

**MEMÓRIA DE CÁLCULO DE RESERVATÓRIO MODELO TUBULAR
COM CAPACIDADE DE 45 m³**

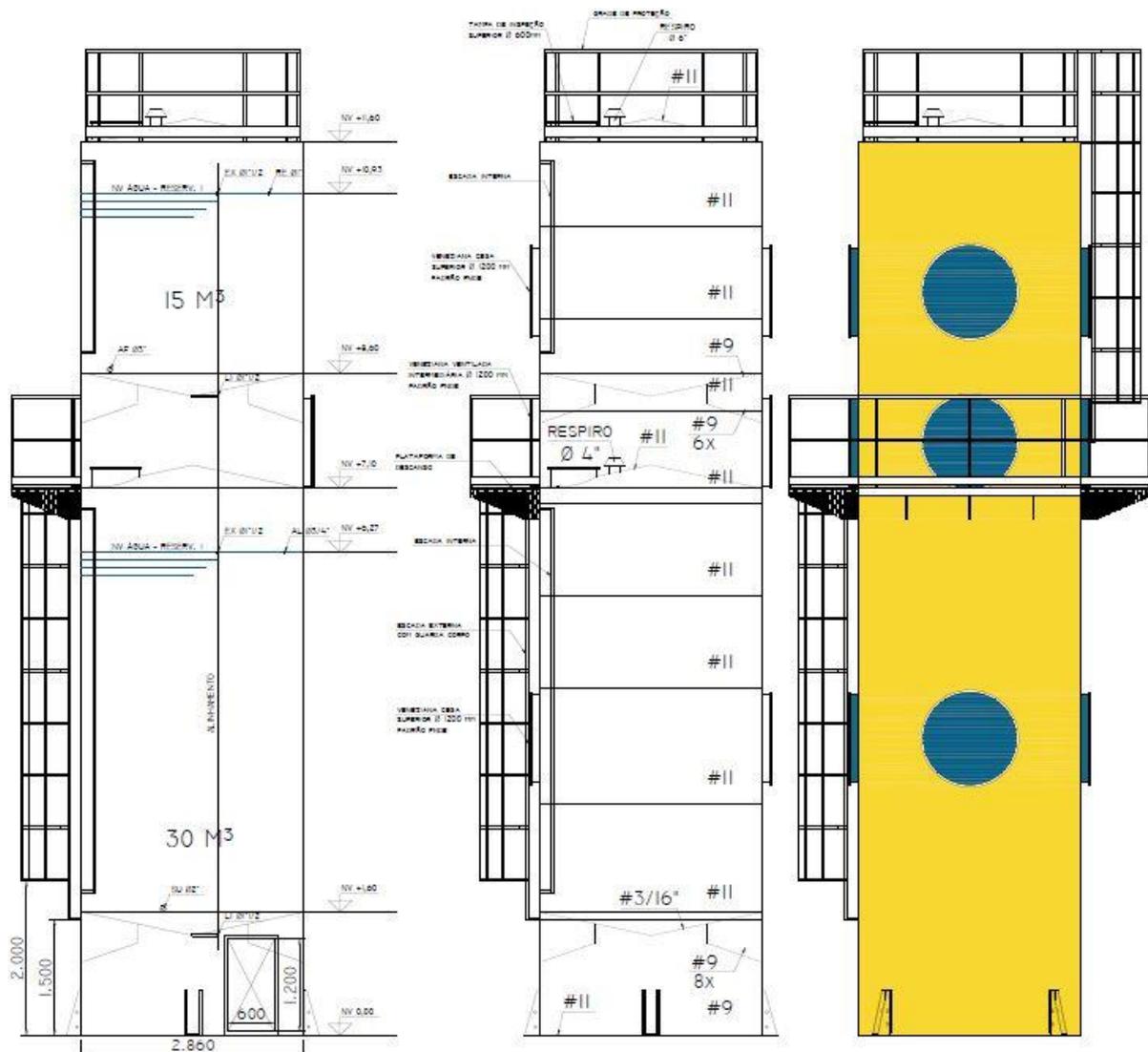
Proprietário: Município de Santana da Boa Vista-RS

Logradouro: Rua Candido de Antônio Oliveira, 403

Cidade: Santana da Boa Vista-RS

Obra:

Software utilizado: AUTODESK SIMULATION MECHANICAL 2018



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. REFERÊNCIAS.....	3
3. METODOLOGIA	3
4. DADOS DE ENTRADA	4
5. PROJETO	4
6. DIMENSIONAMENTO DAS CHAPAS DO COSTADO.....	5
7. DETERMINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS.....	6
8. TENSÃO ADMISSIVEL DE PROJETO (STRESS).....	9
9. MODELAGEM E APLICAÇÃO DOS CARREGAMENTOS	10
9.1 MODELAGEM DO RESERVATÓRIO.....	10
10. APLICAÇÃO DOS CARREGAMENTOS.....	11
10.1 CARREGAMENTOS.....	11
10.1.1 APLICAÇÃO DO VENTO	11
10.1.2 APLICAÇÃO DA ÁGUA	12
10.1.3 APLICAÇÃO DA SOBRECARGA NO TETO.....	13
10.1.4 PESO PRÓPRIO DOS MATERIAIS METÁLICOS.....	13
11. RESULTADOS DA ANÁLISE.....	14
11.1 TENSÕES NO RESERVATÓRIO CHEIO E APLICAÇÃO DO VENTO	14
11.2 TENSÃO NO TETO	15
11.3 DESLOCAMENTO DO TETO	15
11.4 TENSÃO NO TETO INTERNO	16
11.5 DESLOCAMENTO DO TETO INTERNO.....	16
11.6 TENSÃO NA DIVISÓRIA CÉLULA 01	17
11.7 DESLOCAMENTO DA DIVISÓRIA CÉLULA 01.....	17
11.8 TENSÃO NA DIVISÓRIA CÉLULA 02.....	18
11.9 DESLOCAMENTO DA DIVISÓRIA CÉLULA 02.....	18
11.10 TENSÃO NOS TRIÂNGULOS DE REFORÇO CÉLULA 01	19

11.11 TENSÃO NOS TRIÂNGULOS DE REFORÇO CÉLULA 02.....	19
11.12 TENSÃO NO FUNDO RETO APOIADO NA BASE	20
11.13 TENSÃO NOS NICHOS DE FIXAÇÃO	20
11.14 TENSÕES VON MISES COM RESERVATÓRIO CHEIO E VENTO	21
11.15 TENSÕES AXIAIS (MÍNIMAS PRINCIPAIS).....	22
11.16 TENSÕES CIRCUNFERENCIAIS (MÁXIMAS PRINCIPAIS)	23
11.17 DESLOCAMENTO DIREÇÃO X DEVIDO AO VENTO $V_k = 43,20$ m/s.....	24
12. CONCLUSÃO	25

1. INTRODUÇÃO

Este memorial de cálculo tem como objetivo realizar o dimensionamento mecânico de um reservatório metálico com capacidade para 45 m³ (45.000 l) de água.

2. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6123 – Forças devido ao vento em edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas, (1998).

API 650 – Welded Steel Tanks for Oil Storage. American Petroleum Institute, Eleventh Edition, (2014).

AWWA D100 – Welded Carbon Steel Tanks for Water Storage. American Water Works Association, (2011).

ASME Boiler and Pressure Vessel Cod – Seção VIII Div. 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels. NBR 7821 NB 89 – Tanques soldados para armazenamento de petróleo de derivados.

ABNT NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, (2004).

ABNT NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e estruturas mista de concreto e aço de edifícios. Associação Brasileira de Normas Técnicas, (2008).

3. METODOLOGIA

O cálculo mecânico foi executado com base nas normas de referência acima, sendo realizado com a utilização do software AUTODESK SIMULATION MECHANICAL 2018 (método dos elementos finitos), para determinação das tensões equivalentes de Von Mises (S_{VM}), as tensões axiais (S_{AX}) e as tensões circunferenciais (S_c) em cada chapa do reservatório, e verificadas pelas tensões admissíveis que prescreve a norma API 650.

4. DADOS DE ENTRADA

Descrição: Reservatório Metálico Tubular

Localização: Santana da Boa Vista-RS

Diâmetro Nominal: 2,86 m

Altura: 11,60 m

Capacidade Nominal: 45 m³

Produto: Água

Densidade: 1.000 Kg/m³

Material: AÇO ASTM A-36

Pressão de projeto: atm

Temperatura de projeto: Ambiente

5. PROJETO

Projeto mecânico de reservatório metálico de capacidade de 45,00 m³ Tubular, elaborado pelo Engenheiro Civil Thales Alexandre Rosin, registrado no Crea SP sob o nº 507036835-0

6. DIMENSIONAMENTO DAS CHAPAS DO COSTADO

Conforme item 5.6.3.2 a espessura do Costado pela API 650/2007 é calculada através da fórmula:

$$t = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{St}$$

DIÂMETRO	2,86	(METROS)	TETO - 3,04	CONFORME - API 650	
H. RESERVATÓRIO	11,60	(METROS)	FUNDO - 3,04		
H. ANEL	4,92	(PÉS)			
ANEL	H. ANEL	e. CALCULADA (mm)	e. ADOTADA (mm)	SOBRE ESPESSURA	
1°	38,05774	1,1645	3,75	2,5855	OK!
2°	33,13774	1,0099	3,04	2,0301	OK!
3°	28,21774	0,8553	3,04	2,1847	OK!
4°	23,29774	0,7007	3,04	2,3393	OK!
5°	18,37774	0,5461	3,04	2,4939	OK!
6°	13,45774	0,3915	3,04	2,6485	OK!
7°	8,53774	0,2369	3,04	2,8031	OK!

Tabela de Cálculo conforme API 650/2007

Espessuras adotadas para o costado:

Fundo em chapa #11 (3,04 mm), 1° Virola em chapa #9 (3,75 mm), 2° Virola à 8° Virola em chapa #11 (3,04 mm) e teto em chapa 11 (3,04 mm).

Portanto está Ok!

7. DETERMINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS

A força de arrasto no corpo do reservatório é determinada pela equação:

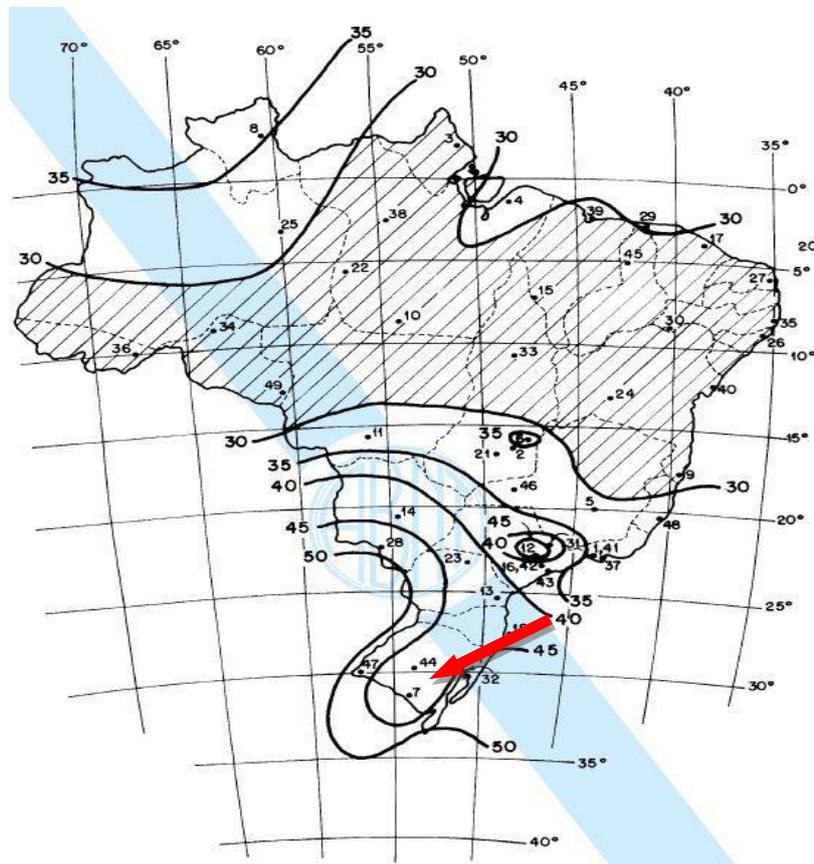
$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_f \text{ (Item 4.2.3 da NBR 6123:1988)}$$

Onde:

q = pressão do vento ($q = 0,613 \cdot V_K^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$)

V_K = velocidade característica = $S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot V_0$ (adotado $V_0 = 45 \text{ m/s}$)

Isopletas da velocidade básica V_0



Fonte: NBR 6123/1998

Onde temos:

- Fator topográfico S_1

$S_1 = 1,00$ (Terreno plano ou fracamente acidentado)

- Fator rugosidade, dimensões e altura sobre o terreno S_2

$S_2 = 0,96$ (Rugosidade III, classe B, $Z = 11,60$ m acima do terreno)

– Fator Estatístico S_3

$S_3 = 1,00$ (Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação)

$$V_K = 1,00 \times 0,96 \times 1,00 \times 45 = 43,2 \text{ m/s}$$

$$V_K = 43,20 \text{ m/s}$$

Temos:

$$q = 0,613 \times 43,20^2 \therefore$$

$$q = 1.144,00 \text{ N/m}^2 \text{ ou } q = 116,62 \text{ kgf/m}^2$$

C_a = Coeficiente de arrasto para corpos cilíndricos

Determinação do C_a :

Cálculo do número de *Reynolds* (Re):

De acordo com item 6.3.2 da NBR 6123:1988, temos que:

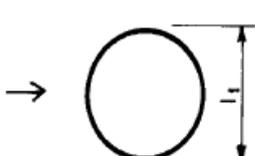
$$Re = 70.000 V_k L_t \text{ (} V_k \text{ em m/s; } L_t \text{ em m)}$$

$$Re = 70.000 \times 43,2 \times 2,86$$

$$Re = 8,648 \times 10^6 \geq 4,2 \text{ (Tabela 10 da NBR 6123:1988)}$$

Com $h/L_t = 11,60 / 2,86 = 4,05$ - temos da tabela 10, o valor de $C_a = 0,50$

Tabela 10

Planta	$Re^{(A)}$ $\times 10^{-5}$	h/l_1						
		1/2	1	2	5	10	20	∞
 liso (metal, concreto, alvenaria rebocada)	$\leq 3,5$	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
	$\geq 4,2$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
com rugosidade ou saliências = $0,02 l_1$	Todos valores	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2
com rugosidade ou saliências = $0,08 l_1$	Todos valores	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4

Fonte: NBR 6123/1998

Determinação da força de arreste horizontal F_a :

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_f$$

Onde A_f é a área lateral do reservatório:

Sendo:

$A_f - (\emptyset 2,86 \text{ m e } h = 11,60 \text{ m}) = 32,32 \text{ m}^2$, onde temos:

$$F_a = 0,50 \times 116,62 \times (32,32)$$

$$F_a = 1.884,58 \text{ Kgf}$$

Determinação da pressão de arraste P_a :

$$P_a = C_a \cdot q$$

Onde:

C_a Coeficiente de arrasto para o reservatório = 0,50

q – pressão do vento = 116,62 kgf/m²

$$P_a = 0,50 \times 116,62$$

$$P_a = 58,31 \text{ Kgf/m}^2$$

Portanto, para cálculo adotamos $P_a = 59 \text{ Kgf/m}^2$

Momento na base do reservatório devido ao vento (C_m):

$$C_m = F_a \cdot h, \text{ onde } h = 11,60 / 2 = 5,80$$

$$C_m = 1.884,58 \times 5,80$$

$$C_m = 10.930,56 \text{ kgf.m}$$

8. TENSÃO ADMISSÍVEL DE PROJETO (STRESS)

Tendo em vista que o limite de escoamento do Aço ASTM A36 é de 250 N/mm² ou seja, 250 Mpa e baseado na norma API 650, 5-12, Table 5-2^a – *Permissible Plate Materials and Allowable Stresses*, utilizamos para fins de projeto (*Product Design Stress*), a tensão máxima permitida de 160 Mpa. Para eficiência de solda de 85% (0,85), a tensão máxima será $0,85 \times 160 = \mathbf{136 \text{ Mpa}}$.

5-18

API STANDARD 650

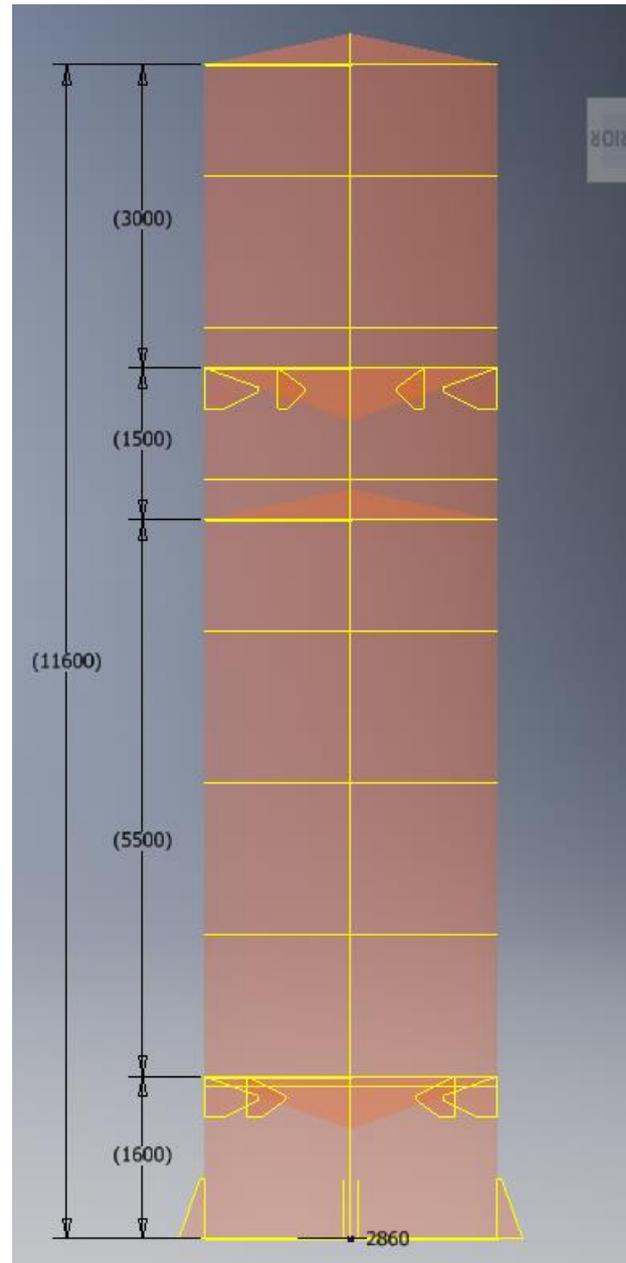
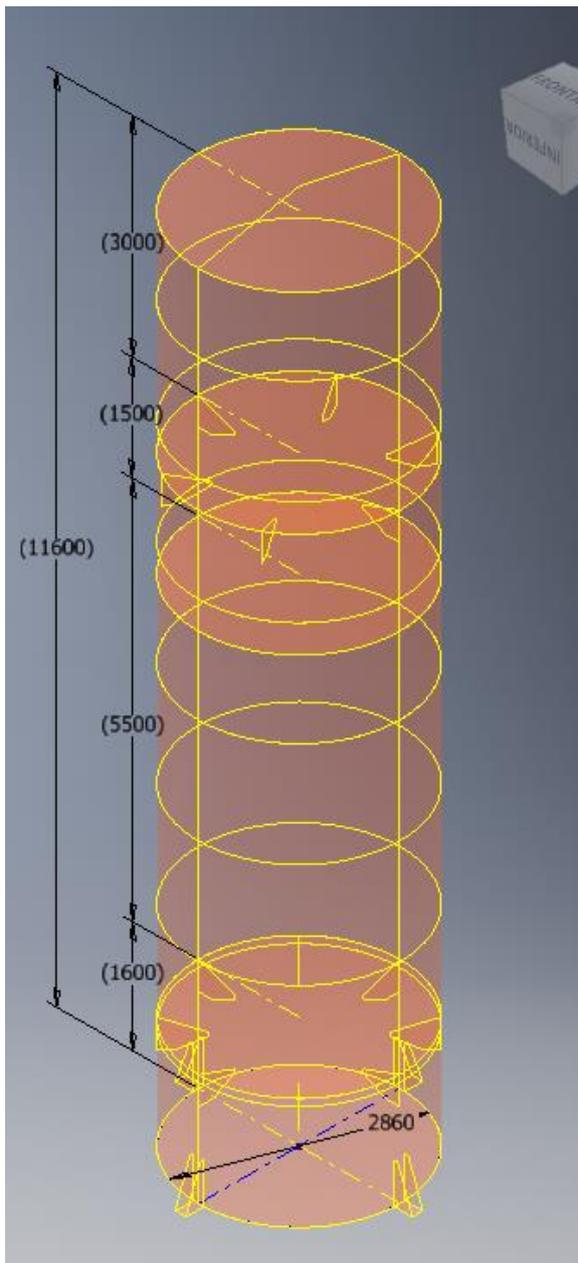
Table 5.2a—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (SI)

