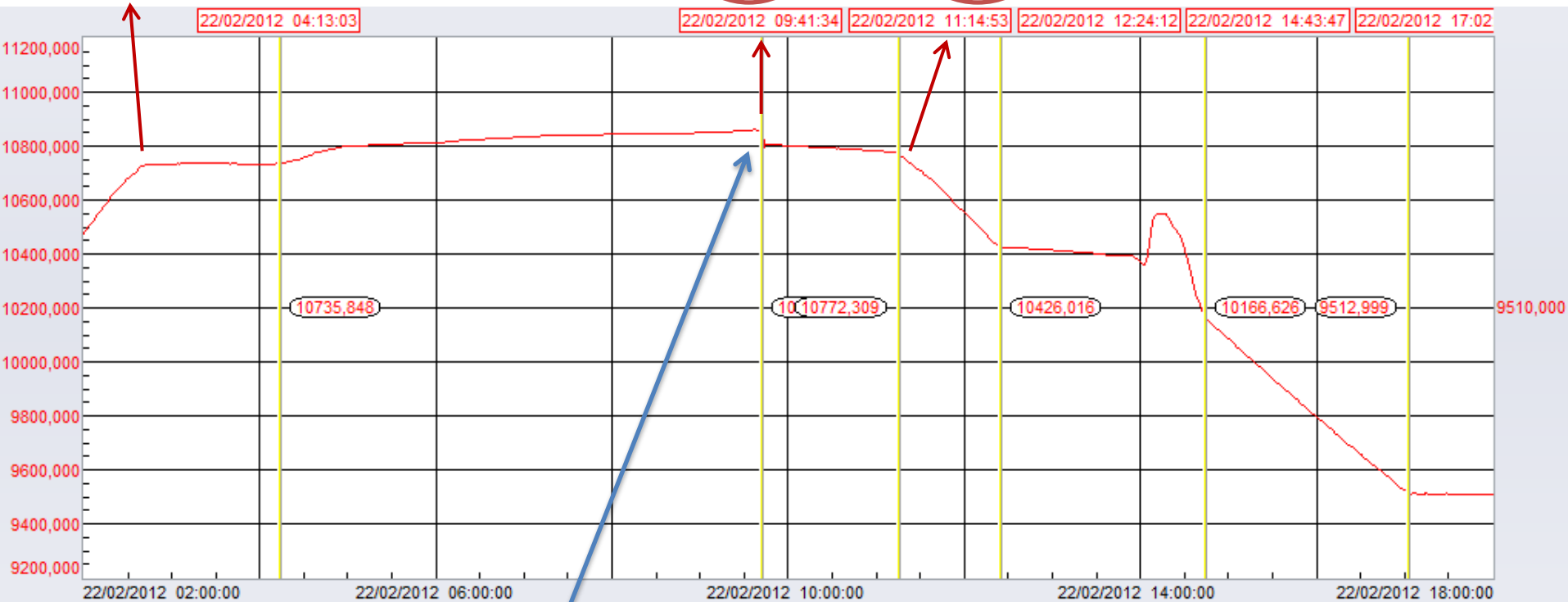


31TQ02 – Comportamento do Nível no Dia 22/02

Término do recebimento de Nafta

Momento do adernamento

Gravitação do 31TQ02 para o 31TQ01



22/02 02:45h: concluído recebimento da NAFTA para o 31TQ02 ficando com o nível de 10.735 mm.

22/02 04:15h às 09:42h: variação de nível devido ao acúmulo de água da chuva.

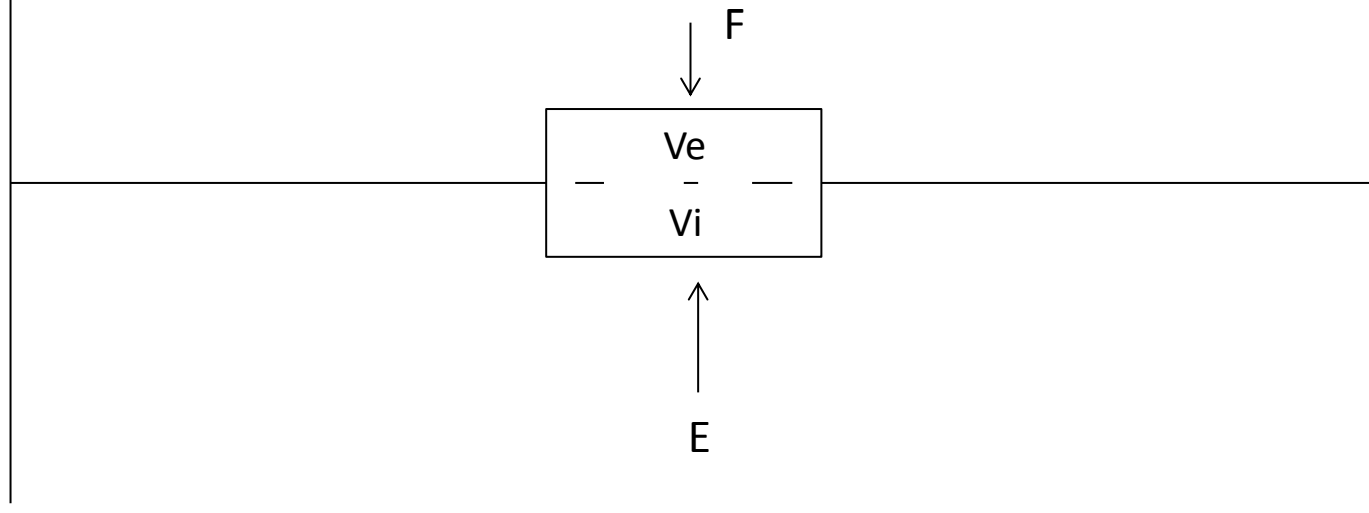
22/02 10h: operador de campo identifica adernamento do teto flutuante do 31TQ02.

22/02 11:13h: inicia-se aplicação de espuma no tanque.

inicia-se a gravitação para o 31TQ01.

22/02 17h: gravitação é interrompida devido a deformação do teto.

Princípio de Arquimedes - Empuxo

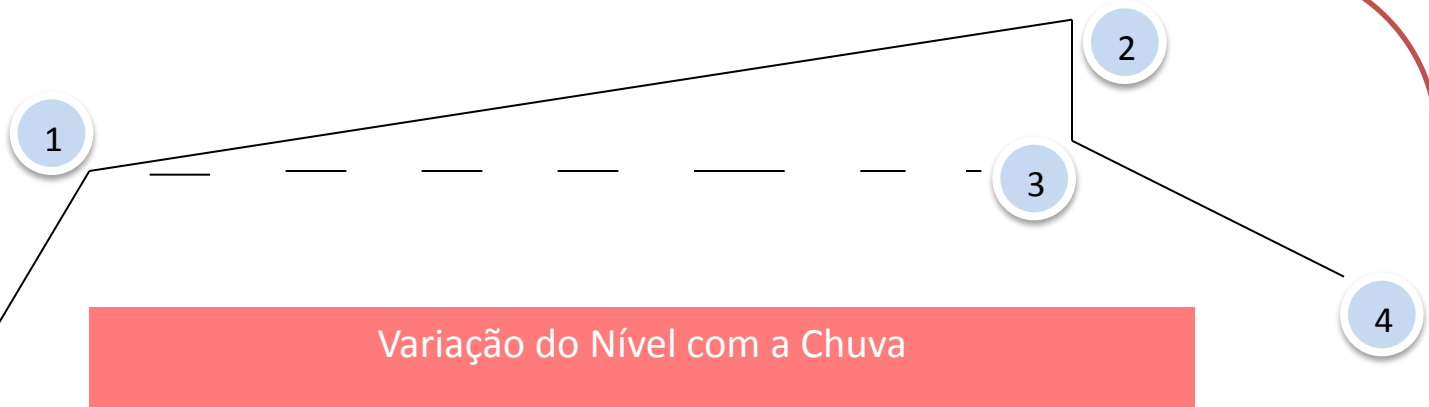


F = peso da água acumulada no teto, na superfície útil.

E = peso da nafta deslocada pelo volume V_i (volume dos flutuadores que está imerso).

Usando $d = 670 \text{ kg/m}^3$ (a $29,5 \text{ }^\circ\text{C}$) para a nafta e $d = 1000 \text{ kg/m}^3$ para a água.

Se $F = E$, então $V_i = 3,206 \cdot h \text{ m}^3$ (onde h em mm). Assim, se acumular 1 mm de água no teto, o nível da nafta vai aumentar 1,356 mm. O nível de água tem um efeito multiplicador *1,356 no nível da nafta.



(1) 2:42 h, bombeio parado, nível = 10.733 mm, massa contida 16.695 t. Às 4:11 h começa a subir o nível do tanque por efeito da forte chuva que cai.

(2) 9:42 h, nível = 10.861 mm. Nesses instantes o teto aderna.

Em **(3)** o nível cai para 10.804 mm e a massa contida para 16.821 t.

De **(1)** para **(2)** o nível de nafta subiu 128 mm. Pelo efeito multiplicador (se nenhuma água vazou de sobre o teto para debaixo do teto nesse período), o nível de água sobre o teto aumentou de $128 \text{ mm} / 1,356 = 94,4 \text{ mm}$.

De **(2)** para **(3)**, essa água escorreu para debaixo do teto, abaixando a indicação de nível. Pelo medidor, o nível caiu em 57 mm. O volume de água que escorreu para debaixo do teto foi de $202,75 \text{ m}^3$.

