CESAN
qualidade em saneamento

CONTRATO 226/2021
AS 022/2022

MUNICÍPIO DE APIACÁ
LOTEAMENTO BOA VISTA

ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO BRUTO LOTEAMENTO BOA VISTA APIACÁ

VOLUME III– PROJETO ESTRUTURAL

TOMO A – MEMORIAL DE CÁLCULO

A-096-003-91-4-MC-0001

GANEM
Engenharia Ltda

MARÇO/2022
REVISÃO 0.A

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do contrato n° 226/2021, celebrado entre a **GANEM Engenharia Ltda EPP.** e a **Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN)**, em 21 de setembro de 2021.

Este contrato visa atender as demandas de análise operacional e projetos da **Gerência de Projetos (E-GPJ)**, e está sendo acompanhado pela **Divisão de Projetos Operacionais (E-DPO)**.

A **GANEM Engenharia Ltda EPP.** apresenta a seguir o projeto hidráulico da estação elevatória de esgoto bruto do Condomínio Boa Vista no município de Apiacá no Espírito Santo.

O projeto completo da Elevatória de Esgoto Bruto dda adutora de água tratada e emissário de esgoto bruto do Condomínio Boa Vista é apresentado conforme descrito abaixo:

- Volume I – Projeto Hidráulico:
  - Tomo B: Desenhos.
- Volume II – Projeto Elétrico:
  - Tomo A: Memorial Descritivo e de Cálculo;
  - Tomo B: Desenhos.
- Volume III – Projeto Estrutural:
  - Tomo A: Memorial Descritivo e de Cálculo;
  - Tomo B: Desenhos.
- Volume IV – Orçamento:

  Planilha Orçamentária.

Seguem listados abaixo os desenhos produzidos neste projeto estrutural e apresentado no Tomo B desse volume:

	Número da CESAN	Referência do Desenho
01	A-096-003-91-4-XX-0001	EEEB Loteamento Boa Vista em Apiacá – Projeto Estrutural – EEEB – Implantação e Poço de Sucção – Forma
02	A-096-003-91-4-XX-0002	EEEB Loteamento Boa Vista em Apiacá – Projeto Estrutural – EEEB – Poço de Sucção e Bioflitro – Forma e Armação
03	A-096-003-91-4-XX-0003	EEEB Loteamento Boa Vista em Apiacá – Projeto Estrutural – EEEB – Pré-

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

	Número da CESAN	Referência do Desenho
		tratamento – Forma e Armação
04	A-096-003-91-4-XX-0004	EEEB Loteamento Boa Vista em Apiacá – Projeto Estrutural – EEEB – PV e Caixa de Válvula – Forma e Armação
05	A-096-003-91-4-XX-0005	EEEB Loteamento Boa Vista em Apiacá – Projeto Estrutural – EEEB – Abrigo de Painél – Forma e Armação / Biofiltro - Armação

.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

SUMÁRIO

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES ..... **VI**
ÍNDICE DE TABELAS ..... **IX**
1. ESPECIFICAÇÕES GERAIS **11**
1.1. Objetivo 11
1.2. Documentos de Referência 11
1.2.1. EEEB 11
1.3. Normas técnicas 11
1.4. Referências bibliográficas 11
1.5. Estruturas de concreto integrantes do projeto 12
2. CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO **13**
2.1. Critério de projeto 13
2.2. Dados gerais 13
2.2.1. Agressividade Ambiental 13
2.2.2. Materiais 13
2.3. Parâmetros geotécnicos 13
2.4. Cargas 15
2.4.1. Cargas permanentes 15
2.4.2. Cargas acidentais 15
2.4.3. Peso específico 15
2.4.4. Carregamento nas lajes de fundo 15
2.4.5. Carregamento nas paredes lado interno 16
2.4.6. Carregamento nas paredes lado externo 16
2.5. Combinações 16
2.6. Metodologia de Cálculo 17
3. DIMENSIONAMENTO – POÇO DE SUCÇÃO **19**
3.1. Modelagem estrutural 19
3.1.1. Carregamento 21
3.1.2. Combinações 22
3.2. Resultados da modelagem estrutural 24
3.2.1. Estabilidade da estrutura 24
3.2.2. Verificação da flutuabilidade 26
3.2.3. Esforços solicitantes 27
3.3. Dimensionamento das armaduras 34

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

3.3.1. Laje de fundo h=20cm 34
3.3.2. Laje superior h=20cm 34
3.3.3. Paredes e=20cm 35
4. DIMENSIONAMENTO – PRÉ-TRATAMENTO 36
4.1. Modelagem estrutural 36
4.1.1. Carregamento 38
4.1.2. Combinações 39
4.2. Resultados da modelagem estrutural 41
4.2.1. Estabilidade da estrutura 41
4.2.2. Verificação da flutuabilidade 43
4.2.3. Esforços solicitantes 44
4.3. Dimensionamento das armaduras 51
4.3.1. Laje de fundo h=20cm 51
4.3.2. Laje superior h=20cm 51
4.3.3. Paredes e=20cm 52
5. DIMENSIONAMENTO – BIOFILTRO 53
5.1. Modelagem estrutural 53
5.1.1. Carregamento 55
5.1.2. Combinações 56
5.2. Resultados da modelagem estrutural 57
5.2.1. Estabilidade da estrutura 57
5.2.2. Esforços solicitantes 58
5.3. Dimensionamento das armaduras 64
5.3.1. Laje de fundo h=20cm 64
5.3.2. Paredes e=15cm 64
5.3.3. Laje Perfurada h=8cm 65
5.3.4. Mísula de Apoio Laje Perfurada 5x15cm 66
5.3.5. Pilares 15x30cm 67
6. DIMENSIONAMENTO – CAIXA DE VÁLVULA 68
6.1. Modelagem estrutural 68
6.1.1. Carregamento 70
6.1.2. Combinações 71
6.2. Resultados da modelagem estrutural 72
6.2.1. Estabilidade da estrutura 72
6.2.2. Verificação da flutuabilidade 74
6.2.3. Esforços solicitantes 74

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

6.3. Dimensionamento das armaduras 81
6.3.1. Laje de fundo h=15cm 81
6.3.2. Paredes e=15cm..... 81
6.3.3. Tampa h=10cm..... 82

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Posicionamento em relação ao solo. 19
Figura 2 – Modelo estrutural 3D – Vista 1. 20
Figura 3 – Modelo estrutural 3D – Vista 2. 20
Figura 4 – Cargas aplicadas. 21
Figura 5 – Diagrama de deformação laje de fundo (m). 24
Figura 6 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m). 27
Figura 7 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m). 28
Figura 8 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m). 28
Figura 9 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m). 29
Figura 10 – Esforço normal laje de fundo F11 (kN). 29
Figura 11 – Esforço normal laje de fundo F22 (kN). 30
Figura 12 – Flexão paredes M11+ (kN.m). 30
Figura 13 – Flexão paredes M11- (kN.m). 31
Figura 14 – Flexão paredes M22+ (kN.m). 31
Figura 15 – Flexão paredes M22- (kN.m). 32
Figura 16 – Esforço normal paredes F11 (kN). 32
Figura 17 – Esforço normal paredes F22 (kN). 33
Figura 18 – Posicionamento em relação ao solo. 36
Figura 19 – Modelo estrutural 3D – Vista 1. 37
Figura 20 – Modelo estrutural 3D – Vista 2. 37
Figura 21 – Cargas aplicadas. 38
Figura 22 – Diagrama de deformação laje de fundo (m). 41
Figura 21 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m). 44
Figura 22 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m). 45
Figura 23 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m). 45
Figura 24 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m). 46
Figura 25 – Esforço Normal laje de fundo F11 (kN). 46
Figura 26 – Esforço Normal laje de fundo F22 (kN). 47
Figura 27 – Flexão paredes M11+ (kN.m). 47
Figura 28 – Flexão paredes M11- (kN.m). 48