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness <i>t</i> mm	Minimum Yield Strength MPa	Minimum Tensile Strength MPa	Product Design Stress <i>S_d</i> MPa	Hydrostatic Test Stress <i>S_h</i> MPa
ASTM Specifications						
A283M	C		205	380	137	154
A285M	C		205	380	137	154
A131M	A, B		235	400	157	171
A36M	—		250	400	160	171
A131M	EH 36		360	490 ^a	196	210
A573M	400		220	400	147	165
A573M	450		240	450	160	180
A573M	485		290	485 ^a	193	208
A516M	380		205	380	137	154
A516M	415		220	415	147	165
A516M	450		240	450	160	180
A516M	485		260	485	173	195
A662M	B		275	450	180	193
A662M	C		295	485 ^a	194	208
A537M	1	<i>t</i> ≤ 65	345	485 ^a	194	208
		65 < <i>t</i> ≤ 100	310	450 ^b	180	193
A537M	2	<i>t</i> ≤ 65	415	550 ^a	220	236
		65 < <i>t</i> ≤ 100	380	515 ^b	206	221
A633M	C, D	<i>t</i> ≤ 65	345	485 ^a	194	208
		65 < <i>t</i> ≤ 100	315	450 ^b	180	193
A678M	A		345	485 ^a	194	208
A678M	B		415	550 ^a	220	236
A737M	B		345	485 ^a	194	208
A841M	Class 1		345	485 ^a	194	208
A841M	Class 2		415	550 ^a	220	236

9. MODELAGEM E APLICAÇÃO DOS CARREGAMENTOS

Para determinação das tensões atuantes no reservatório, foi utilizado o software AUTODESK SIMULATION MECHANICAL 2018

9.1 MODELAGEM DO RESERVATÓRIO



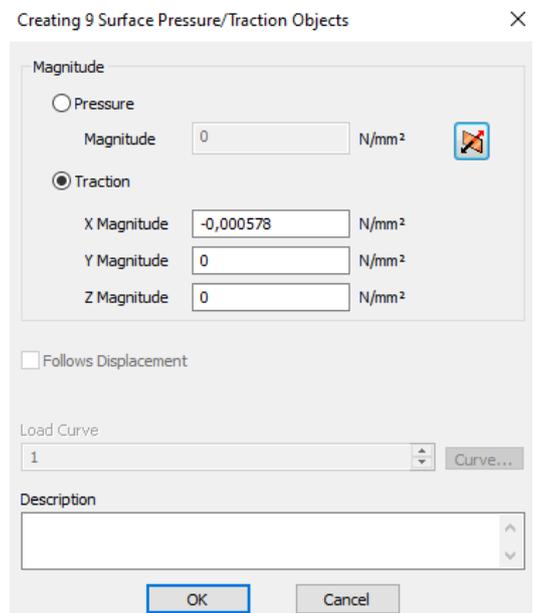
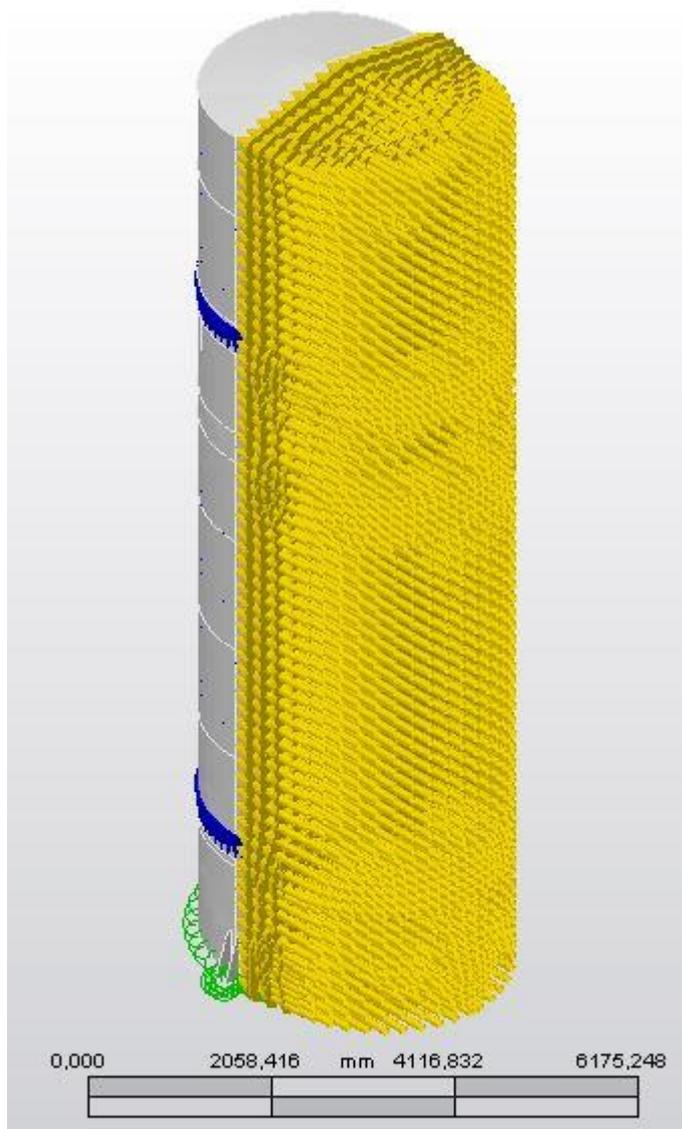
10. APLICAÇÃO DOS CARREGAMENTOS

Para determinação das tensões atuantes no reservatório, foi utilizado o software AUTODESK SIMULATION MECHANICAL 2018

10.1 CARREGAMENTOS

10.1.1 APLICAÇÃO DO VENTO

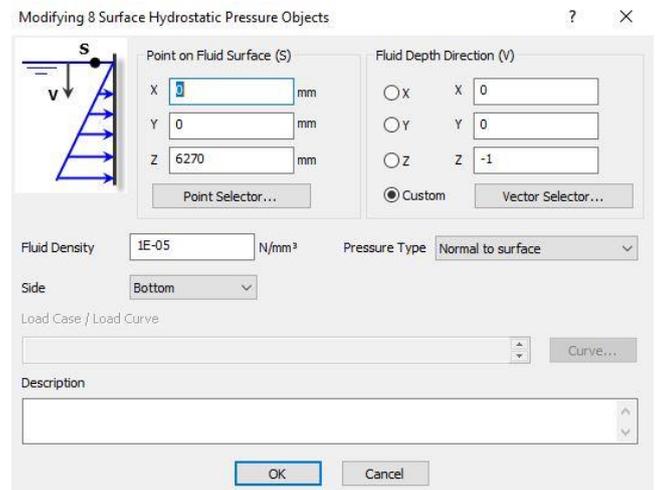
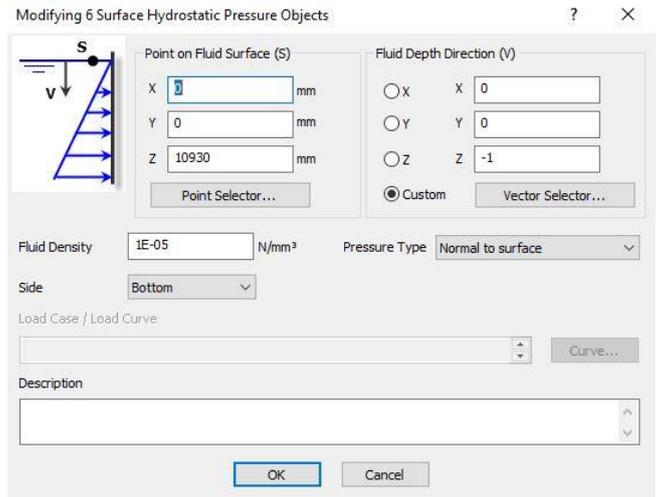
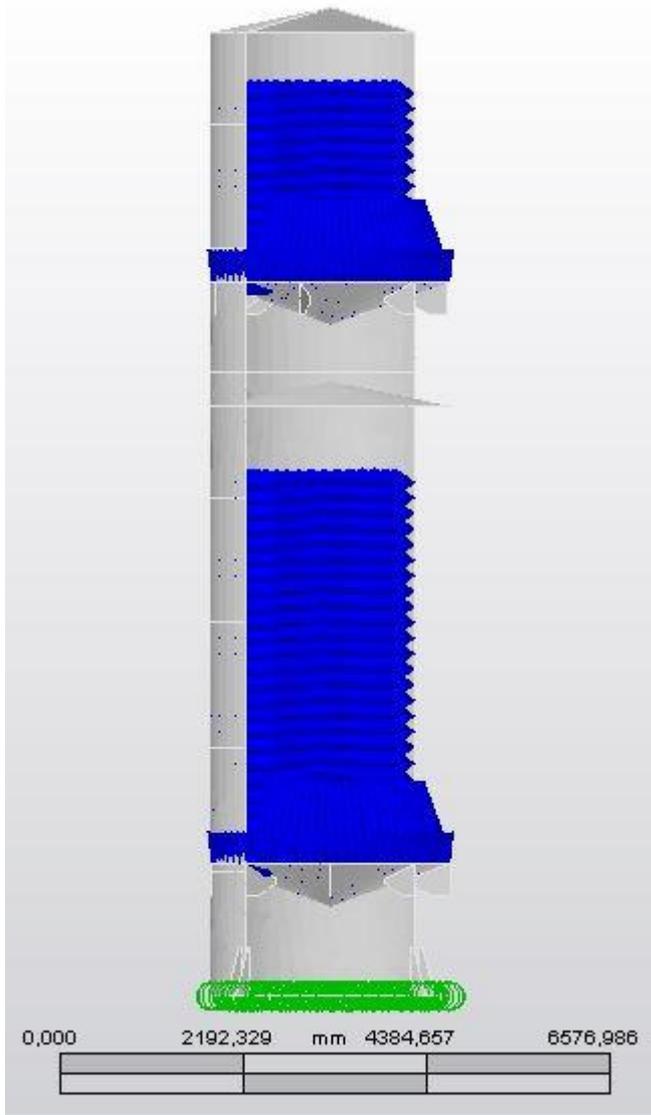
Carregamento aplicado na direção X: 59,00 kgf/m²