2. Histórico do Evento

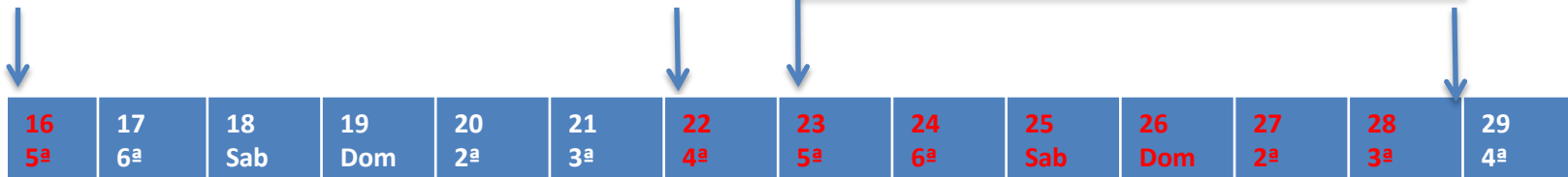
FEV/2012

Instalação de tubulações temporárias para drenagem:

- Injeção de água através do dreno da nafta, mantendo o nível do tanque;
- Remoção da nafta via drenagem pluvial do teto e envio para outros tanques de nafta;
- Monitoramento da deformação do costado na região de engaste das colunas do anti-rotacional;

Processo é lento para evitar trancamento do teto no tubo anti-rotacional.

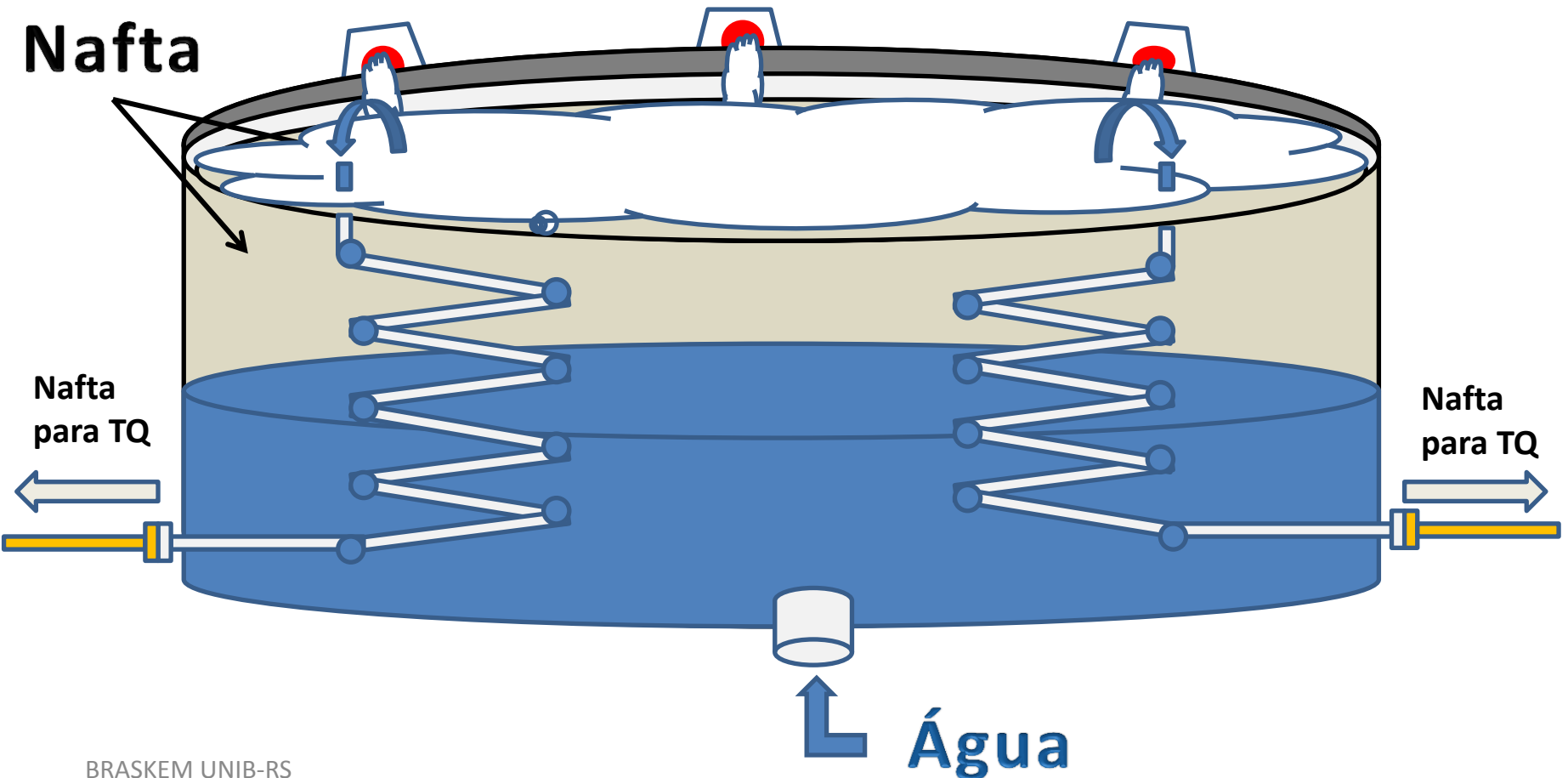
Uso de espuma sobrenadante para reduzir emissões