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

Figura 29 – Flexão paredes M22+ (kN.m). 48
Figura 30 – Flexão paredes M22- (kN.m). 49
Figura 31 – Esforço Normal paredes F11 (kN). 49
Figura 32 – Esforço Normal paredes F22 (kN). 50
Figura 35 – Posicionamento em relação ao solo. 53
Figura 36 – Modelo estrutural 3D – Vista 1. 54
Figura 37 – Modelo estrutural 3D – Vista 2. 54
Figura 38 – Cargas aplicadas. 55
Figura 39 – Diagrama de deformação laje de fundo (m). 57
Figura 40 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m). 58
Figura 41 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m). 59
Figura 42 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m). 59
Figura 43 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m). 59
Figura 44 – Esforço normal laje de fundo F11 (kN). 60
Figura 45 – Esforço normal laje de fundo F22 (kN). 60
Figura 46 – Flexão paredes M11+ (kN.m). 61
Figura 47 – Flexão paredes M11- (kN.m). 61
Figura 48 – Flexão paredes M22+ (kN.m). 62
Figura 49 – Flexão paredes M22- (kN.m). 62
Figura 50 – Esforço normal paredes F11 (kN). 63
Figura 51 – Esforço normal paredes F22 (kN). 63
Figura 52 – Posicionamento em relação ao solo. 68
Figura 53 – Modelo estrutural 3D – Vista 1. 69
Figura 54 – Modelo estrutural 3D – Vista 2. 69
Figura 55 – Cargas aplicadas. 70
Figura 56 – Diagrama de deformação laje de fundo (m). 73
Figura 21 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m). 75
Figura 22 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m). 75
Figura 23 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m). 76
Figura 24 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m). 76
Figura 25 – Esforço Normal laje de fundo F11 (kN). 77
Figura 26 – Esforço Normal laje de fundo F22 (kN). 77

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

Figura 27 – Flexão paredes M11+ (kN.m). 78
Figura 28 – Flexão paredes M11- (kN.m). 78
Figura 29 – Flexão paredes M22+ (kN.m). 79
Figura 30 – Flexão paredes M22- (kN.m). 79
Figura 31 – Esforço Normal paredes F11 (kN). 80
Figura 32 – Esforço Normal paredes F22 (kN). 80

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos para cada unidade. 15
Tabela 2 – Coeficientes. 17
Tabela 3 – Resumo de esforços solicitantes máximos. 33
Tabela 4 – Resumo de esforços solicitantes máximos. 50
Tabela 5 – Resumo de esforços solicitantes máximos. 64
Tabela 6 – Resumo de esforços solicitantes máximos. 81

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

MEMORIAL DE CÁLCULO

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

1. ESPECIFICAÇÕES GERAIS

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a memória de cálculo do Projeto Estrutural da Estação Elevatória de Esgoto Bruto do Loteamento Boa Vista do sistema de abastecimento de água e sistema de esgotamento sanitário no Loteamento Boa Vista localizada no município de Apiacá – ES.

1.2. Documentos de Referência

1.2.1. EEEB

- A-096-003-91-5-XX-0001
- A-096-003-91-5-XX-0002.
- A-096-003-91-5-XX-0003.

1.3. Normas técnicas

- NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas;
- NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações;
- NBR 7188:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- NBR 7191:1982 – Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado;
- NBR 8681:2004 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- NBR 14931:2004 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento;

1.4. Referências bibliográficas

- Alonso, Urbano Rodriguez, 1943 – Exercícios de fundações / Urbano Rodriguez Alonso, São Paulo: Edgar Bluncher, 1983.
- Morrison, Nelson. Interacción suelo-estructuras: semi-espaço de winkler. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 1993.
- Montoya, J. et al. (1973). Hormigón armado. Barcelona, Gustavo Gilli.
- Cintra, José Carlos A.; Aokil, Nelson; Albiero, José Henrique. Fundações diretas: projeto geotécnico.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

- Pinheiro, Antônio Cralos da Foseca Bragança; Estruturas Metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos, 2005.

1.5. Estruturas de concreto integrantes do projeto

- Poço de sucção;
- Pré-tratamento;
- Biofiltro;
- Caixa de válvula/descarga.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

2. CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO

2.1. Critério de projeto

O dimensionamento das peças estruturais será feito seguindo as recomendações das normas da ABNT. Foram considerados os estados limites últimos (ELU) e os estados limites de serviço (ELS). O modelo estrutural trata-se de caixas prismáticas aérea, enterradas e/ou semienterradas, com ou sem tampa sendo que serão considerados os esforços devido ao peso próprio, sobrecarga e empuxo interno de água, empuxo externo do solo nas paredes enterradas ou semienterradas.

2.2. Dados gerais

2.2.1. Agressividade Ambiental

- Classe de agressividade= III (forte)

2.2.2. Materiais

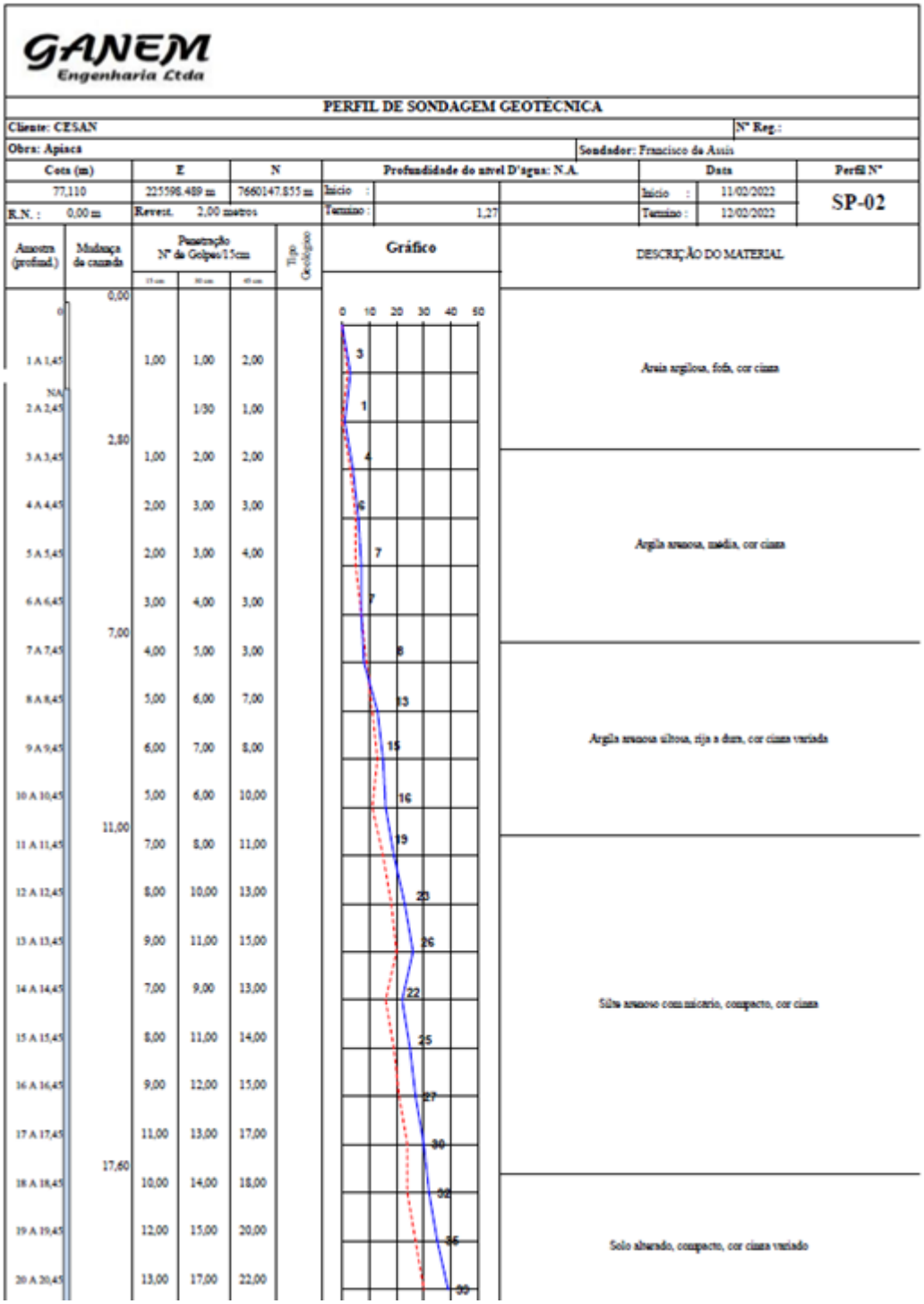
- Concreto Estrutural (C30): f_{ck}=30 MPa / E_{cs}=26.991 MPa
- Coeficiente de Minoração da Resistência: γ_c = 1,4
- Abertura de Fissuras:
  - Tanques em contato com a água $w_k \leq 0,15$ mm
  - Demais estruturas $w_k \leq 0,3$ mm
- Cobrimento da Armadura:
  - Estruturas em contato com a água c = 5,0 cm
  - Demais estruturas c = 4,0 cm
- Aço CA-50 / CA-60
- Resistência Característica ao Escoamento CA-50 f_{yk} = 500 MPa
- Resistência Característica ao Escoamento CA-60 f_{yk} = 600 MPa
- Módulo de Elasticidade E_s = 210.000 MPa
- Coeficiente de Minoração da Resistência γ_s = 1,15

2.3. Parâmetros geotécnicos

Para determinação dos parâmetros geotécnicos, foram realizadas campanhas de sondagem e apresentada no documento A-096-000-92-3-SD-0001. Conforme as

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

locações dos furos de sondagem, foram determinados os parâmetros geotécnicos para cada estrutura. Conforme planta de locação foi utilizado o boletim de sondagem do furo SP-02.