10.1.2 APLICAÇÃO DA ÁGUA

Aplicação da água pelo AUTODESK SIMULATION SIMULATION 2018

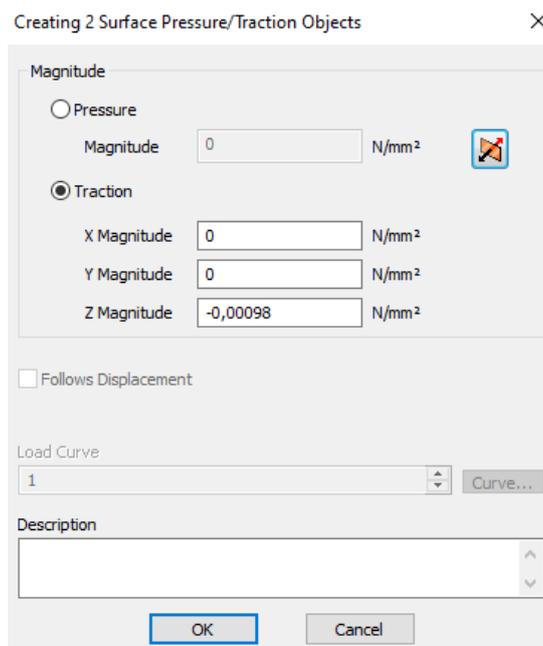
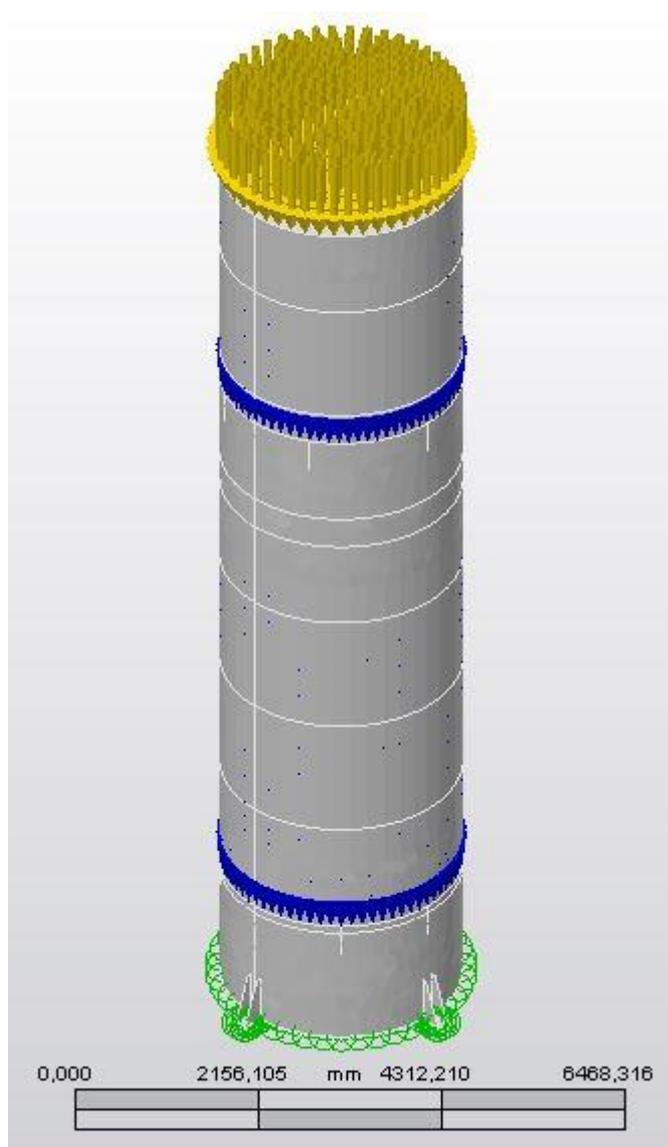
Carregamento aplicado de 45 m³



10.1.3 APLICAÇÃO DA SOBRECARGA NO TETO

Aplicação da sobrecarga AUTODESK SIMULATION SIMULATION 2018

Carregamento aplicado de 100 kgf/m²

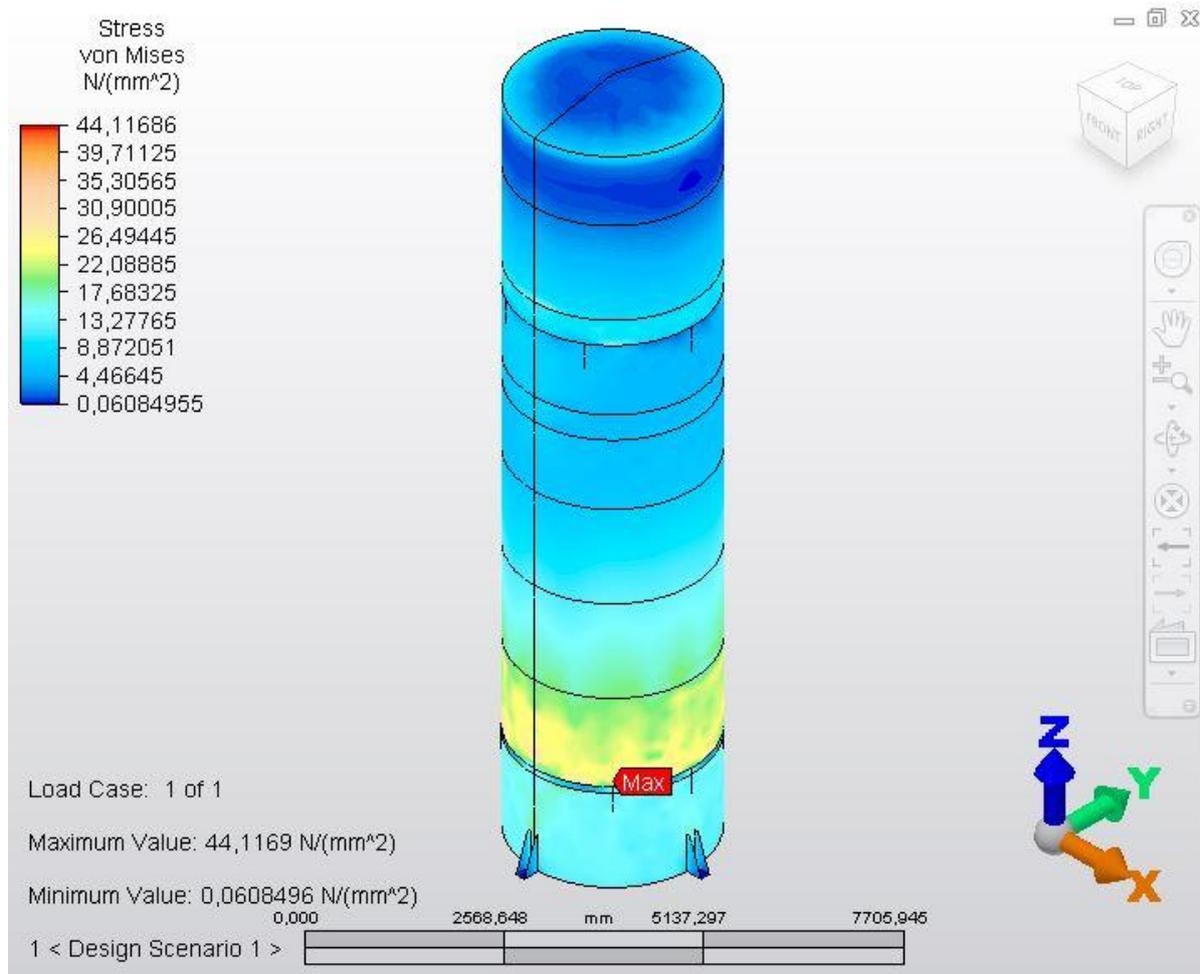


10.1.4 PESO PRÓPRIO DOS MATERIAIS METÁLICOS

A carga devido ao peso próprio das chapas metálicas é lançada automaticamente pelo software, considerando as espessuras das chapas e do material utilizado (ASTM A36).

11. RESULTADOS DA ANÁLISE

11.1 TENSÕES NO RESERVATÓRIO CHEIO E APLICAÇÃO DO VENTO

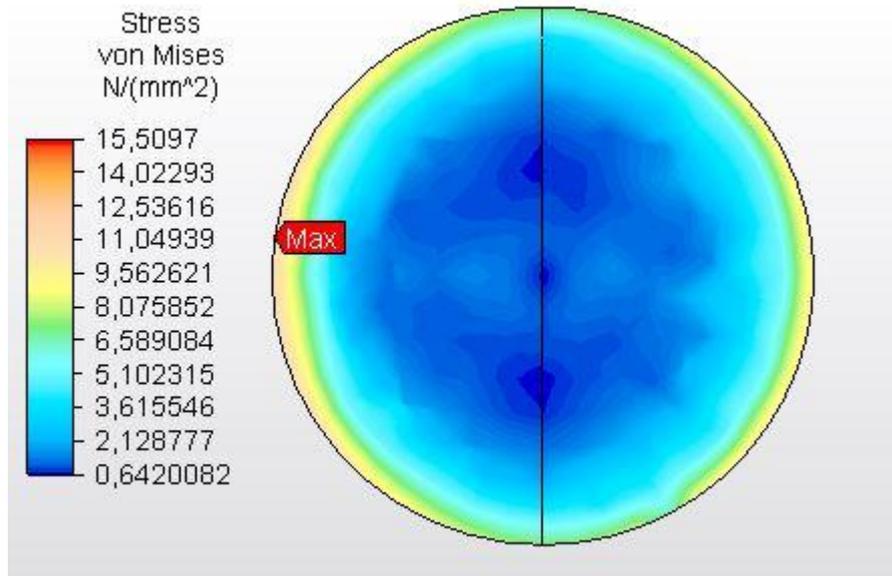


Valor máximo da Tensão 44,11 N/mm² - [Mpa] < 136 [Mpa]

Portanto está Ok!