Processo de Remoção de Nafta

Deslocamento de Nafta com Água e Esgotamento via Dreno Articulado

Aplicação de espuma

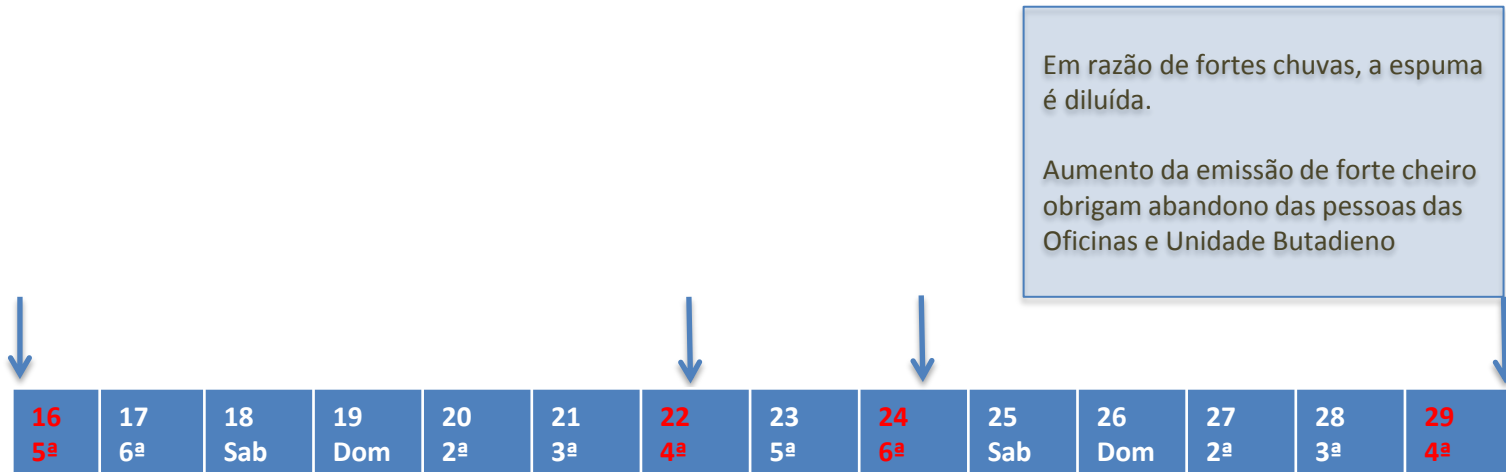


Cobertura de Espuma para reduzir evaporação



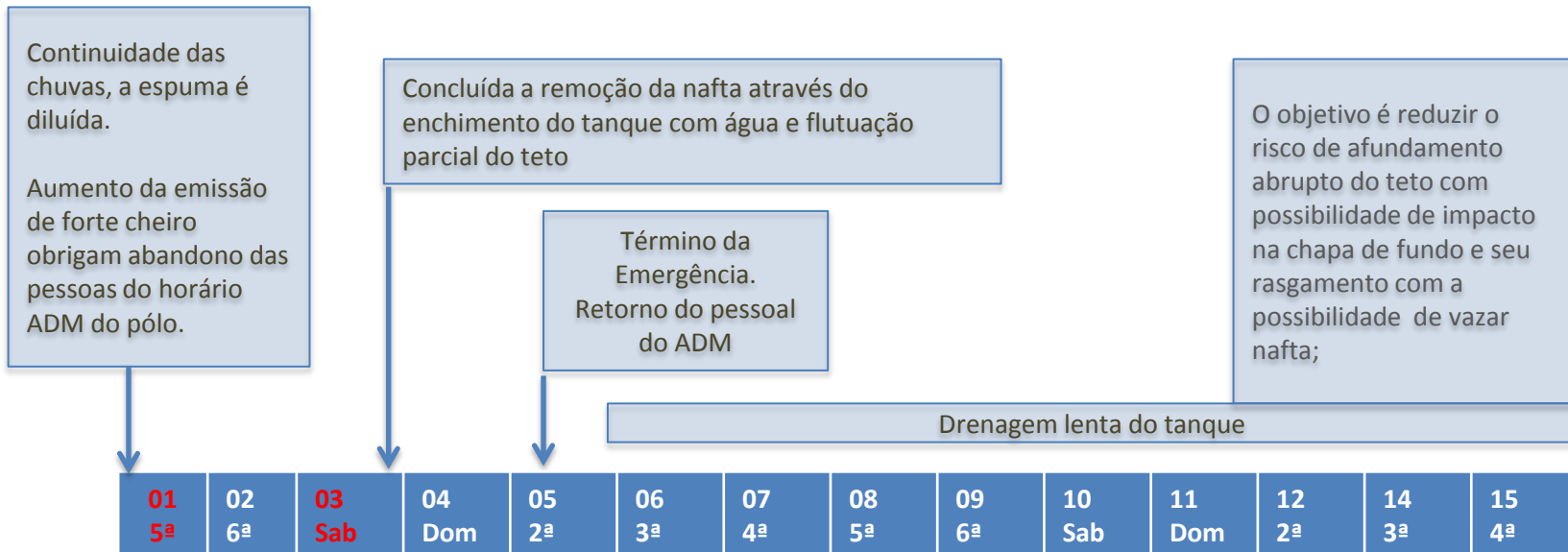
2. Histórico do Evento

FEV/2012



2. Histórico do Evento

MAR/2012

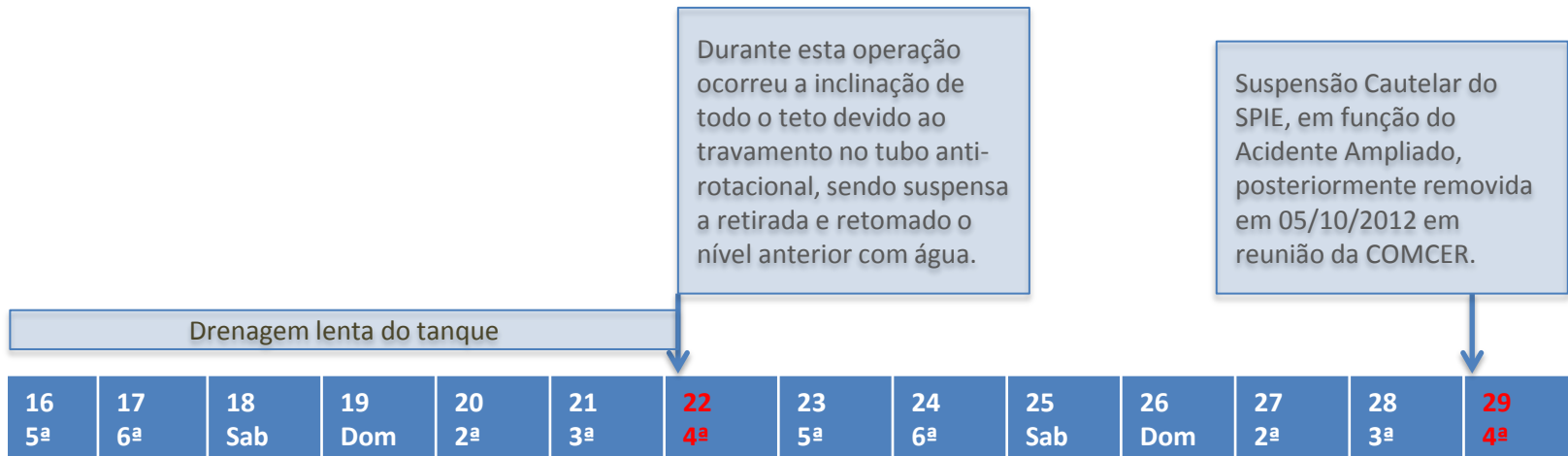


Tubulações temporárias para transferência pelo bocal do dreno do teto



2. Histórico do Evento

MAR/2012



3. Estudo das Causas

Condições de Projeto – Apostila Stenio Monteiro de Barros – API 650

Flutuabilidade

“Os tetos flutuantes, de qualquer tipo, devem apresentar flutuabilidade suficiente e permanecer flutuando sobre um líquido de densidade 0,7, ou de densidade igual a do produto armazenado caso a sua densidade seja inferior a 0,7, com seus drenos principais inoperantes, em ambas as seguintes condições analisadas separadamente:

Primeira condição (água da chuva): lençol superior com carga de água proveniente de uma altura pluviométrica de 250 mm, sobre toda a área do tanque, num período de 24 horas. Teto intacto.

Segunda condição (furo no teto): dois compartimentos contíguos e lençol central inundados, como se estivessem furados

Árvore de Hipóteses

Possibilidades para Adernamento de um Teto Flutuante:

1. Perda de flutuabilidade;
2. Trancamento durante o carregamento;

Análise de Flutuabilidade Verificação do Projeto Conforme API 650

*Modelamento Matemático por Elementos Finitos
Programa Simulia Abaqus 6.11.*

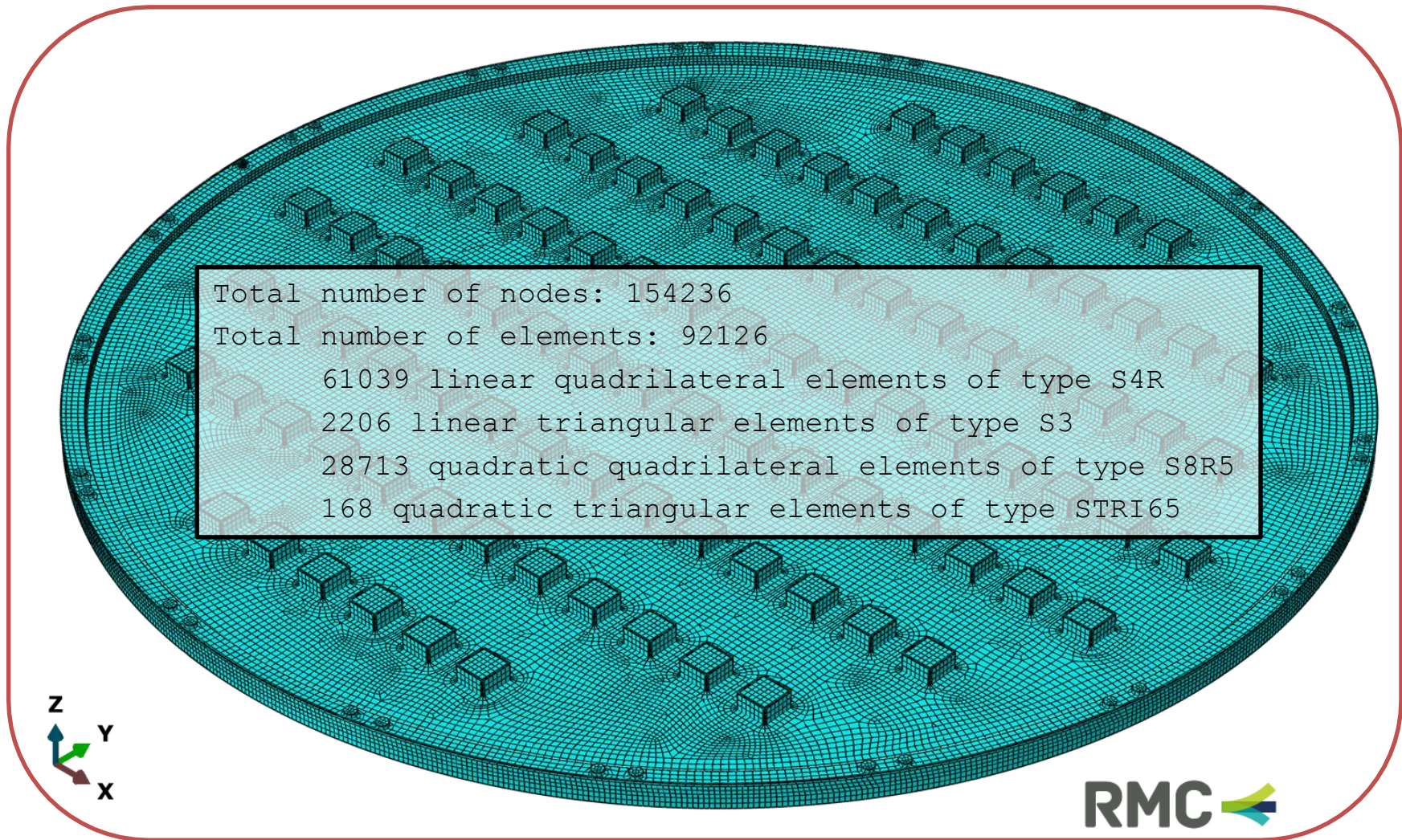
Empresa: **RMC** 

Quais os desafios?

- Avaliar numericamente as hipóteses levantadas para falha do equipamento;
- Verificar a adequação do equipamento aos requisitos da API-650.

Quais as condições avaliadas?

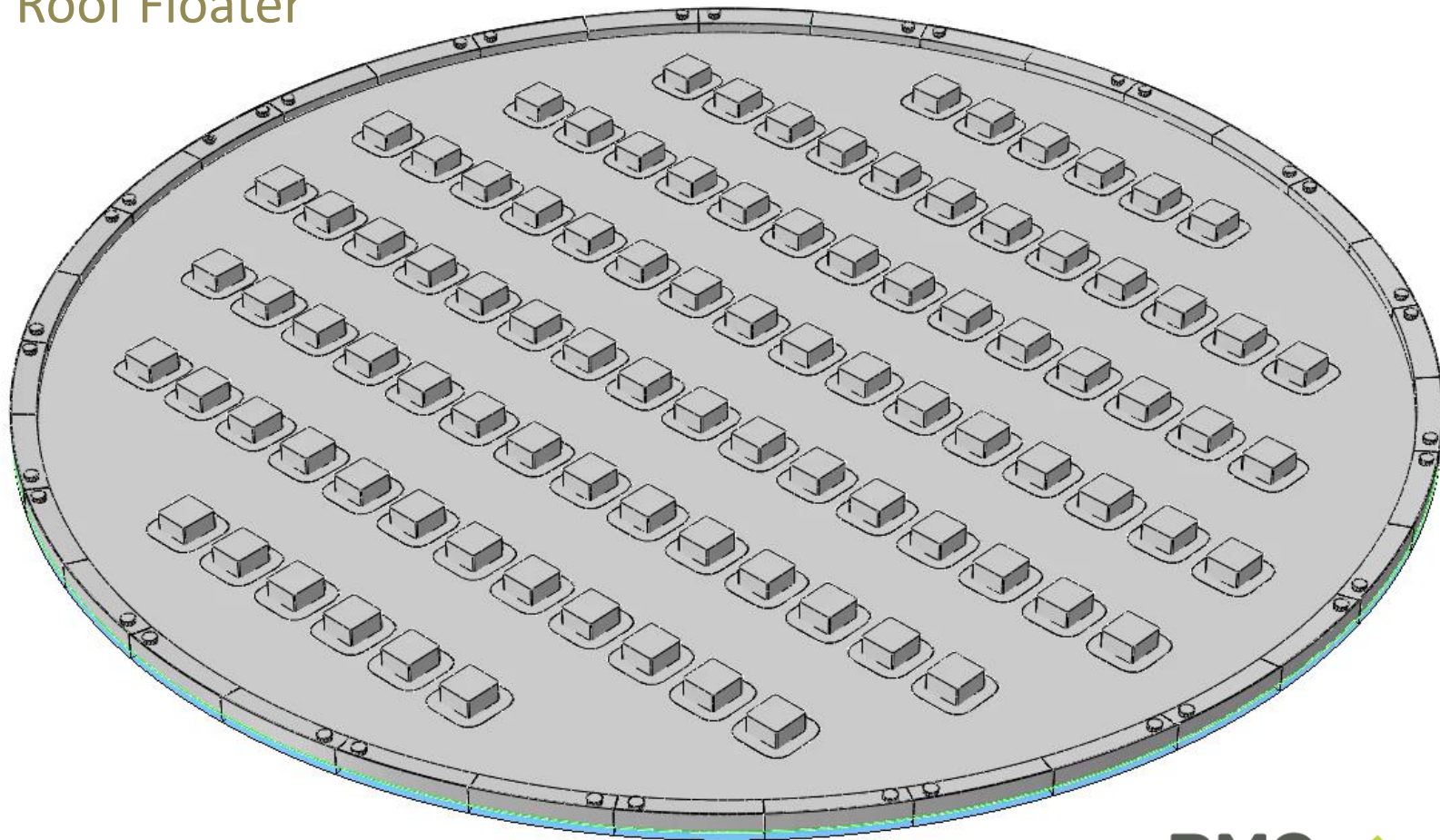
- Teto íntegro e sem água;
- Teto com drenos bloqueados e com 250 mm de chuva sobre o disco central – primeira condição do API 650;
- Teto com 2 flutuadores periféricos furados – segunda condição do API-650;
- Teto com drenos bloqueados, com 250 mm de chuva, com dois flutuadores furados e com inclinação de 70 mm.