GANEM
Engenharia Ltda

PERFIL DE SONDAGEM GEOTECNICA

Cliente: CESAN						Nº Reg.:
Obra: Apiaca					Sondador: Francisco de Assis	
Cota (m)	E	N	Profundidade do nível D'agua: N.A.		Data	Perfil Nº
77,110	225598,489 m	7660147,855 m	Início :		Início : 11/02/2022	SP-02
R.N. : 0,00 m	Revest. 2,00 metros		Termino :	1,27	Termino : 12/02/2022	

Amostra (profund.)	Mudança de camada	Penetração Nº de Golpes/15cm (15 cm)	(30 cm)	(45 cm)	Tipo Geológico	Gráfico	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
0	0,00					0 10 20 30 40 50	
1 A 1,45		1,00	1,00	2,00		3	Areia argilosa, fofa, cor cinza
NA 2 A 2,45			1/30	1,00		1	
3 A 3,45	2,80	1,00	2,00	2,00		4	Argila arenosa, media, cor cinza
4 A 4,45		2,00	3,00	3,00		6	
5 A 5,45		2,00	3,00	4,00		7	
6 A 6,45		3,00	4,00	3,00		7	
7 A 7,45	7,00	4,00	5,00	3,00		8	Argila arenosa siltosa, rija a dura, cor cinza variada
8 A 8,45		5,00	6,00	7,00		13	
9 A 9,45		6,00	7,00	8,00		15	
10 A 10,45		5,00	6,00	10,00		16	
11 A 11,45	11,00	7,00	8,00	11,00		19	Silte arenoso com micaceo, compacto, cor cinza
12 A 12,45		8,00	10,00	13,00		23	
13 A 13,45		9,00	11,00	15,00		26	
14 A 14,45		7,00	9,00	13,00		22	
15 A 15,45		8,00	11,00	14,00		25	
16 A 16,45		9,00	12,00	15,00		27	
17 A 17,45		11,00	13,00	17,00		30	
18 A 18,45	17,60	10,00	14,00	18,00		32	Solo alterado, compacto, cor cinza variado
19 A 19,45		12,00	15,00	20,00		35	
20 A 20,45		13,00	17,00	22,00		39	

Os parâmetros calculados em função no número NSPT para cada local foram a tensão admissível e o coeficiente de recalque vertical, determinados pelas seguintes equações:

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

$$\sigma_{adm} = N_{SPT}/5 = \text{kgf/cm}^2 \ (Alonso\ 1989)$$

Os parâmetros comuns adotados para todas as estruturas são peso específico ($\gamma = 18{,}00\ kN/m^3$) e coeficiente de empuxo determinado pela equação abaixo, considerado o ângulo de atrito $\varphi = 30º$:

$$K = tg^2(45º - \varphi^2/2) = tg^2(45º - 30º/2) = 0{,}333$$

A tabela a seguir apresenta os demais parâmetros adotados no dimensionamento de cada estrutura:

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos para cada unidade.

Unidade	Nº SPT/ST	NSPT	Tensão Admissível (kgf/cm²)	Coeficiente de Recalque Vertical (kN/m³)
Poço de Sucção	02	3	0,60	14.800,00
Pré-tratamento	02	3	0,60	14.800,00
Biofiltro	02	3	0,60	14.800,00
Caixa de Válvula	02	3	0,60	14.800,00

2.4. Cargas

2.4.1. Cargas permanentes

- Peso próprio gerada eletronicamente pelo programa;

2.4.2. Cargas acidentais

- Sobrecarga = 2,00 kN/m²;
- Sobrecarga de equipamentos sobre as lajes.

2.4.3. Peso específico

- Concreto = 25,00 kN/m³;
- Água = 10,00 kN/m³;
- Material de enchimento em argamassa = 22,00 kN/m²;
- Material de enchimento em brita = 18,00 kN/m².

2.4.4. Carregamento nas lajes de fundo

- Peso da água considerando o pior cenário com a estrutura 100% cheia.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

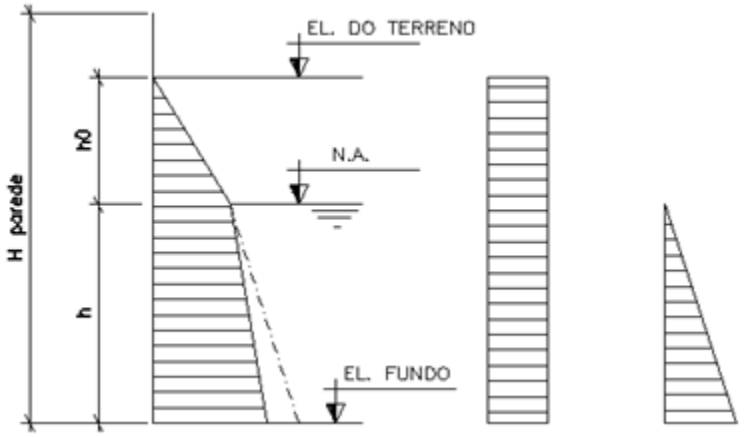
2.4.5. Carregamento nas paredes lado interno

- Considerando a caixa cheia de água temos;

$$P_{agua} = \gamma_{agua} . h_{agua}$$

2.4.6. Carregamento nas paredes lado externo

- Para o trecho aéreo a carga externa será igual a 0.
- Para o trecho enterrado ou semienterrado temos;



A carga q para carga retangular será utilizada nas estruturas sobre efeito de tráfego de veículos, cujo valor será de 25,00 kN/m².

2.5. Combinações

Para o dimensionamento das estruturas foram considerados, de acordo com as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os estados limites de utilização (flechas, aberturas de fissuras) e o último (segurança), sempre considerando as questões relativas à durabilidade da estrutura.

As combinações de ações de ações usadas no cálculo foram de acordo com NBR 8691:2003.

Combinações últimas (ELU), que para o edifício em causa são consideradas normais, “Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado”, sendo o cálculo das solicitações:

$$F_d = \sum_{i=1}^{m} \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^{n} \Psi_{Oj} F_{Qj,k} \right]$$

De acordo com a tabela 11.3 da NBR 6118:2014.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

Os valores dos Coeficientes de ponderação das ações (γf) no estado-limite último (ELU) foram os utilizados nas tabelas 11.1 e 11.2 da NBR 6118:2014.

Combinações de serviço (ELS):

Combinações quase permanentes (CQP):

$$F_d = \sum F_{gi,k} + \sum \psi\, 2j.\, F_{gj,k}$$

Combinações frequentes (CF):

$$F_d = \sum F_{gi,k} + \psi 1 F_{q1k} + \sum \psi\, 2j.\, F_{gj,k}$$

Combinações raras (CR):

$$F_d = \sum F_{gi,k} + F_{q1k} + \sum \psi\, 1j.\, F_{gj,k}$$

De acordo com a tabela 11.4 da NBR 6118:2014.

Os valores dos Coeficientes de ponderação das ações (γf) no estado-limite de serviço (ELS) foram os utilizados na tabela 11.2 da NBR 6118:2014.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes parciais de segurança utilizados conforme tabela 1 da NBR 8681.

Tabela 2 – Coeficientes.

	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente – CP	1,00	1,40	-	-
Sobrecarga – SC	0,00	1,40	1,00	0,80

2.6. Metodologia de Cálculo

Para a análise estrutural e obtenção dos esforços solicitantes dos elementos estruturais de concreto armado foi utilizado o software SAP2000 no dimensionamento.

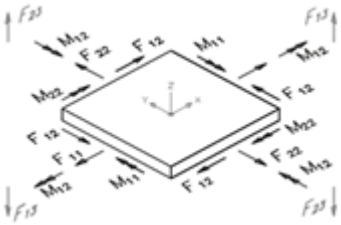
Como condição de contorno foi considerado o contato entre o concreto e o solo de fundação através de apoios elásticos representados por molas, que são liberadas iterativamente, quando apresentam esforços de Esforço Normal.