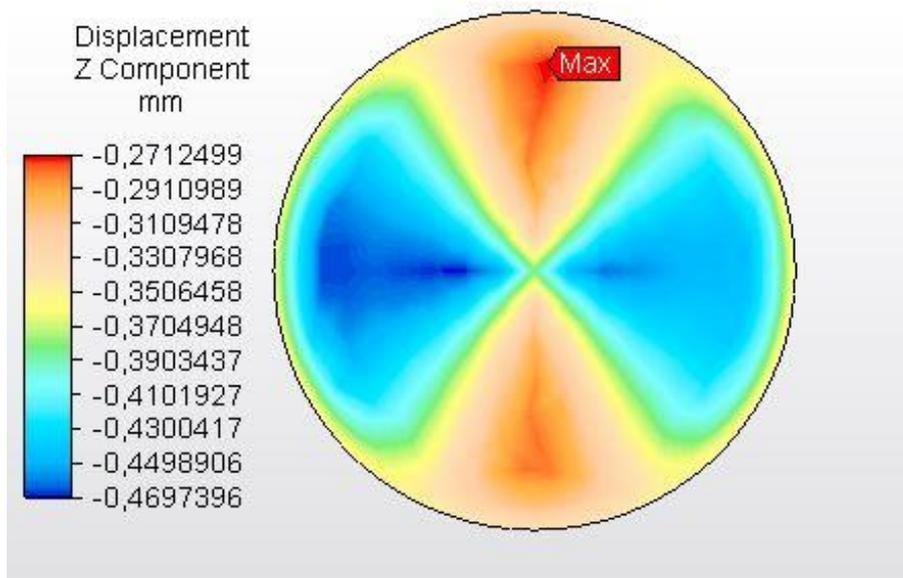
11.2 TENSÃO NO TETO

Carga aplicada de 100 Kgf/m² e Pressão do vento de 59,00 Kgf/m²



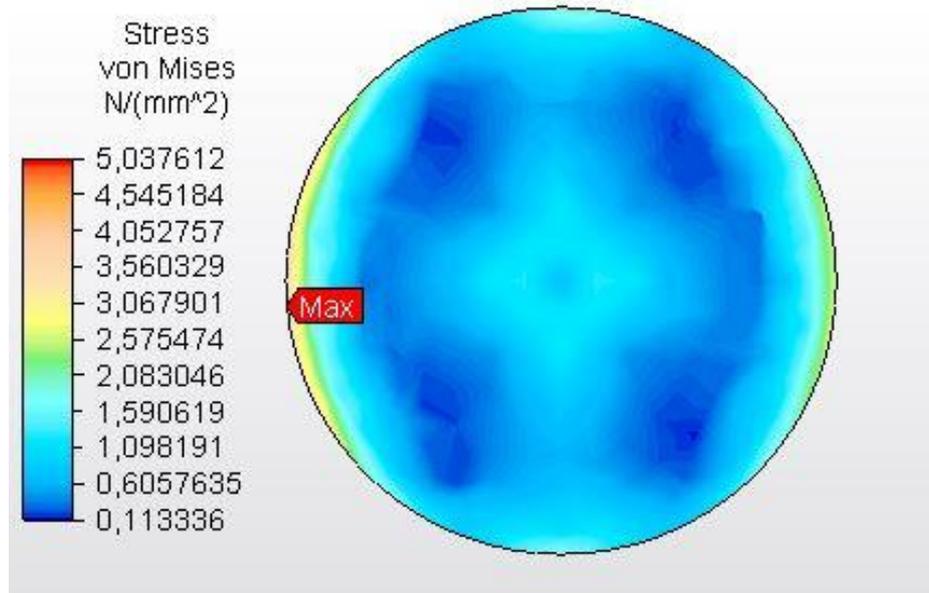
Valor máximo da Tensão 15,50 N/mm² - [Mpa] < 136 [Mpa]

11.3 DESLOCAMENTO DO TETO



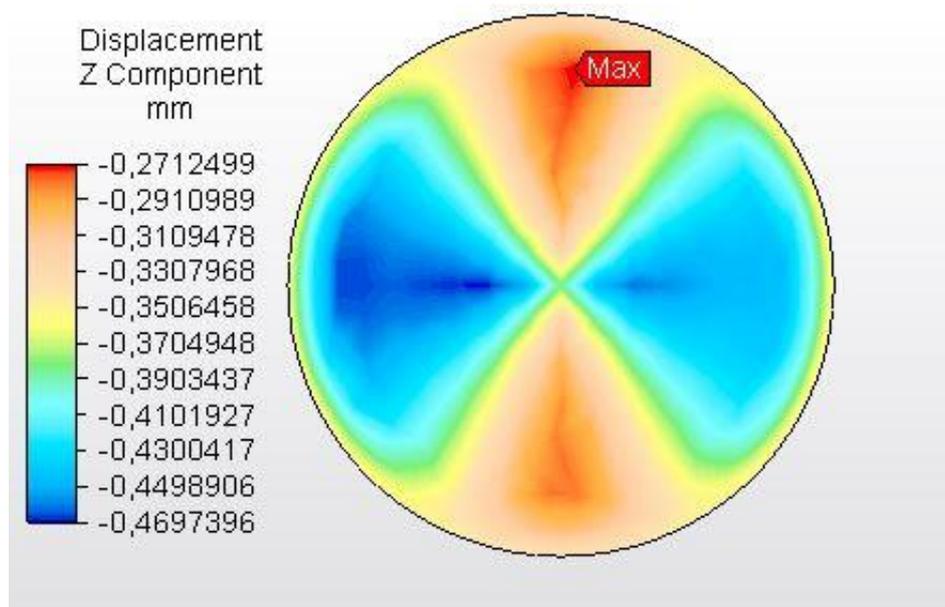
Desloc. máximo – 0,46 mm devido Sobrecarga de 100 kg/m² e vento de 59,00 Kgf/m²

11.4 TENSÃO NO TETO INTERNO



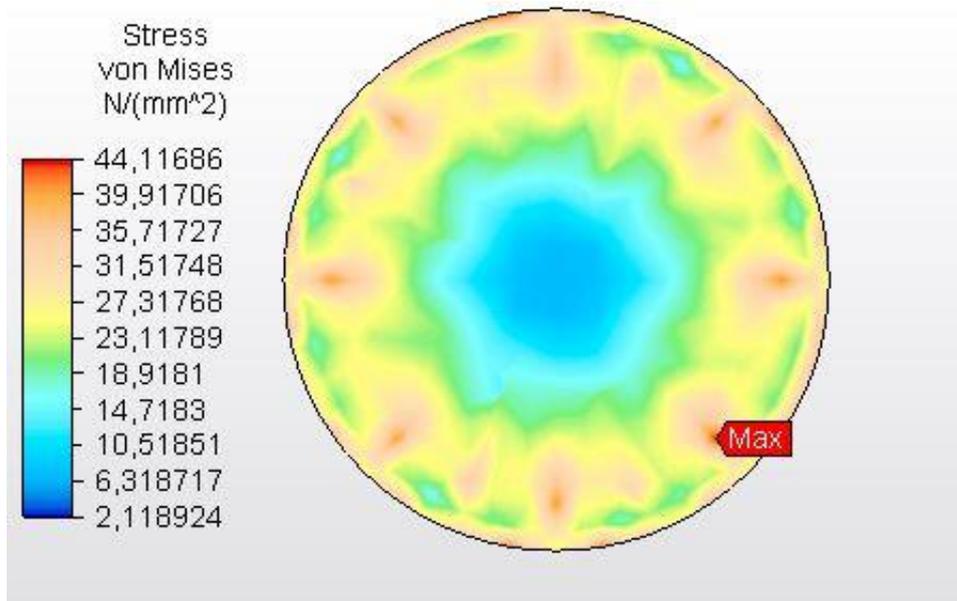
Valor máximo da Tensão 5,037 N/mm^2 - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

11.5 DESLOCAMENTO DO TETO INTERNO



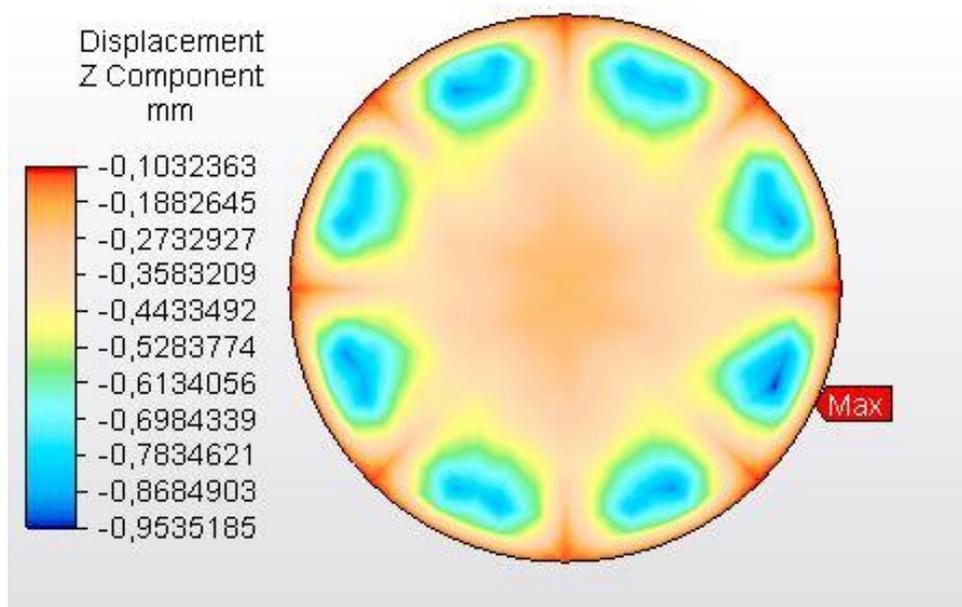
Desloc. máximo – 0,46 mm devido Sobrecarga de 100 kg/m^2 e vento de 59,00 Kgf/m^2