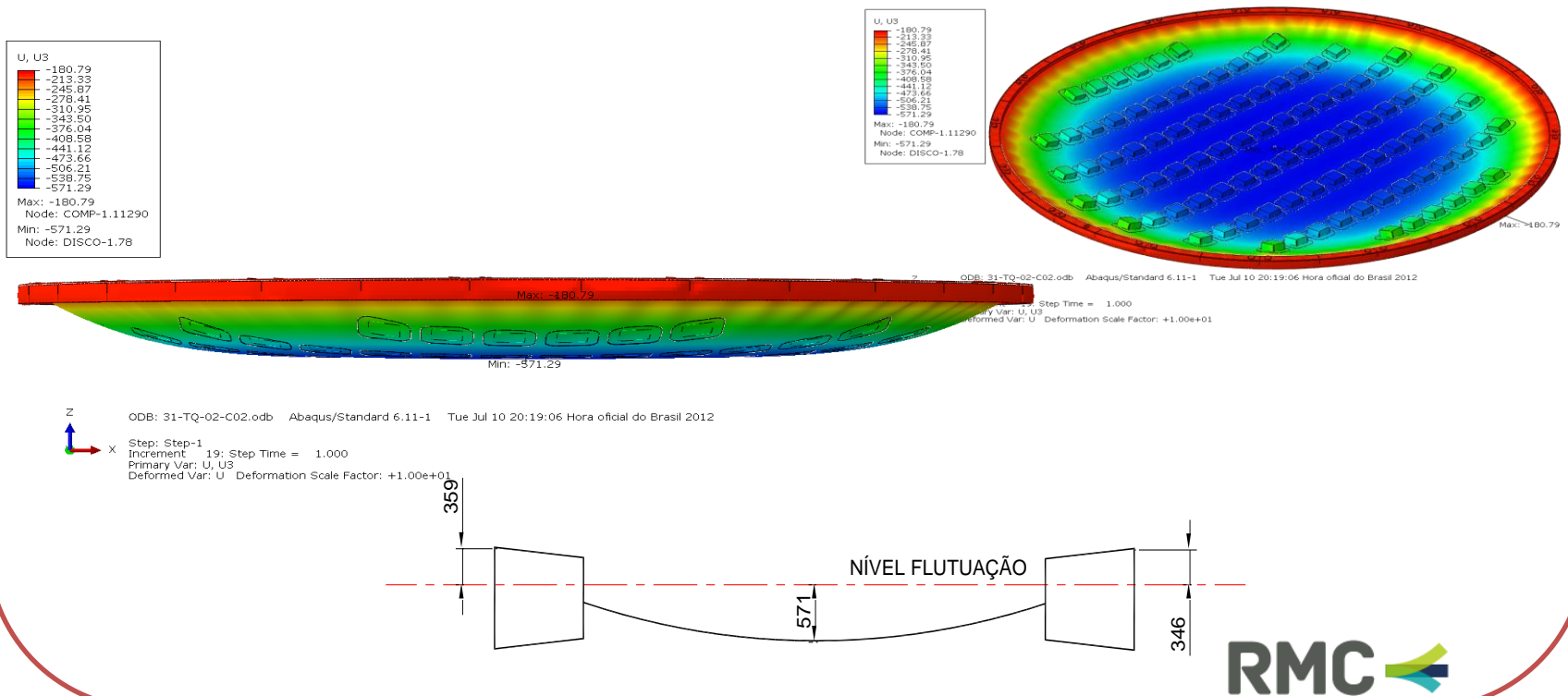
Detalhes da Análise Numérica:

- Software Simulia Abaqus 6.11 (2012);
- Riqueza de detalhes no modelo geométrico;
- ~ 1.000.000 DOF;
- Não-linearidade geométrica (grandes deslocamentos);
- Carregamento não linear (empuxo);
- Carregamento não linear (chuva);
- Submodeling para verificação de tensões em regiões específicas.

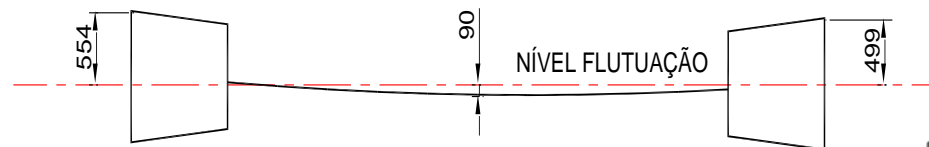
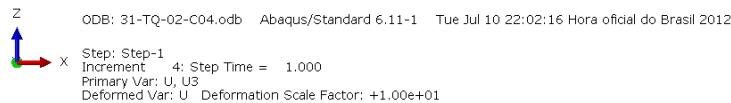
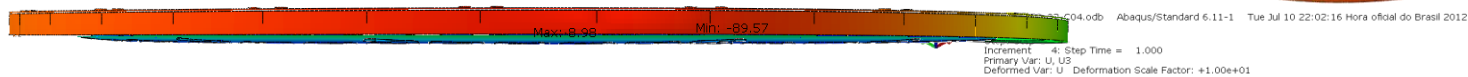
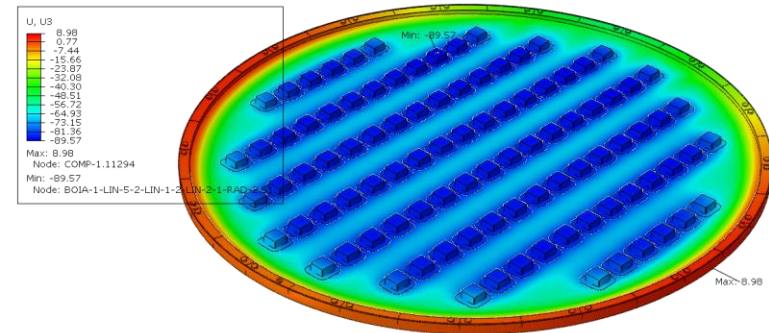
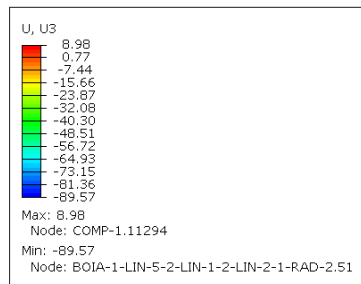
Roof Floater



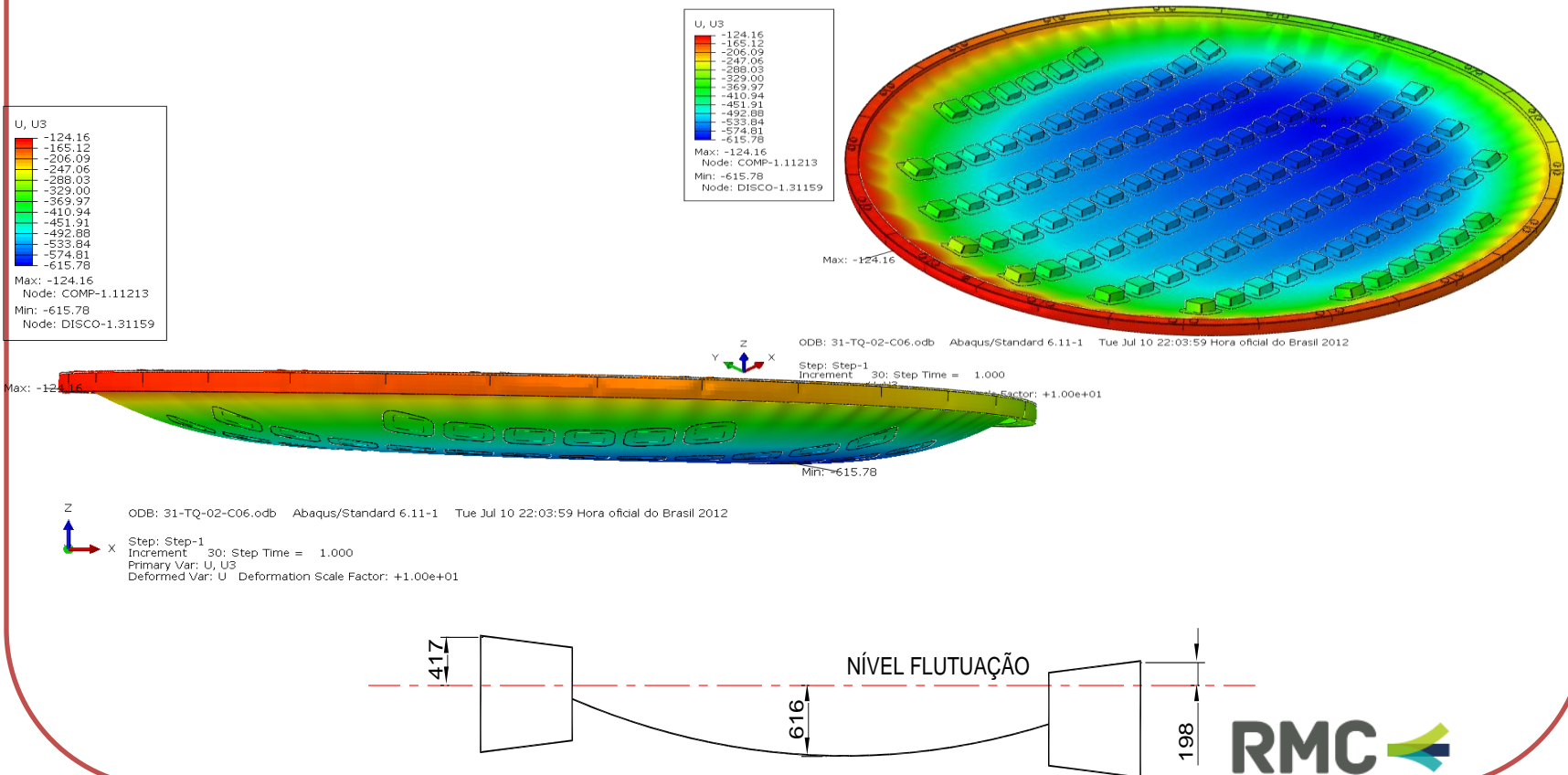
2. CONDIÇÃO : Teto com drenos bloqueados e com 250 mm de chuva sobre o disco central – primeira condição do API 650:

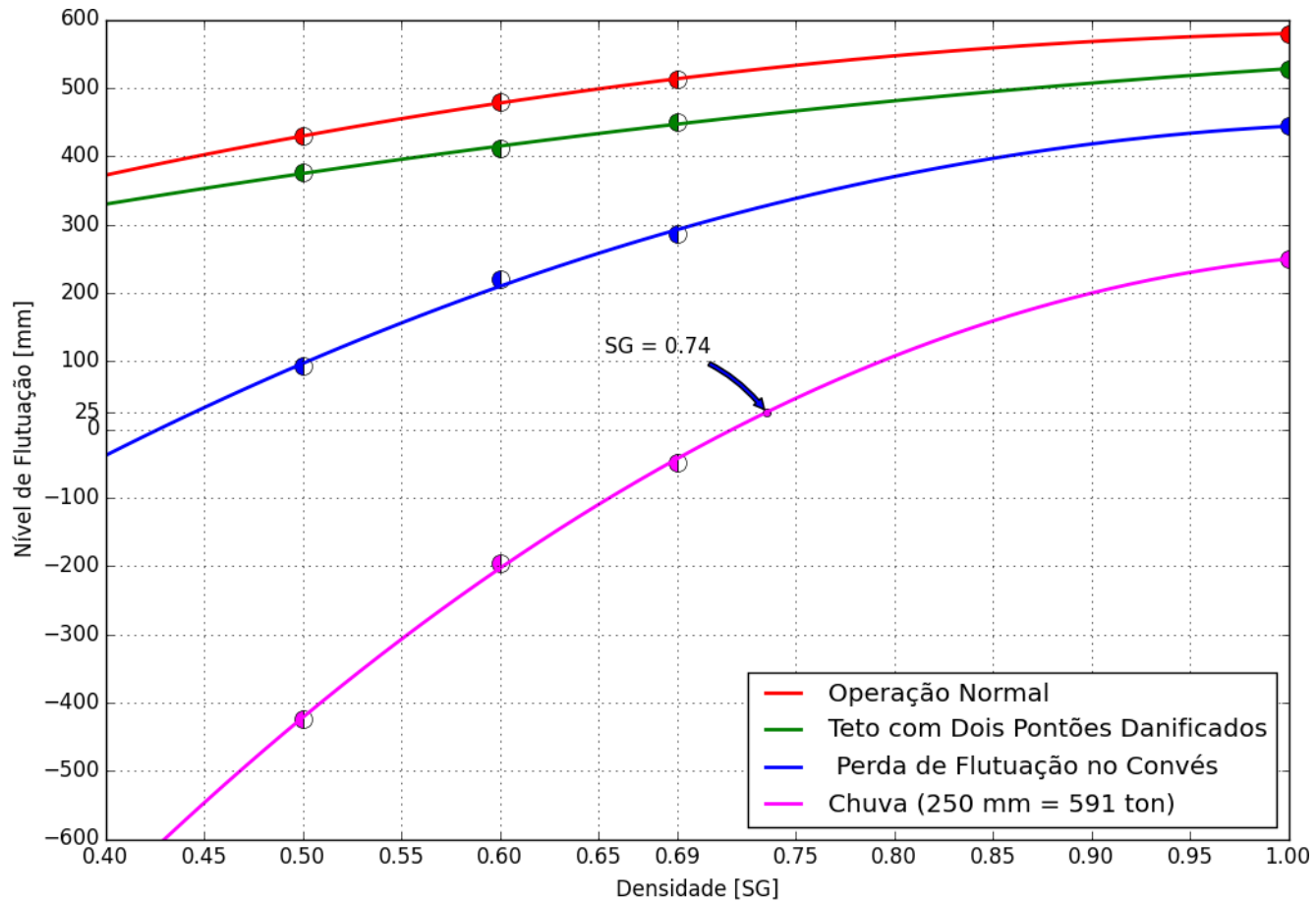


3. CONDIÇÃO: Teto com 2 flutuadores periféricos furados – segunda condição do API:

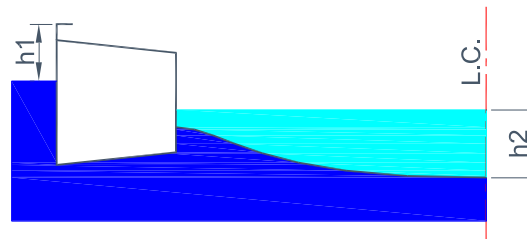
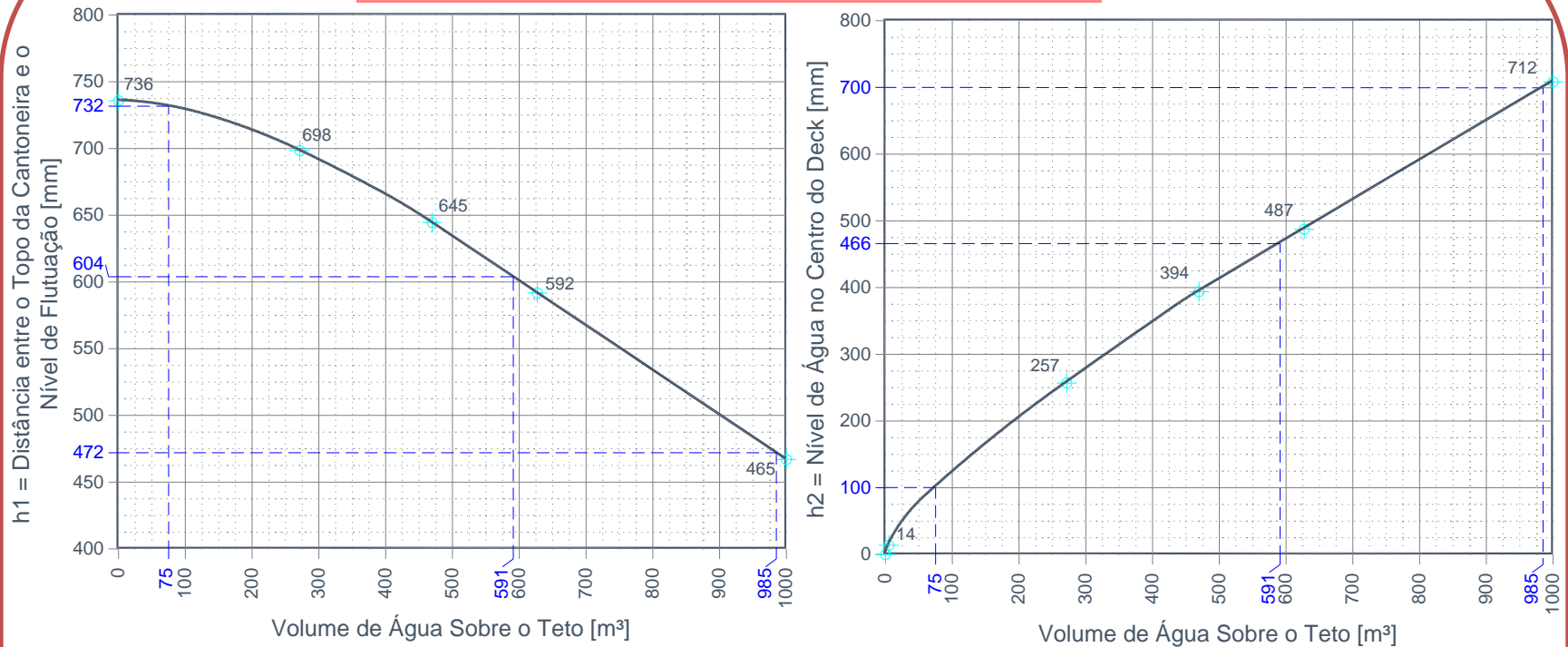