Para simular o atrito do concreto com o solo foram considerados os coeficientes horizontais referentes a 10% do coeficiente vertical.

No SAP2000 foi criado um modelo tridimensional formado por elementos de placas e barras, cuja discretização considera as dimensões que as compõem. Abaixo segue

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

uma representação esquemática das direções positivas dos esforços internos na notação do “SAP 2000”, para o elemento do tipo Shell.



Para auxiliar no dimensionamento das estruturas foram utilizadas planilhas próprias do Excel que atendem as normas vigentes.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

3. DIMENSIONAMENTO – POÇO DE SUCÇÃO

3.1. Modelagem estrutural

O poço de sucção é uma estrutura prismática cilindrica enterrada (Figura 1).

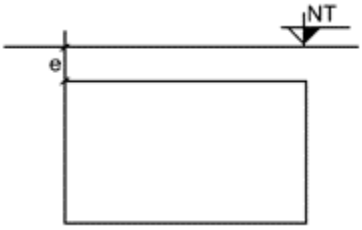


Figura 1 – Posicionamento em relação ao solo.

Para dimensionamento foi considerado as lajes de fundo engastadas nas paredes. As paredes serão submetidas à atuação da força hidrostática correspondente a altura interna total e o empuxo do solo na parte externa que se encontra enterrado.

A laje de fundo atua como fundações, em função disto, estrutura foi cálculdada associando a um meio elástico. Para a interação solo estrutura o coeficiente de recalque vertical será determinado pela relação empírica de Alonso (1943), Teixeira e Godoy (1996).

$$s = 0.2SPT_{médio\ (kgf/cm^2)}$$

Conforme furo SP-02 temos na camada de apoio $N_{SPT} = 3$. Conforme Alonso (1946) temos:

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{5} = \frac{3}{5} = 0{,}60\ kgf/cm^2$$

Utilizando a tabela de Morrison (1993) temos

Para $\sigma_{adm} = 0{,}60\ kgf/cm^2$ temos $Kv = 1{,}48\ kgf/cm^3$

Na estrutura atuam esforços de Esforço Normal e flexão.

A modelagem estrutural foi feita no software SAP-2000 (Figura 2 e Figura 3) considerando os parâmetros apresentados no item 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

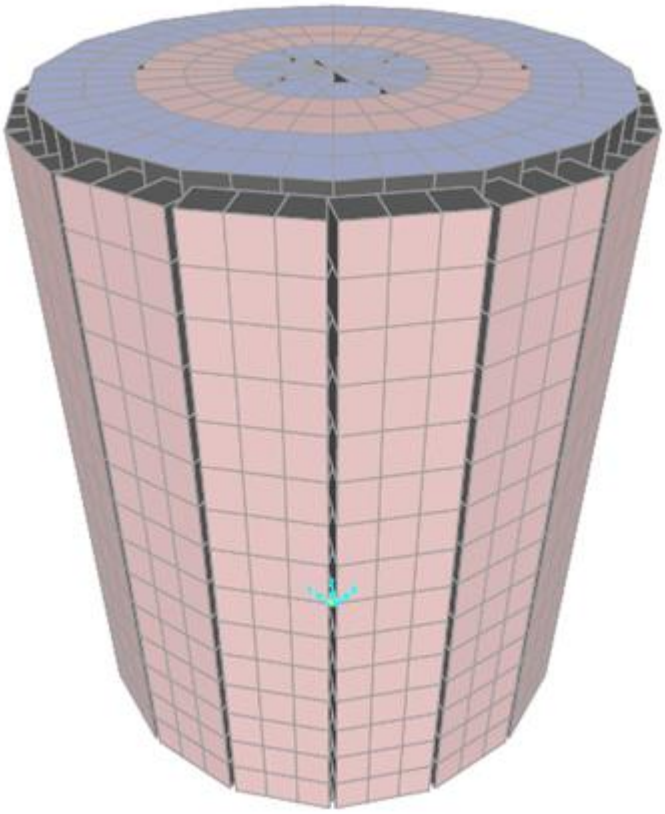


Figura 2 – Modelo estrutural 3D – Vista 1.

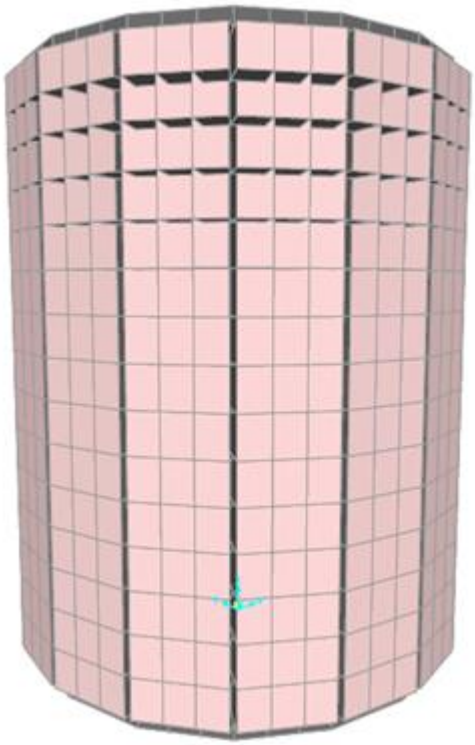


Figura 3 – Modelo estrutural 3D – Vista 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

3.1.1. Carregamento

A Figura 4 apresenta as cargas aplicadas no poço de sucção.

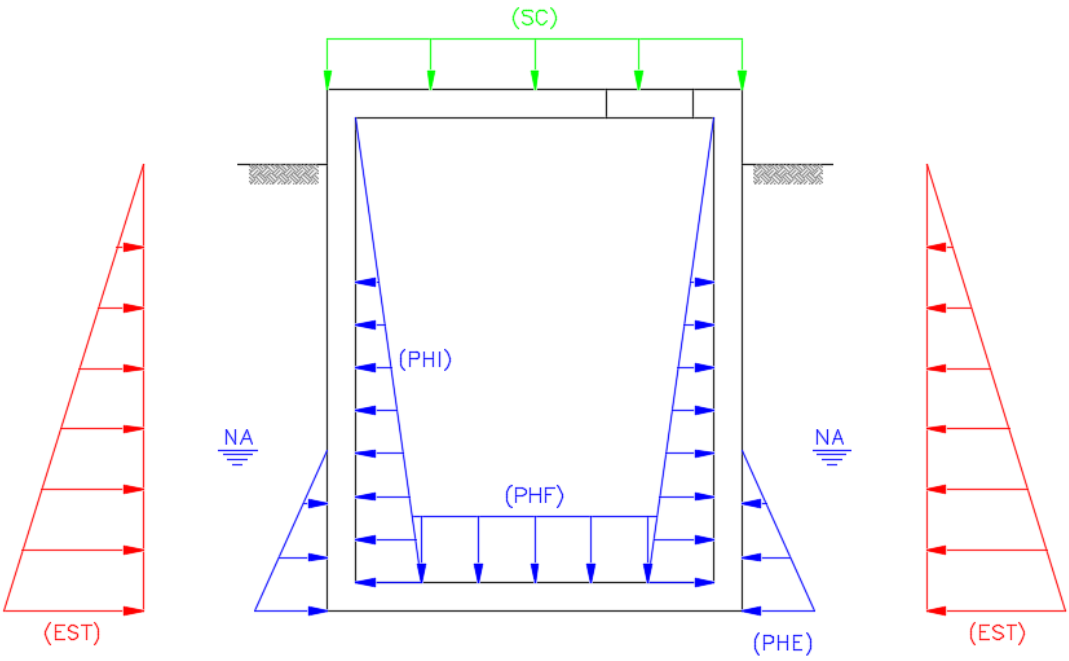


Figura 4 – Cargas aplicadas.