11.6 TENSÃO NA DIVISÓRIA CÉLULA 01



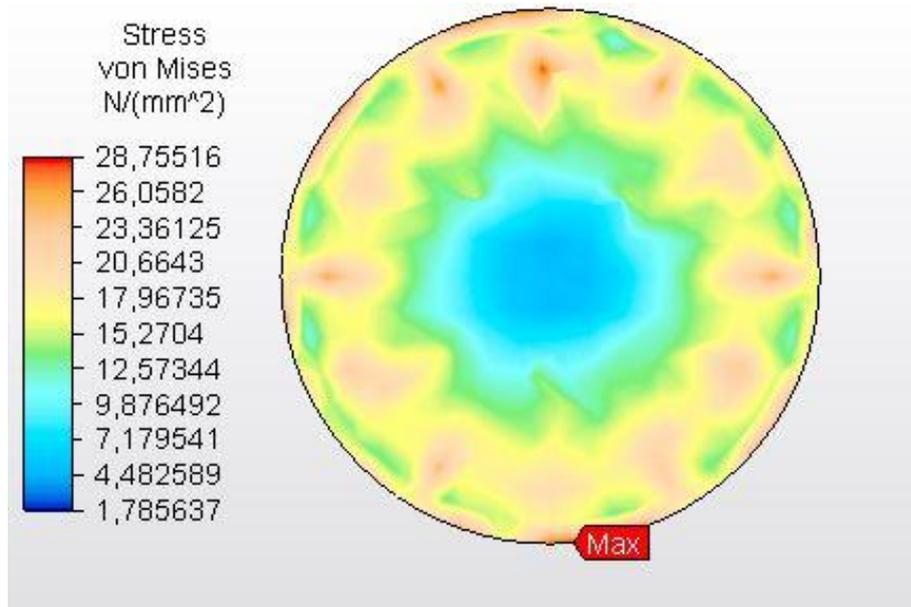
Valor máximo da Tensão 44,11 N/mm^2 - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

11.7 DESLOCAMENTO DA DIVISÓRIA CÉLULA 01



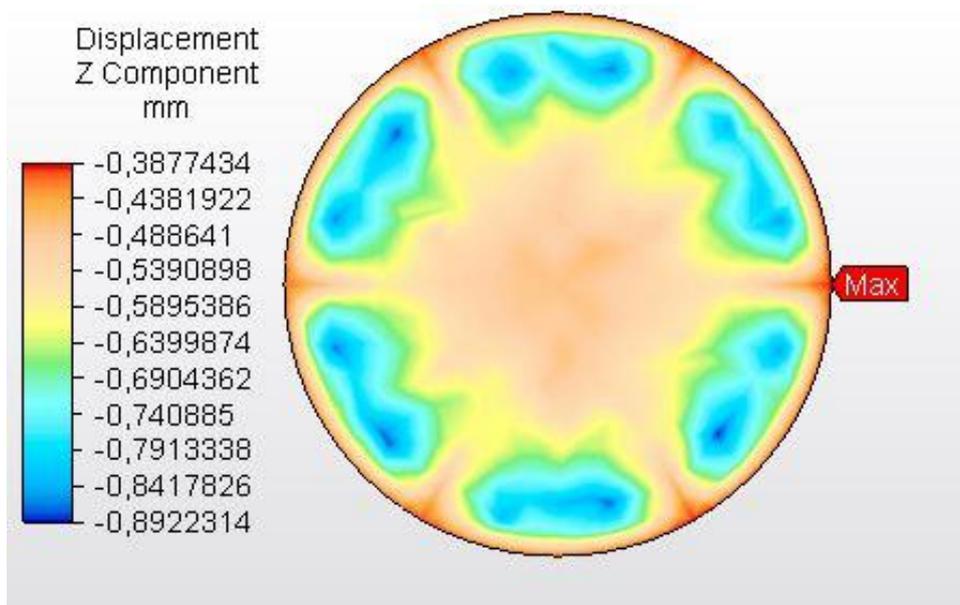
Desloc. máximo – 0,95 mm devido carregamento de água e vento de 59,00 Kgf/m^2

11.8 TENSÃO NA DIVISÓRIA CÉLULA 02



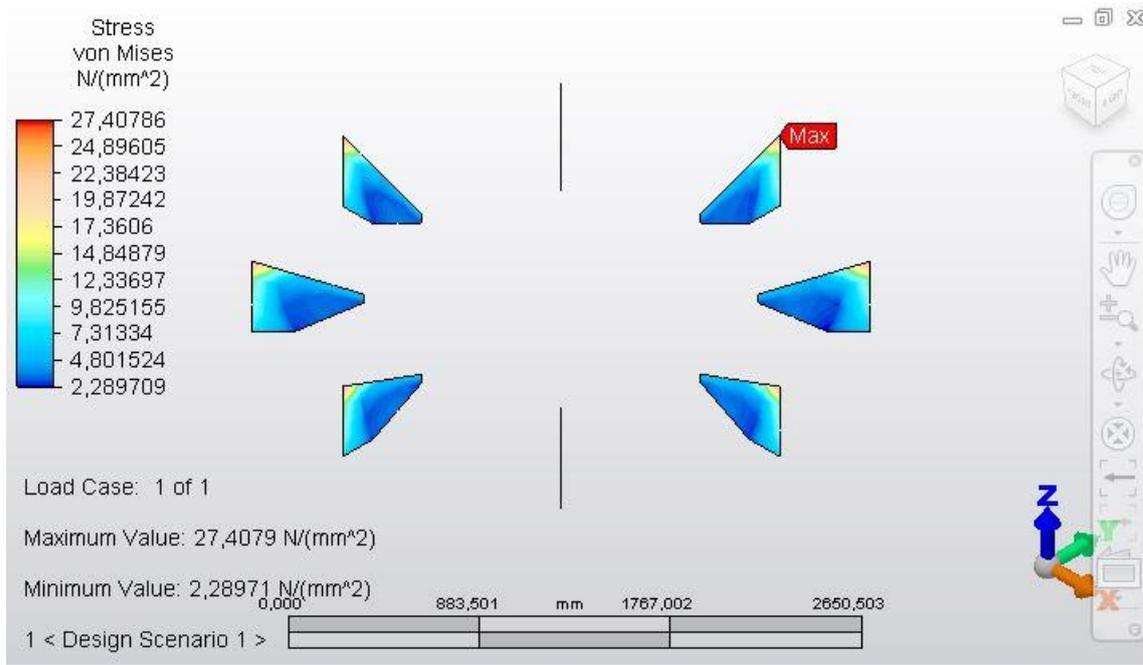
Valor máximo da Tensão 28,75 N/mm² - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

11.9 DESLOCAMENTO DA DIVISÓRIA CÉLULA 02



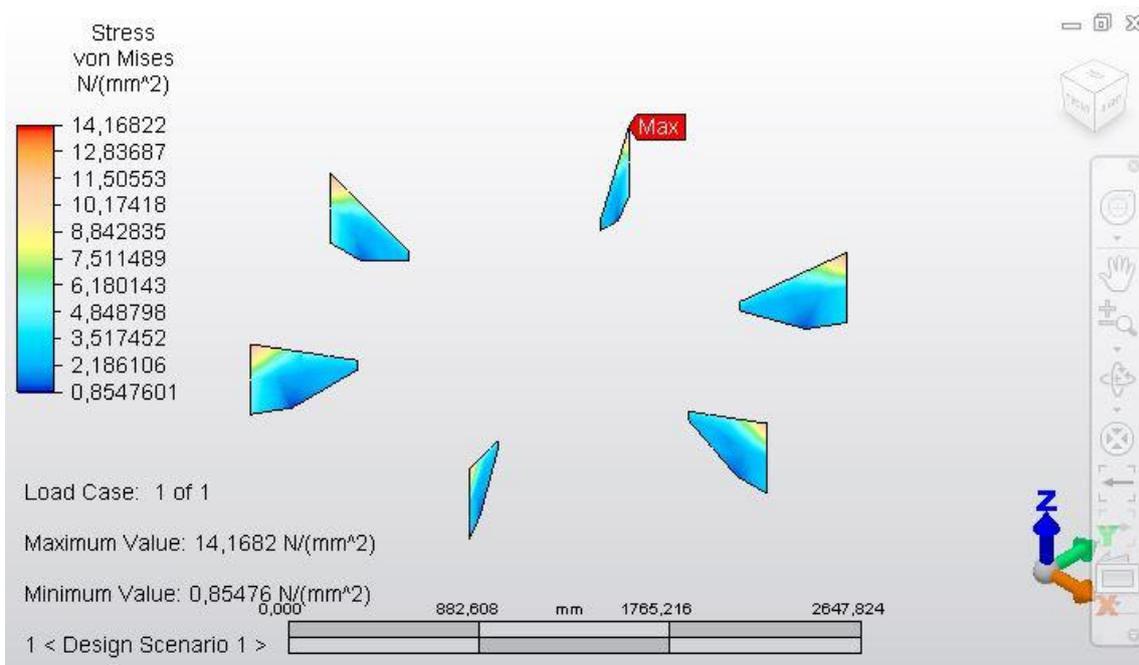
Desloc. máximo – 0,89 mm devido carregamento de água e vento de 59,00 Kg/m²