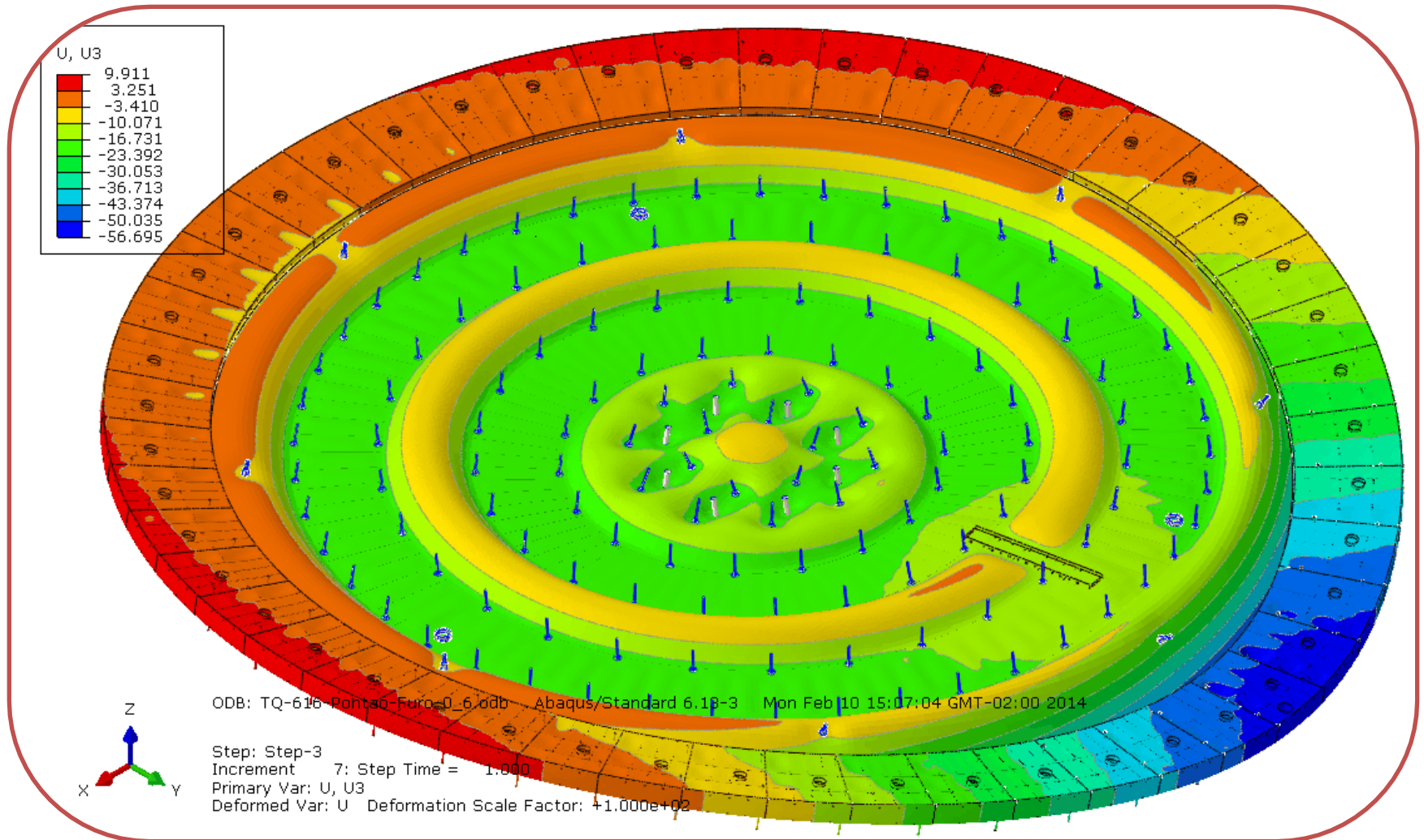
4. CONDIÇÃO : Teto com drenos bloqueados, com 250 mm de chuva, com dois flutuadores furados e com inclinação de 70 mm:

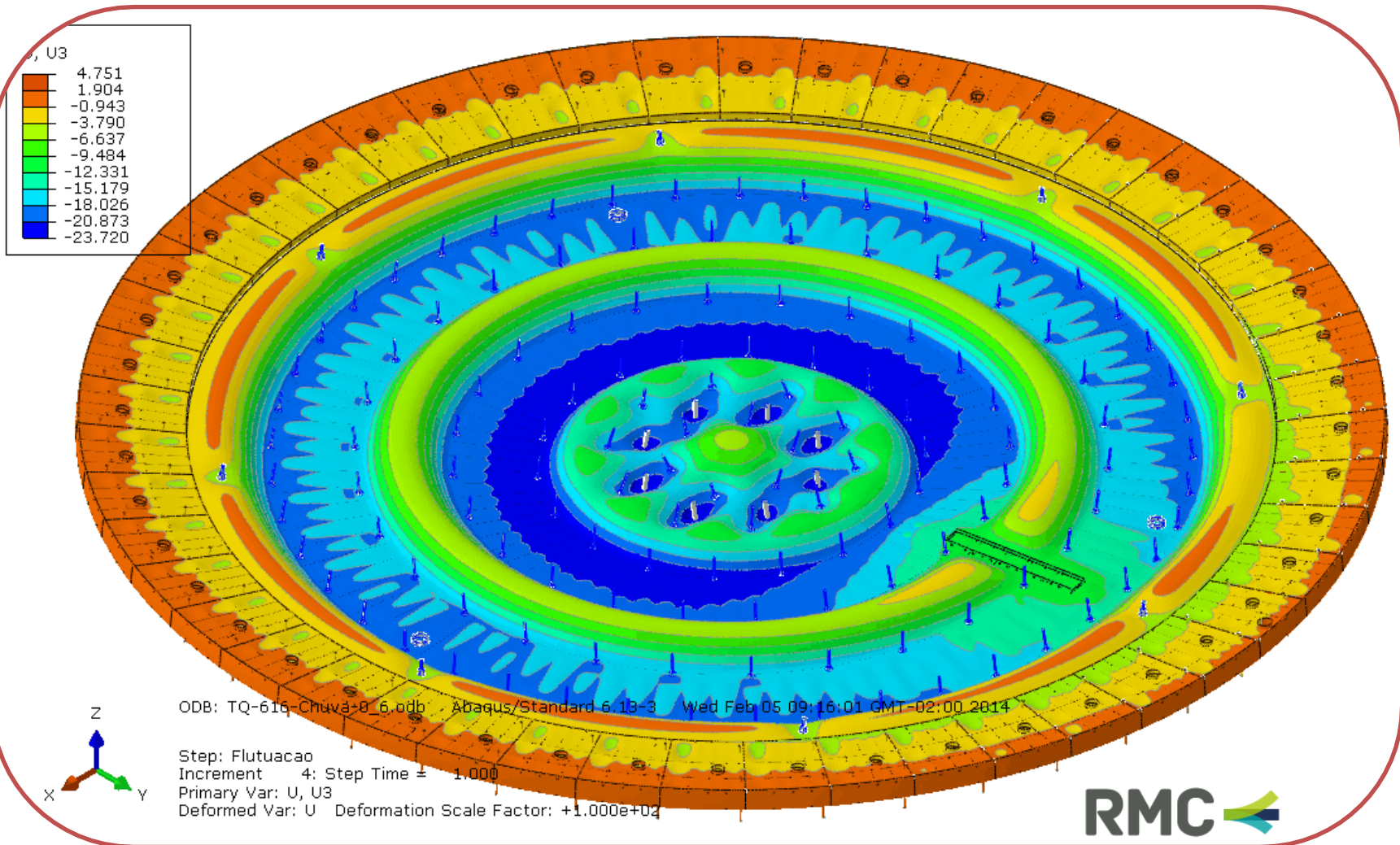


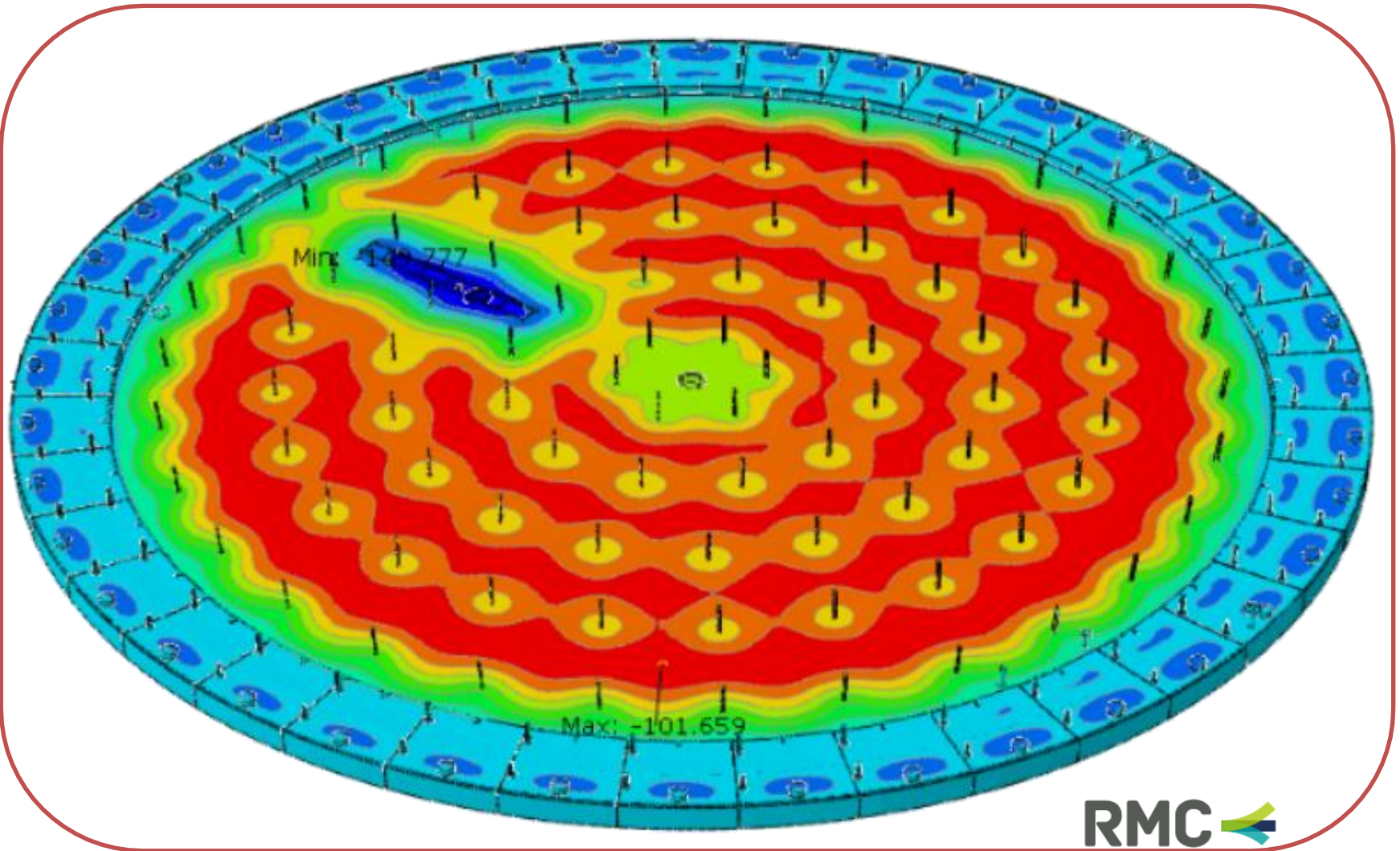


Teste de Alagamento do Lençol Central

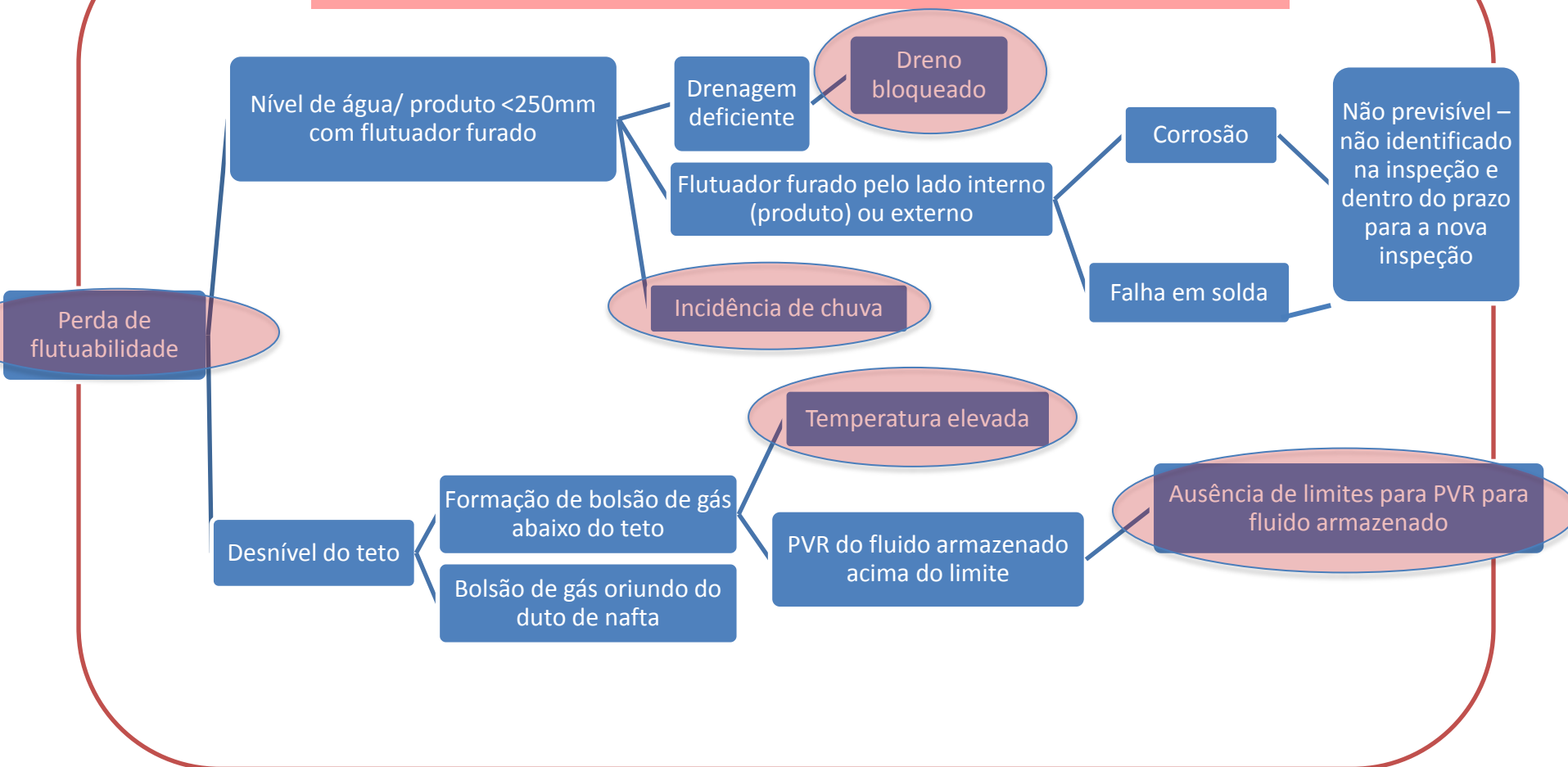








Hipótese Confirmada



Hipóteses Analisadas e Descartadas

- Nível de água acima de 250 mm;
- Flutuadores furados pelo lado externo;
- Trancamento do teto durante carregamento;
- Operação do tanque fora das condições de projeto;
- Dreno obstruído;
- Teto furado;
- Dreno sub-dimensionado;