Os carregamentos utilizados no dimensionamento foram:

a) Peso próprio (PP)

Gerado eletronicamente pelo programa.

b) Carga permanente laje de fundo (CP):

Parede defletora

$$CP_{PD} = \frac{2{,}43x0{,}15x1x25}{\pi x2{,}5^2/_4} = 1{,}86\ kN/m^2$$

c) Sobrecarga (SC):

Sobrecarga na superfície de $2{,}00\ \ kN/m^2$

d) Pressão hidrostática na laje de fundo (PHF):

$$P_{agua} = 3{,}25\ x\ 10 = 32{,}50\ \ kN/m^2.$$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

e) Pressão hidrostática na face interna das paredes (PHI):

Carga triangular máxima $P_{agua} = \gamma_{agua}.h = 10{,}00x3{,}65 = 36{,}50\ kN/m^2$

f) Pressão hidrostática na face externa das paredes (PHE):

Carga triangular máxima $P_{agua} = \gamma_{agua}.h = 10{,}00x1{,}13 = 11{,}30\ kN/m^2$

g) Empuxo externo (solo) (EXT):

Carga triangular máxima $P_{solo} = k_{solo}\gamma_t.h = 0{,}5\text{x}18{,}00x3{,}18 = 28{,}62\ kN/m^2$.

3.1.2. Combinações

Foram elaboradas 64 combinações de ações entre todos os carregamentos listados, além de uma combinação envoltória, conforme tabela a seguir.

HIPÓTESE	COMBINAÇÕES
COMB1	PP
COMB2	PP + CP
COMB3	PP + CP + SC
COMB4	PP + CP + SC + PHF
COMB5	PP + CP + SC + PHF + PHI
COMB6	PP + CP + SC + PHF + PHI + PHE
COMB7	PP + CP + SC + PHF + PHI + PHE + EST
COMB8	PP + CP + SC + PHF + PHI + EST
COMB9	PP + CP + SC + PHF + PHE
COMB10	PP + CP + SC + PHF + PHE + EST
COMB11	PP + CP + SC + PHF + EST
COMB12	PP + CP + SC + PHI
COMB13	PP + CP + SC + PHI + PHE
COMB14	PP + CP + SC + PHI + PHE + EST
COMB15	PP + CP + SC + PHI + EST
COMB16	PP + CP + SC + PHE
COMB17	PP + CP + SC + PHE + EST
COMB18	PP + CP + SC + EST
COMB19	PP + CP + PHF
COMB20	PP + CP + PHF + PHI
COMB21	PP + CP + PHF + PHI + PHE
COMB22	PP + CP + PHF + PHI + PHE + EST
COMB23	PP + CP + PHF + PHI + EST
COMB24	PP + CP + PHF + PHE
COMB25	PP + CP + PHF + PHE + EST
COMB26	PP + CP + PHF + EST
COMB27	PP + CP + PHI
COMB28	PP + CP + PHI + PHE

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

COMB29	PP + CP + PHI + PHE + EST
COMB30	PP + CP + PHI + EST
COMB31	PP + CP + PHE
COMB32	PP + CP + PHE + EST
COMB33	PP + CP + EST
COMB34	PP + SC
COMB35	PP + SC + PHF
COMB36	PP + SC + PHF + PHI
COMB37	PP + SC + PHF + PHI + PHE
COMB38	PP + SC + PHF + PHI + PHE + EST
COMB39	PP + SC + PHF + PHI + EST
COMB40	PP + SC + PHF + PHE
COMB41	PP + SC + PHF + PHE + EST
COMB42	PP + SC + PHF + EST
COMB43	PP + SC + PHI
COMB44	PP + SC + PHI + PHE
COMB45	PP + SC + PHI + PHE + EST
COMB46	PP + SC + PHI + EST
COMB47	PP + SC + PHE
COMB48	PP + SC + PHE + EST
COMB49	PP + SC + EST
COMB50	PP + PHF
COMB51	PP + PHF + PHI
COMB52	PP + PHF + PHI + PHE
COMB53	PP + PHF + PHI + PHE + EST
COMB54	PP + PHF + PHI + EST
COMB55	PP + PHF + PHE
COMB56	PP + PHF + PHE + EST
COMB57	PP + PHF + EST
COMB58	PP + PHI
COMB59	PP + PHI + PHE
COMB60	PP + PHI + PHE + EST
COMB61	PP + PHI + EST
COMB62	PP + PHE
COMB63	PP + PHE + EST
COMB64	PP + EST
ENVELOPE	ENVOLTORIA

Foi elaborado também uma combinação ENVOLTORIA, logo o software analisa o pior cenário. Mas, será destacado a seguir o pior cenário considerado para cada análise:

a) Estabilidade da estrutura

Pior cenário é a COMB4 (PP+CP+SC+PHF).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

b) Esforços solicitantes

b.1) Laje de fundo

Pior cenário é a COMB2 (PP+CP).

b.2) Laje superior

Pior cenário é a COMB34 (PP+SC)

b.3) Paredes

Pior cenário é a COMB63 (PP+PHE+EST)

3.2. Resultados da modelagem estrutural

3.2.1. Estabilidade da estrutura

A Figura 55 apresenta o diagrama de deformação da laje de fundo.

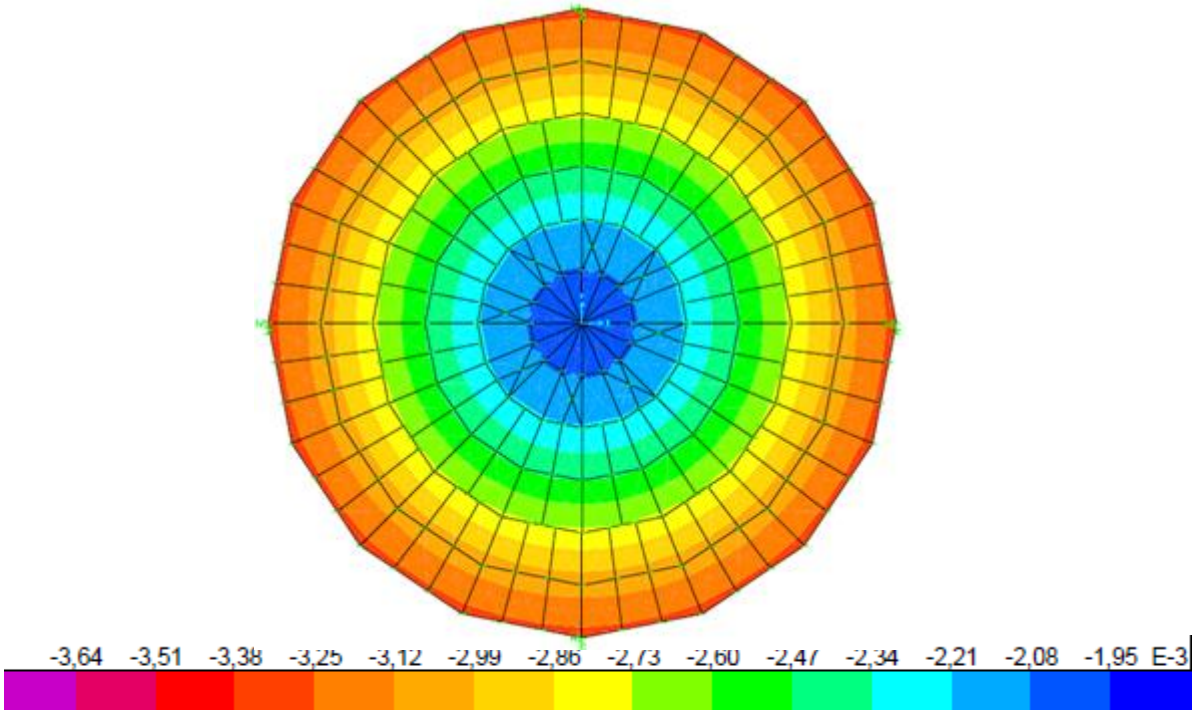


Figura 5 – Diagrama de deformação laje de fundo (m).

A tabela a seguir apresenta os deslocamentos máximos.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
86	COMB4	Combination	0,000000	0,000000	-0,003629	0,000000	0,000000	0,000000
1729	COMB4	Combination	0,000000	0,000000	-0,003613	0,000126	0,000052	0,000000
1730	COMB4	Combination	0,000000	-0,000001	-0,003613	0,000136	0,000001	0,000000
1742	COMB4	Combination	0,000001	-0,000001	-0,003613	0,000096	0,000097	0,000000
1752	COMB4	Combination	0,000000	-0,000001	-0,003613	0,000126	-0,000052	0,000000

a) Verificação da tensão no solo será:

Conforme item Tabela 1 $k_V = 14.800{,}00\ kN/m^3$. Aplicando a lei de Hooke, a tensão no solo será o produto da deformação máxima com o coeficiente de recalque vertical, logo.