11.10 TENSÃO NOS TRIÂNGULOS DE REFORÇO CÉLULA 01



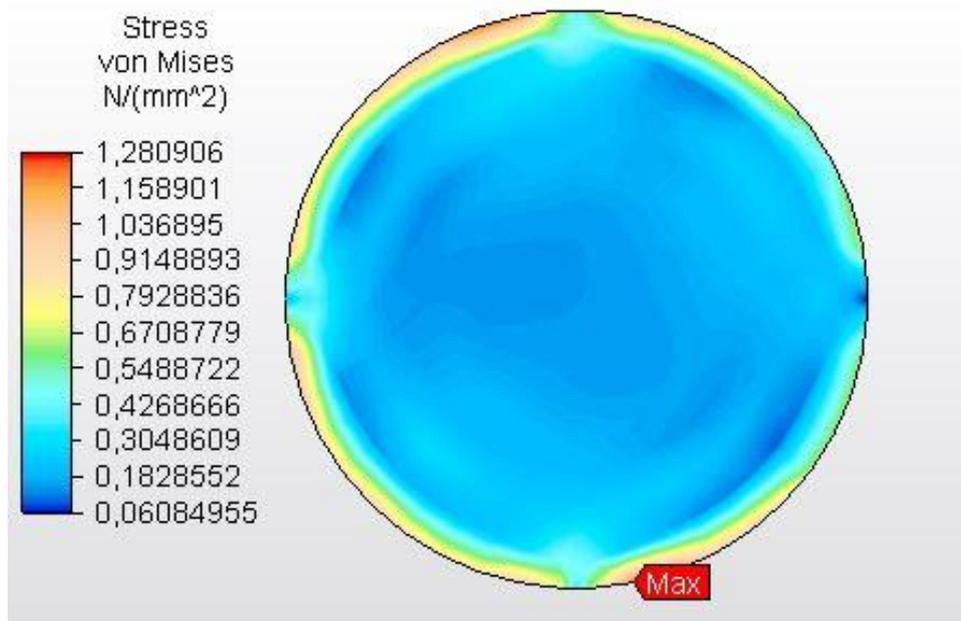
Valor máximo da Tensão 27,41 N/mm^2 - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

11.11 TENSÃO NOS TRIÂNGULOS DE REFORÇO CÉLULA 02



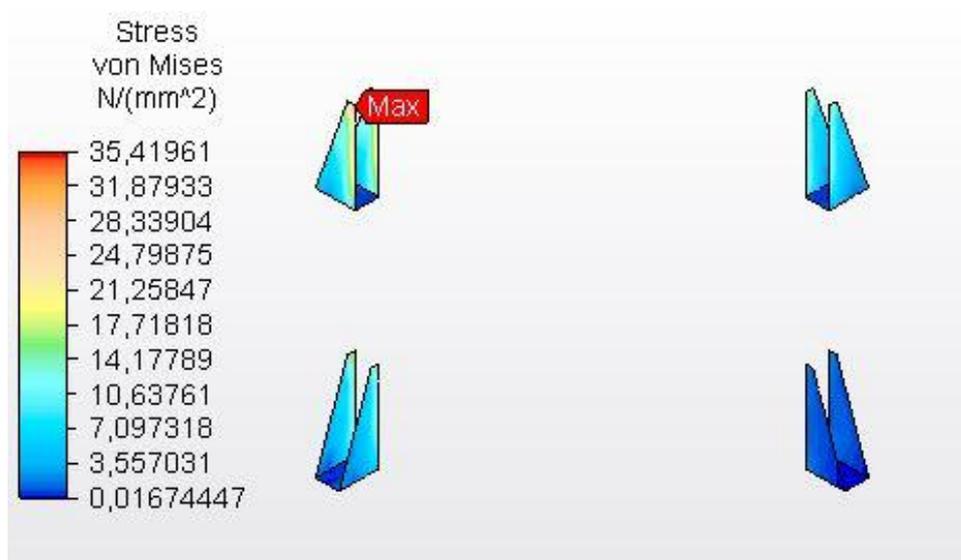
Valor máximo da Tensão 14,17 N/mm^2 - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

11.12 TENSÃO NO FUNDO RETO APOIADO NA BASE



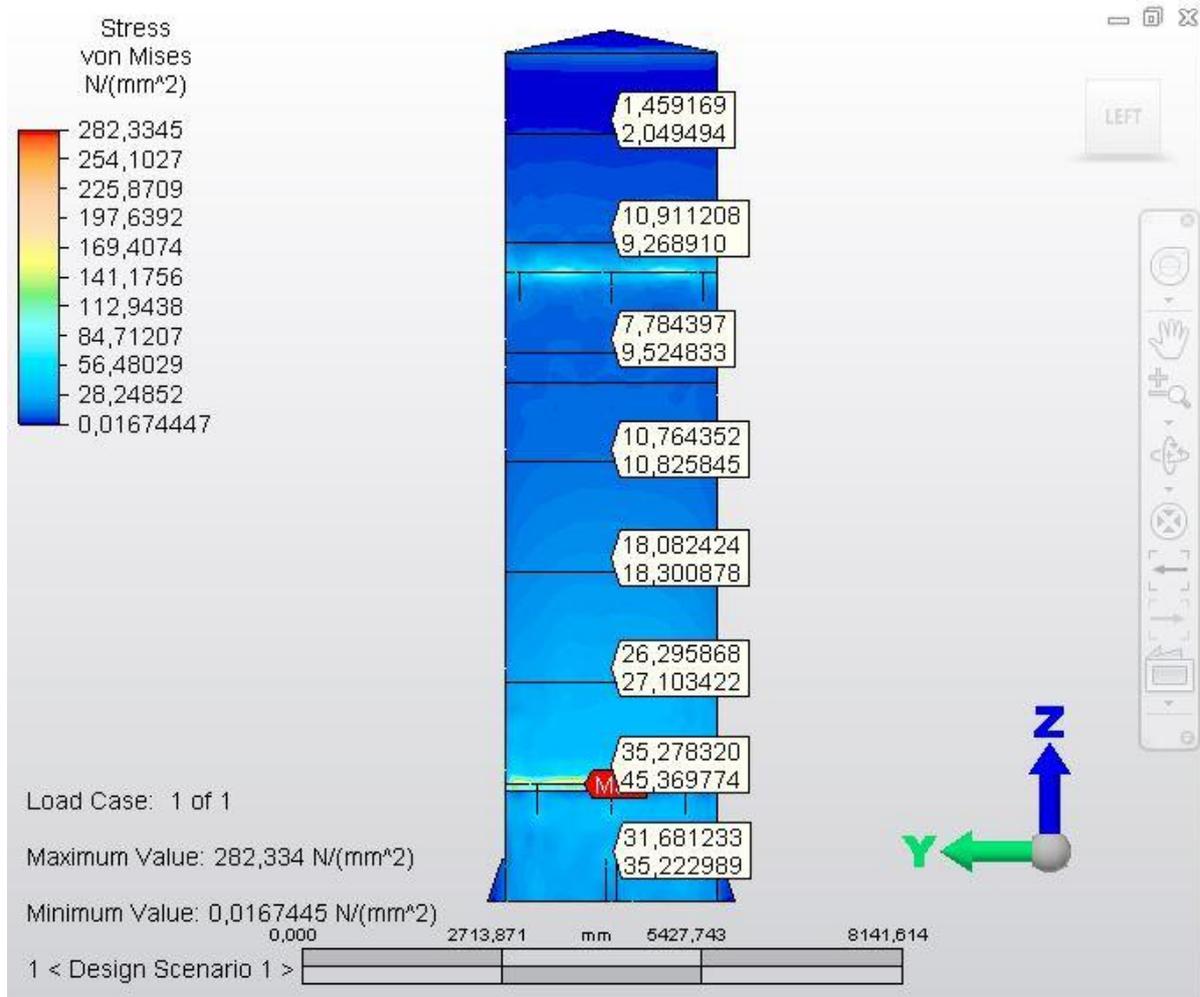
Valor máximo da Tensão 1,28 N/mm^2 - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

11.13 TENSÃO NOS NICHOS DE FIXAÇÃO



Valor máximo da Tensão 35,42 N/mm^2 - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

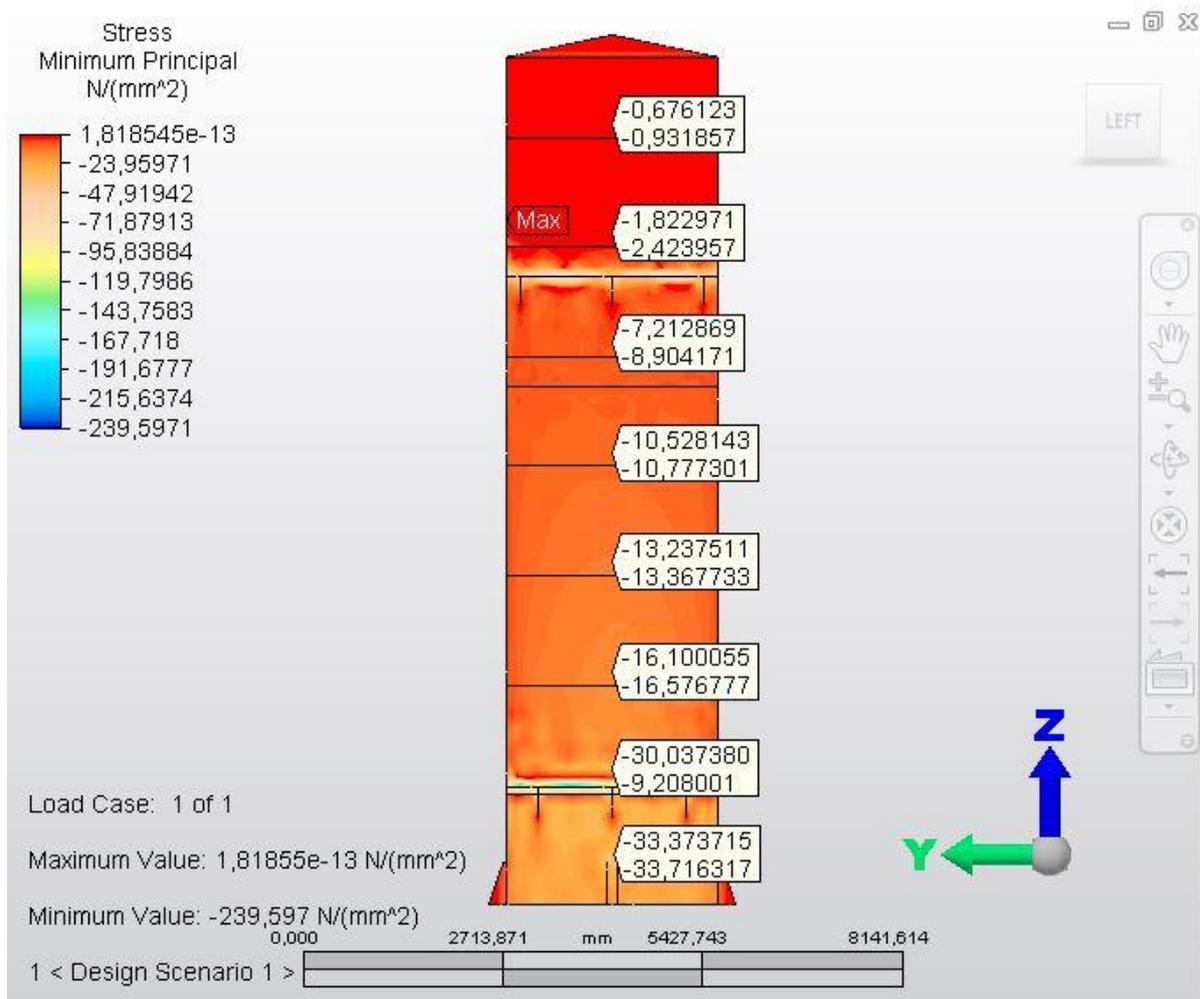
11.14 TENSÕES VON MISES COM RESERVATÓRIO CHEIO E VENTO



Valor máximo da Tensão no Costado: 45,36 N/mm^2 - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

Portanto está ok!