Condição 22/03/2012

Lado Sul: afundamento de todo o flutuador periférico

Tanque flutuando na água e estabilizado em 8000mm



Observa-se a grande flutuabilidade deste tipo de teto pelos flutuadores centrais

Início da Inspeção: 21/08/2012
Término da Inspeção: 08/07/2013



Dobramento do teto



Dobramento da chapa do dique do
anel flutuador

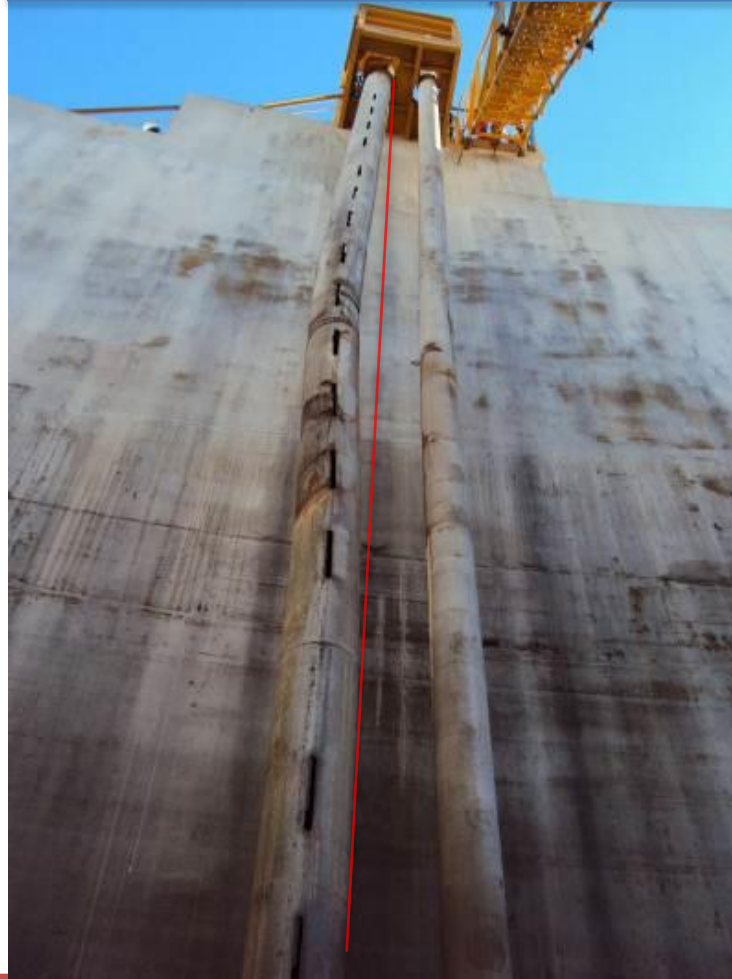
4. Recuperação e Teste do Tanque

Início da Inspeção: 21/08/2012
Término da Inspeção: 08/07/2013

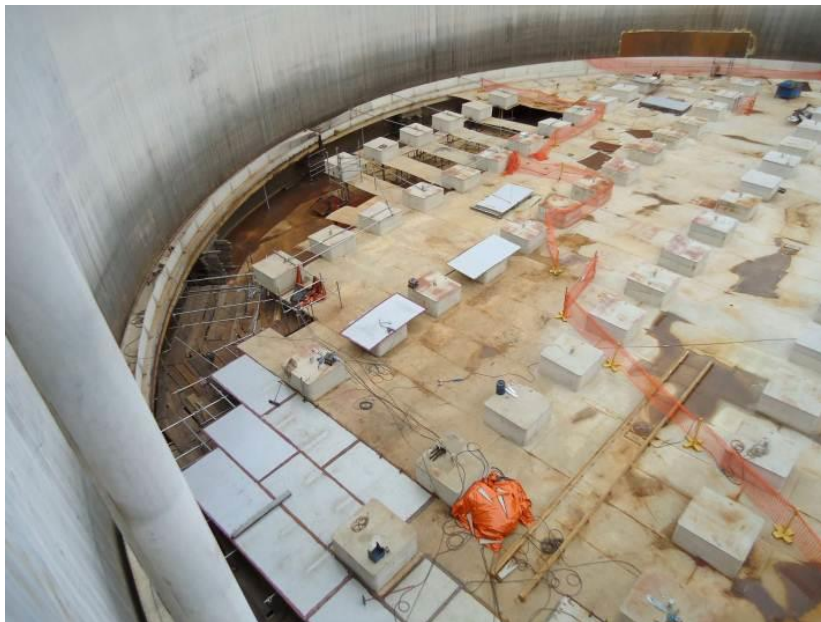


31TQ02 – Teto apoiado sobre os pés → danos de baixa intensidade

Tubo Anti-rotacional - flambagem

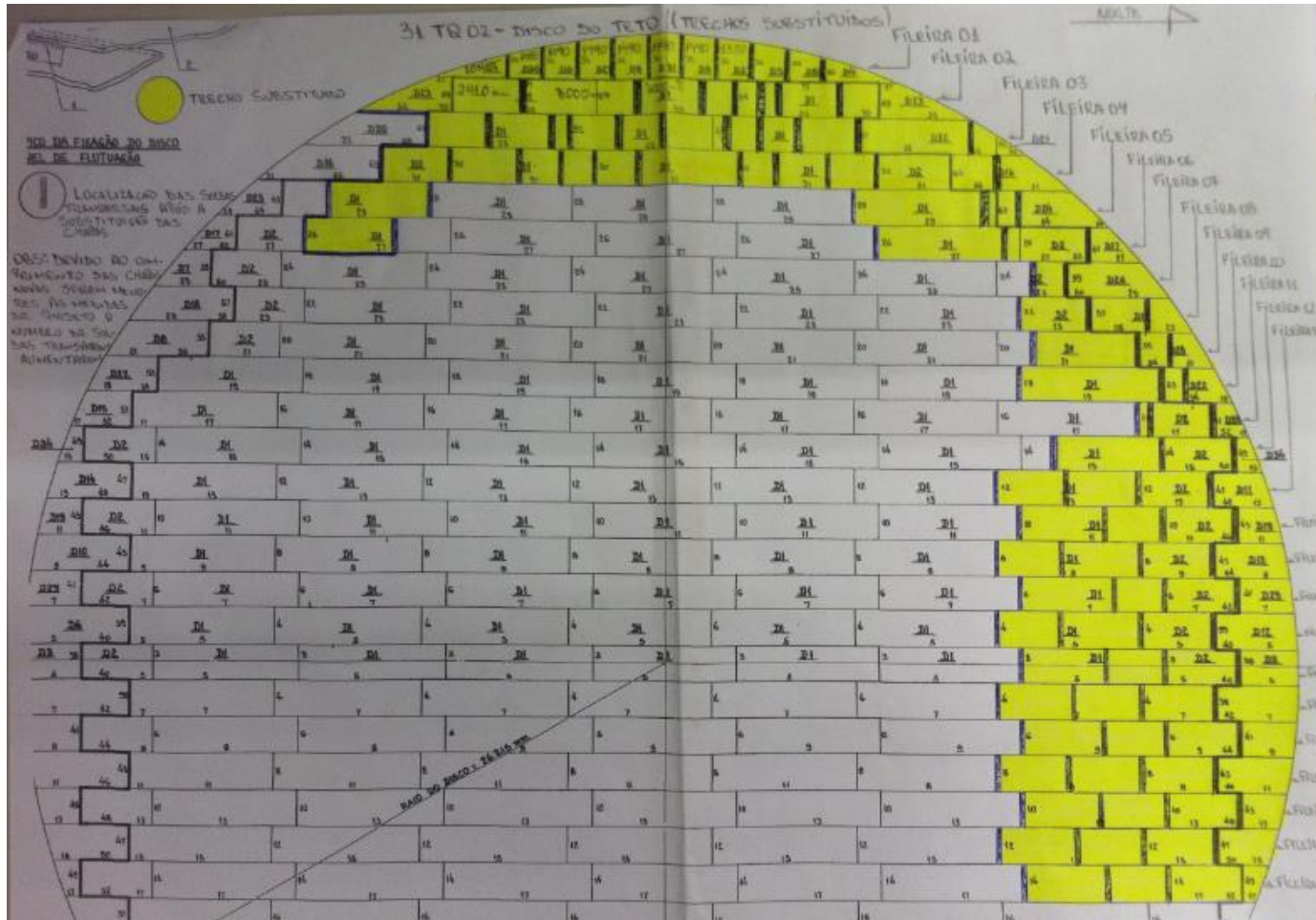


2. Histórico do Evento

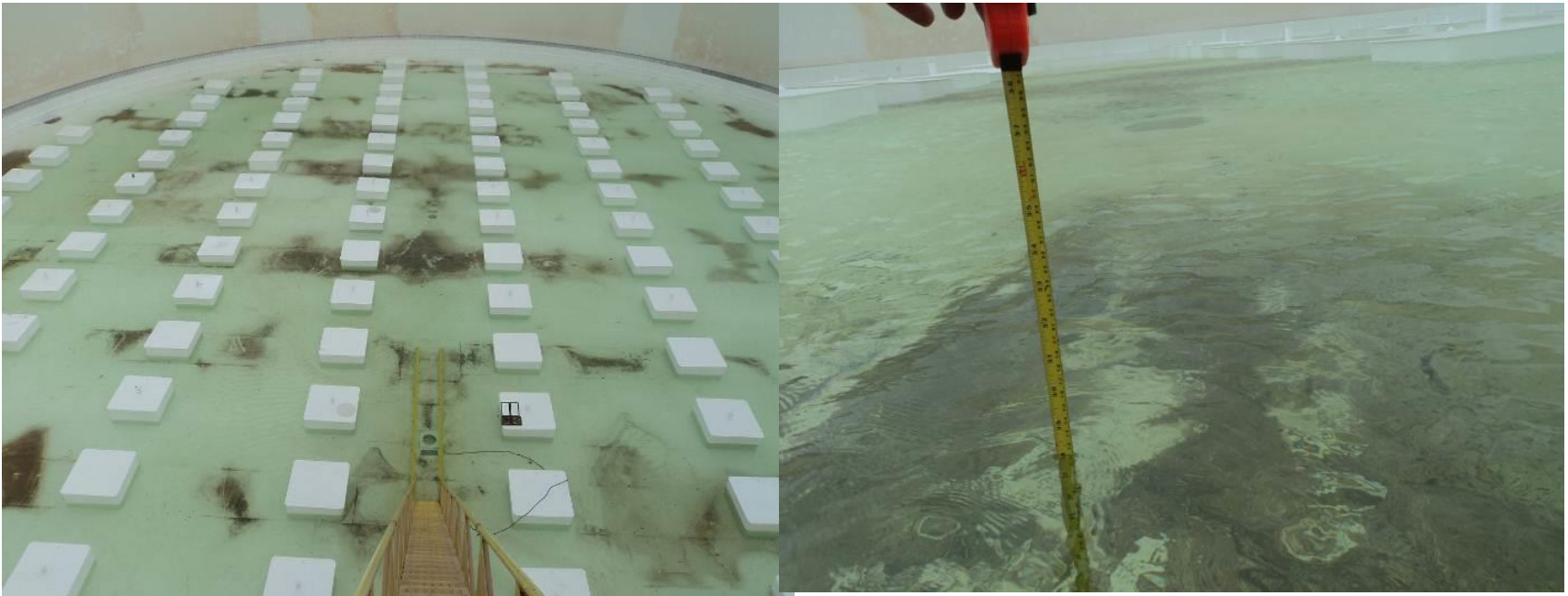


Remoção das Chapas do Teto

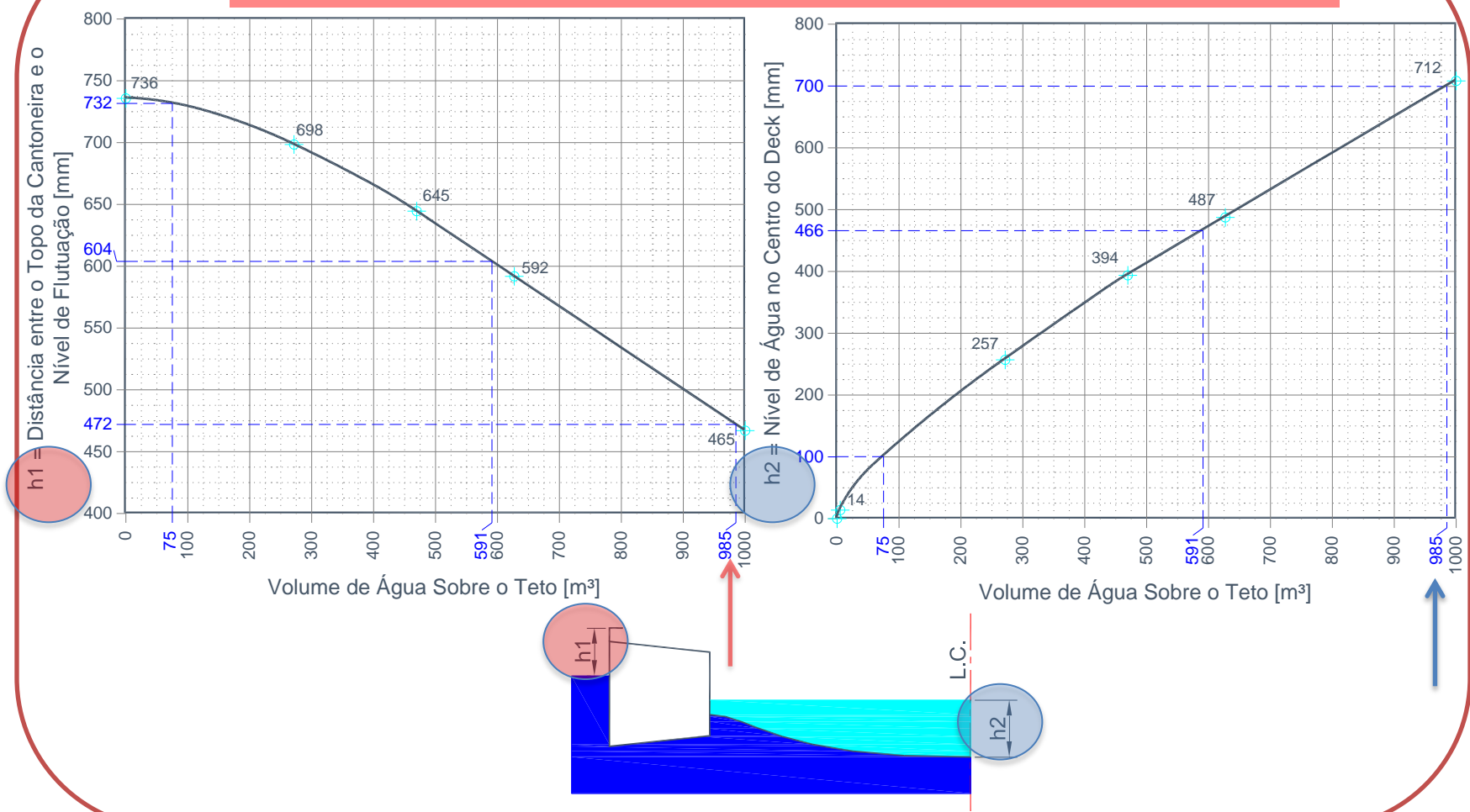
Recuperação do Teto: chapas substituídas



Teste de Alagamento do Lençol Central



Teste de Alagamento do Lençol Central - Cota para acompanhamento



Teste Hidrostático: teto nível máximo



5. Melhorias no Projeto

Melhorias: Drenagem



Dreno Articulado: trancamento da junta e dobramento do tubo de drenagem