$\sigma_{solo} = \delta x k_V = 0{,}00363x14.800 = 53{,}71\ kN/m^2 = 0{,}54\ kgf/cm^2 \leq 0{,}60\ kgf/cm^2$ (ok)

b) Verificação do deslizamento e tombamento

A verificação do tombamento e deslizamento será determinada conforme Montoya (1973). Para a verificação de estabilidade foram considerados os somatórios de forças horizontais e verticais de todas as combinações possíveis.

Verificação ao Deslizamento de Fundações Diretas

Pior Combinação para o Deslizamento =	COMB 64	
Fx (Somatória de forças horizontais em x) =	0,04	tf
Fy (Somatória de forças horizontais em y) =	0,04	tf
F_H Resultante de Forças Horizontais =	0,05	
Fz (Somatória de forças verticais) =	15,27	tf
ϕ (Ângulo de atrito interno do solo) =	30	º
Σ N x tg (2ϕ / 3) / F_H >= 1,5	**106,24**	Ok

Logo todas verificações de estabilidade foram atendidas as fundações serão do tipo direta.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

3.2.2. Verificação da flutuabilidade

Conforme boletim de sondagem SP-02 o nível do lençol freático está a 2,00 m de profundidade. A campanha de sondagem foi realizada no período de fevereiro e março, que corresponde ao período chuvoso. Logo o lençol se encontra na cota máxima.

Conforme projeto hidráulico o fundo do poço de sucção está a 3,13 m de profundidade.

Para que a estrutura não flutue o peso da estrutura deverá ser maior que o empuxo de água. Conforme bibliografia recomenda-se um fator de segurança de 20%, logo a verificação deverá atender a relação abaixo.

$$\frac{P_{est}}{E_{agua}} > 1{,}20$$

O peso da estrutura será determinado através do produto entre o volume de concreto e o peso específico.

$$P_{est} = V_{concreto} x \gamma_{concreto}$$

O empuxo de água equivale ao peso do volume de água deslocado. Será calculado pela equação:

$$E_{agua} = A_{estrutura} x h_{agua} x \gamma_{agua}$$

a) Cálculo do Empuxo de Água

O empuxo será determino por;

$E_{agua} = A_{caixa} x h_{agua} x \gamma_{agua}$

$A_{poço} = \frac{\pi x 2{,}9^2}{4} = 6{,}61\ m^2$

$E_{agua} = 6{,}61 x 1{,}13 x 10{,}00 = 74{,}64$ kN

b) Peso da Estrutura

Será considerado para o concreto o peso especifico de $25\ kN/m^3$

$V_{concreto} = 8{,}34\ m^3$

$P_{est} = 8{,}34\text{x}25 = 208{,}50\ kN$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

c) Verificação da Flutuabilidade

Para que a estrutura não flutue, a relação a seguir deverá ser atendida.

$$\frac{P_{est}}{E_{agua}} > 1{,}20$$

$$\frac{208{,}50}{74{,}64} = 2{,}79 > 1{,}20$$

Logo concluímos que a estrutura não irá flutuar.

3.2.3. Esforços solicitantes

As figuras a seguir apresentam os esforços solicitantes.

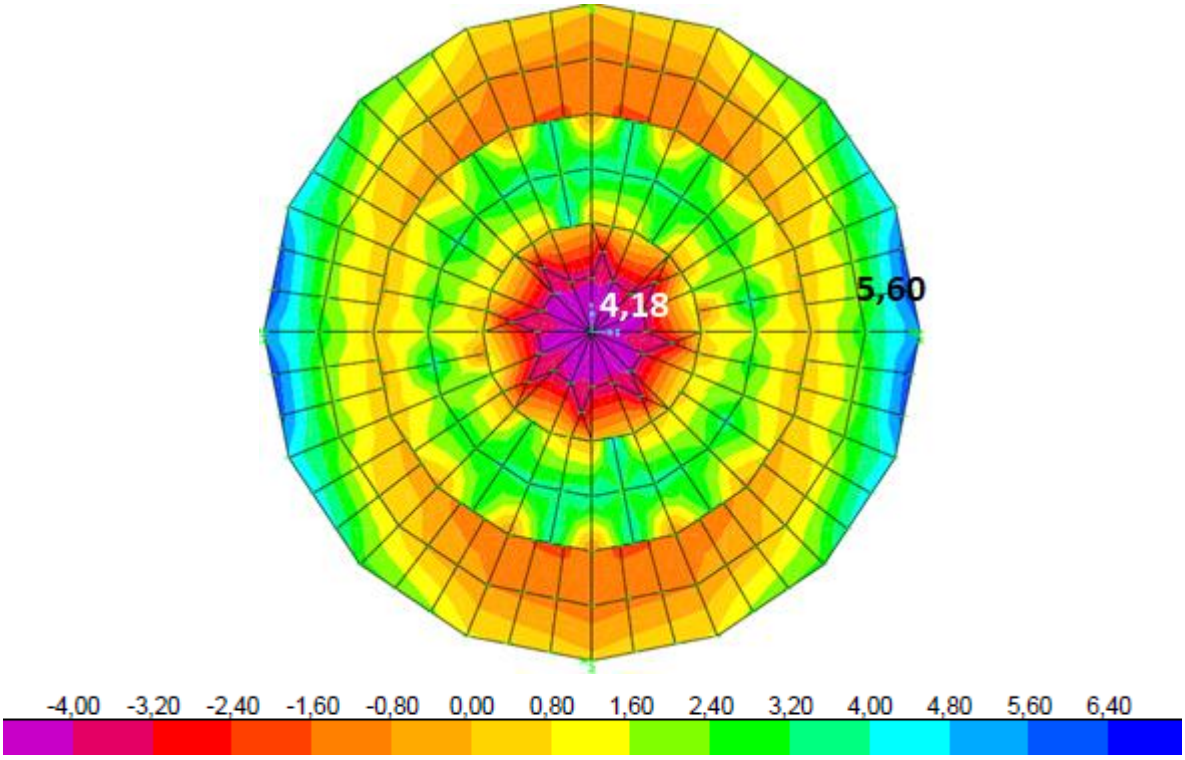


Figura 6 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

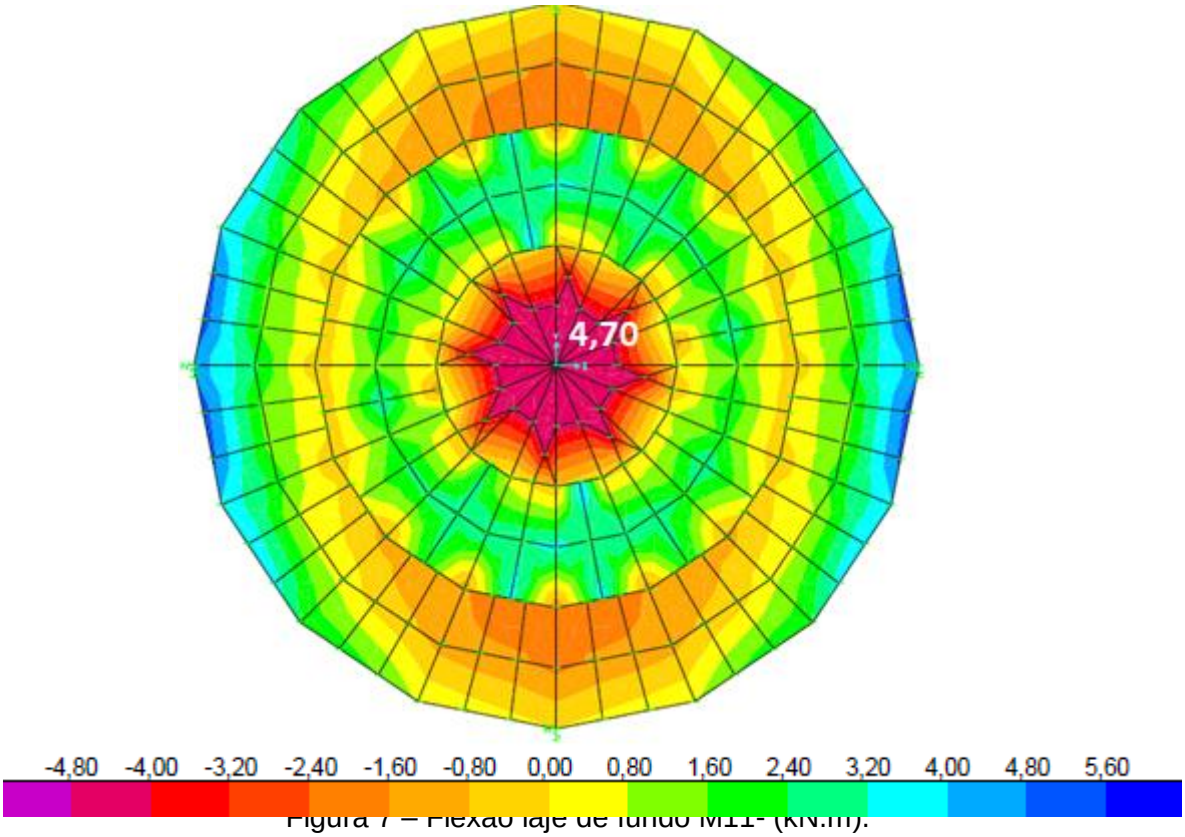


Figura 7 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m).