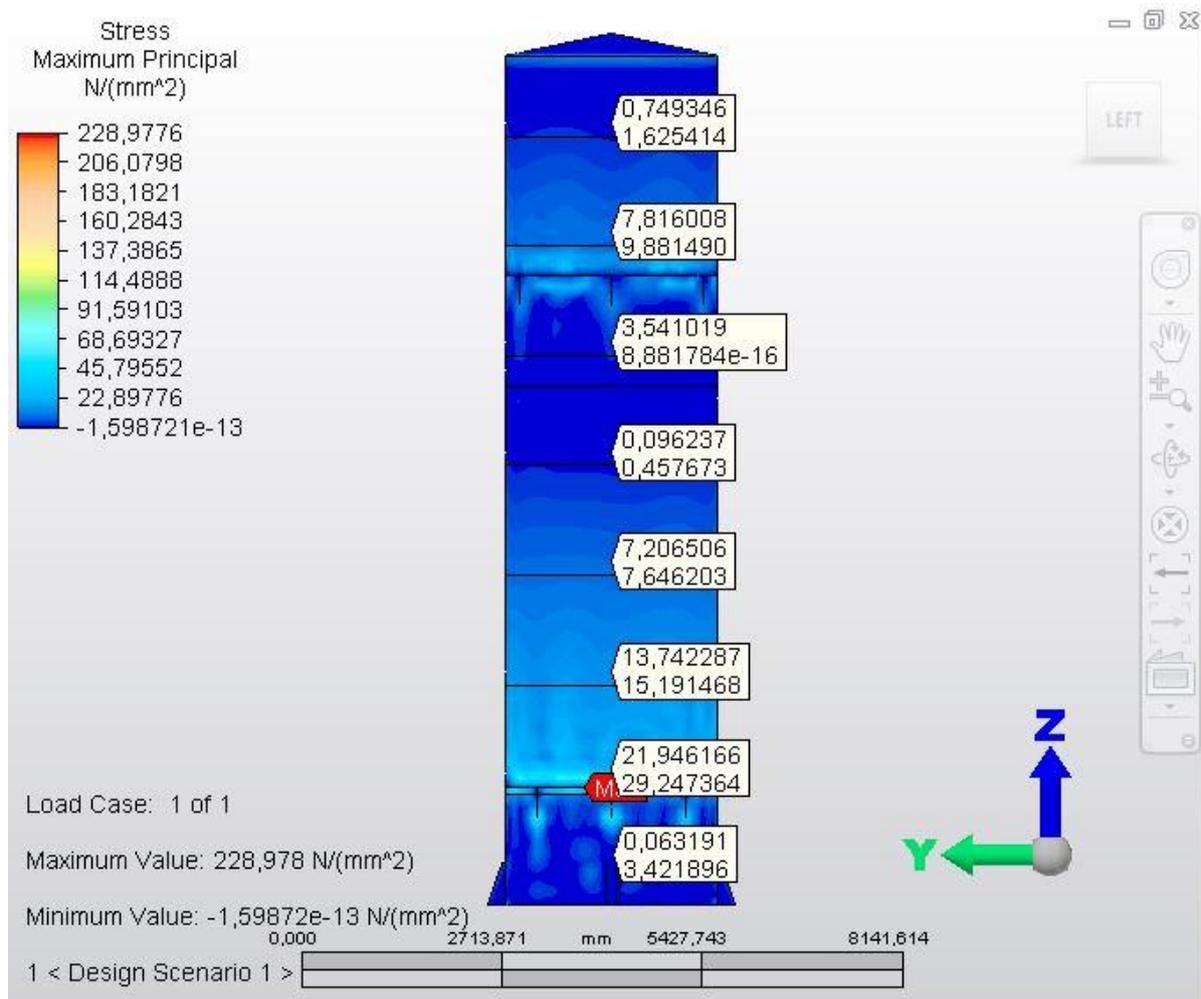
11.15 TENSÕES AXIAIS (MÍNIMAS PRINCIPAIS)



Valor máximo da Tensão no Costado: 33,71 N/mm² - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

Portanto está ok!

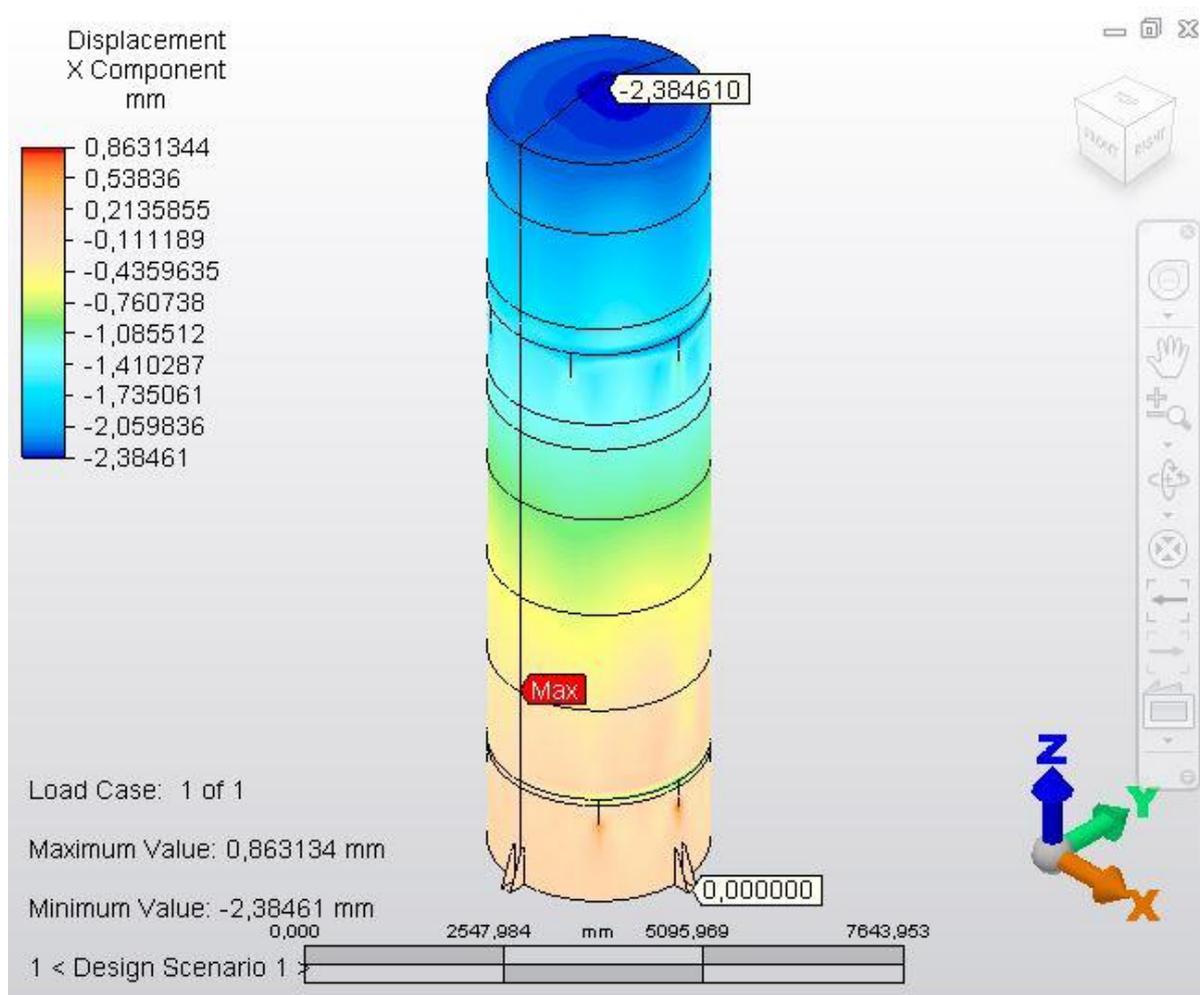
11.16 TENSÕES CIRCUNFERENCIAIS (MÁXIMAS PRINCIPAIS)



Valor máximo da Tensão no Costado: 29,24 N/mm² - [Mpa] < 136 Mpa (API 650)

Portanto está ok!

11.17 DESLOCAMENTO DIREÇÃO X DEVIDO AO VENTO $V_k = 43,20$ m/s



O deslocamento horizontal máximo permitido é $= h/200 = 58$ mm (NBR 7821/1983)

O deslocamento máximo apresentado em função do vento foi de -2,385 mm.

Portanto está Ok!

12. CONCLUSÃO

As análises das tensões do reservatório tipo Apoiado em questão mostram que a maior tensão verificada no costado (45,36 Mpa – virola 2) foi inferior ao prescrito pela norma API 650 (tensão máxima de 136 MPa), e deslocamento horizontal do reservatório, devido a ação do vento e carregamento de água foi apenas de – 2,385 < 58 mm prescrito pela NBR 7821.

A API 650 recomenda pelo menos 1 chumbador a cada 3,00 m. O número utilizado no reservatório em questão, foi determinado no dimensionamento mecânico para que não resultasse em tensão muito alta na primeira virola do reservatório.

Portanto, consideramos o projeto mecânico do reservatório **APROVADO**.

Tupã, 11 de agosto de 2020