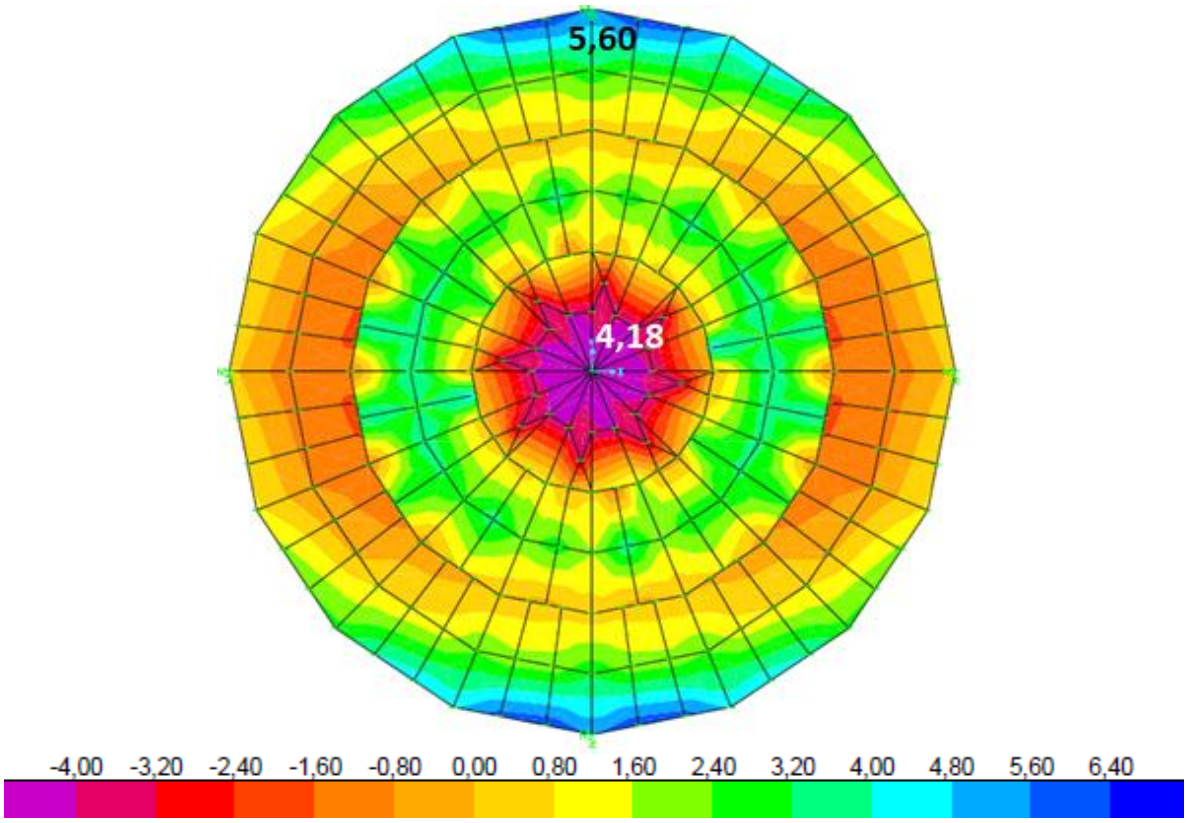


Figura 8 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

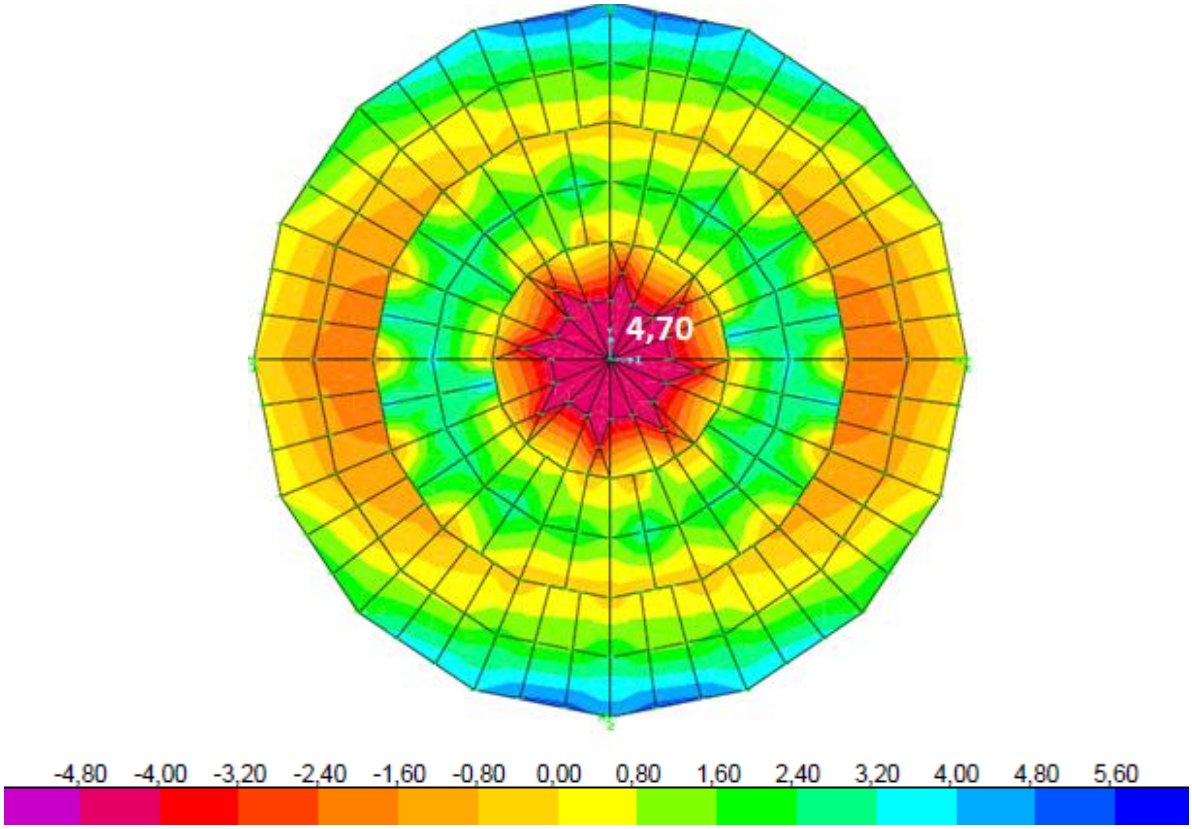


Figura 9 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m).

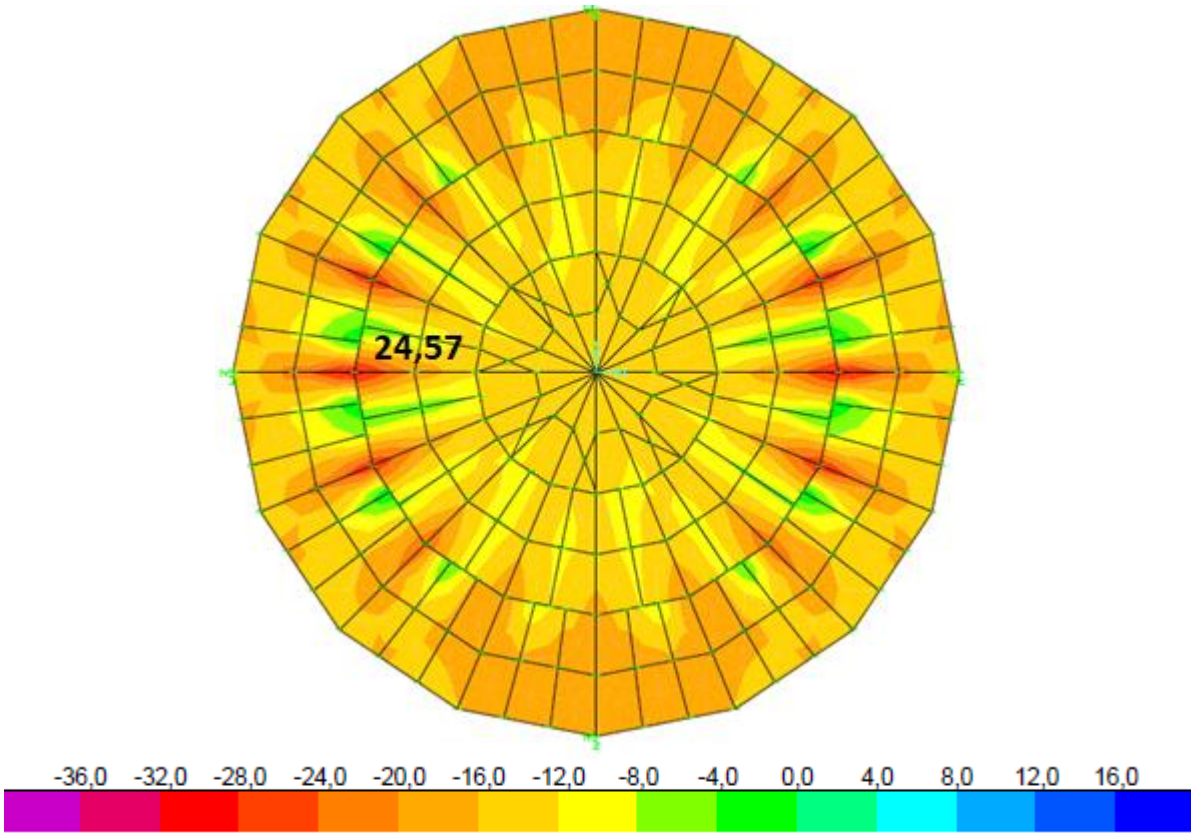


Figura 10 – Esforço normal laje de fundo F11 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

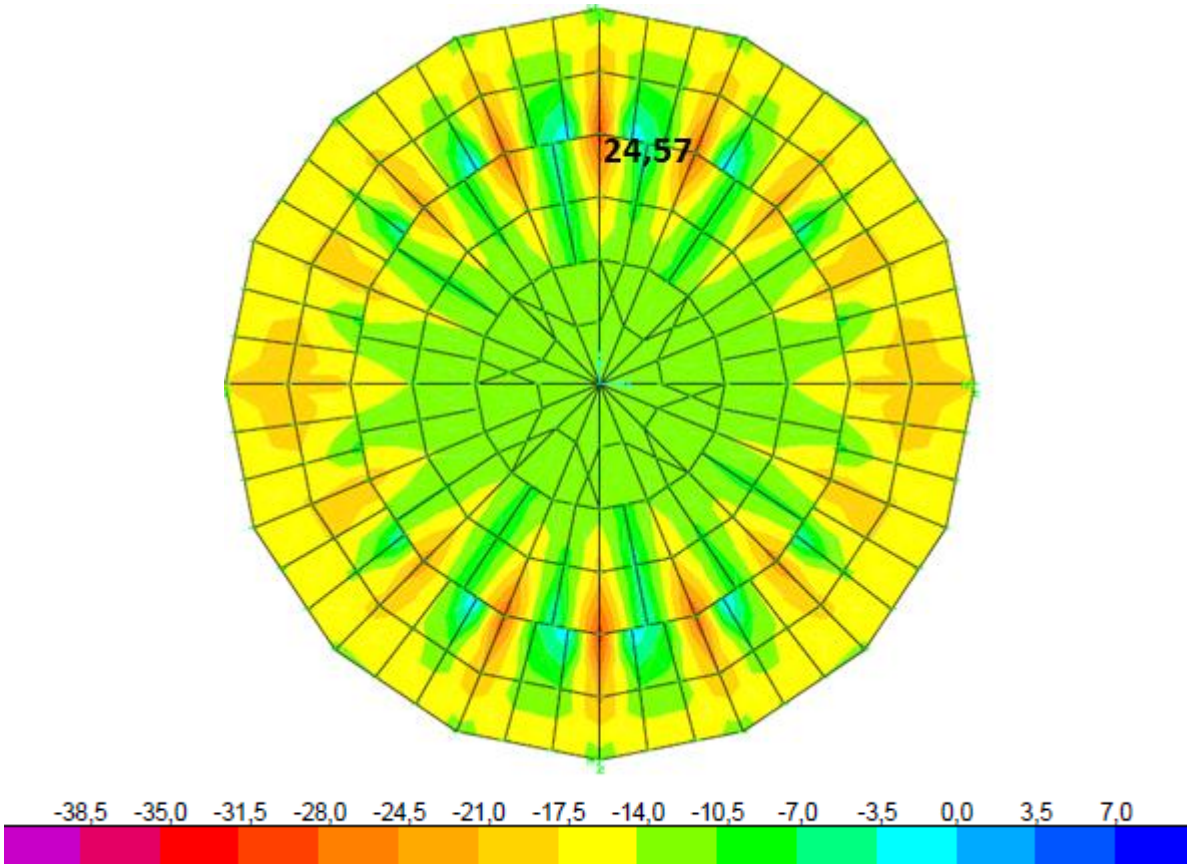


Figura 11 – Esforço normal laje de fundo F22 (kN).

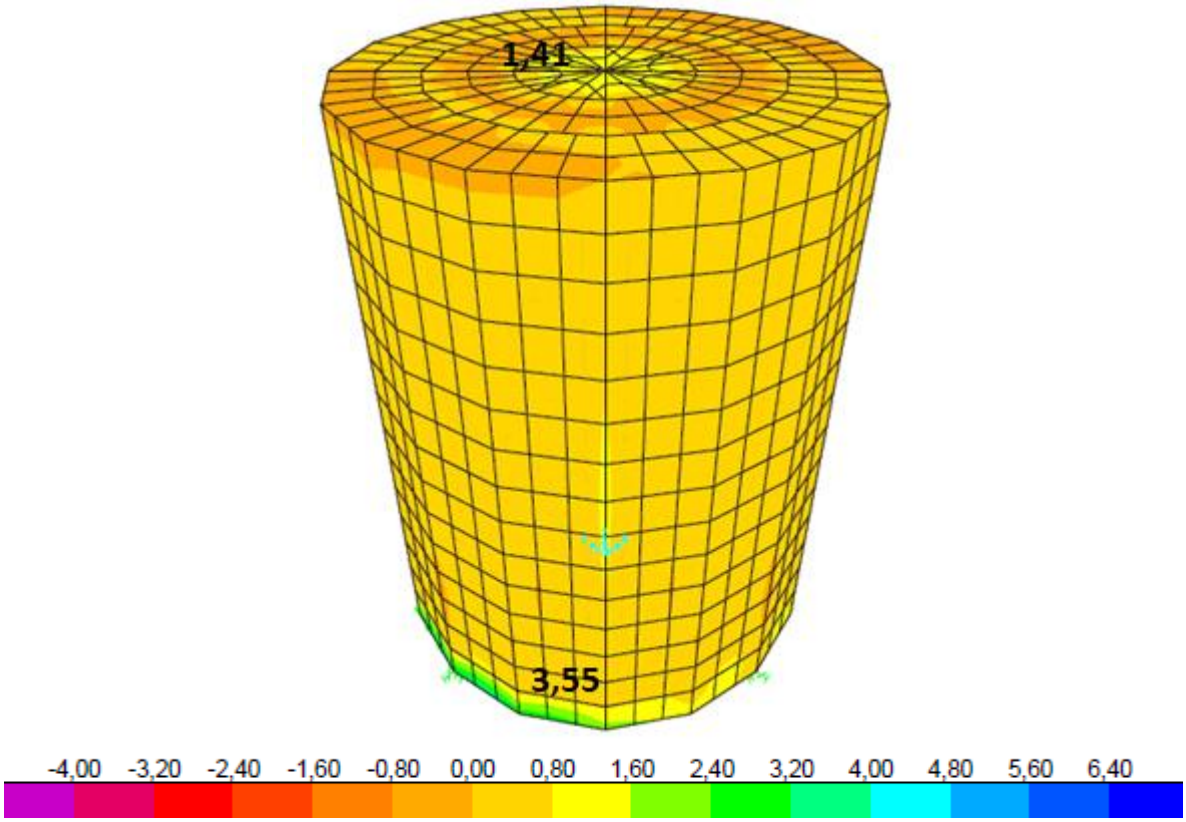


Figura 12 – Flexão paredes M11+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

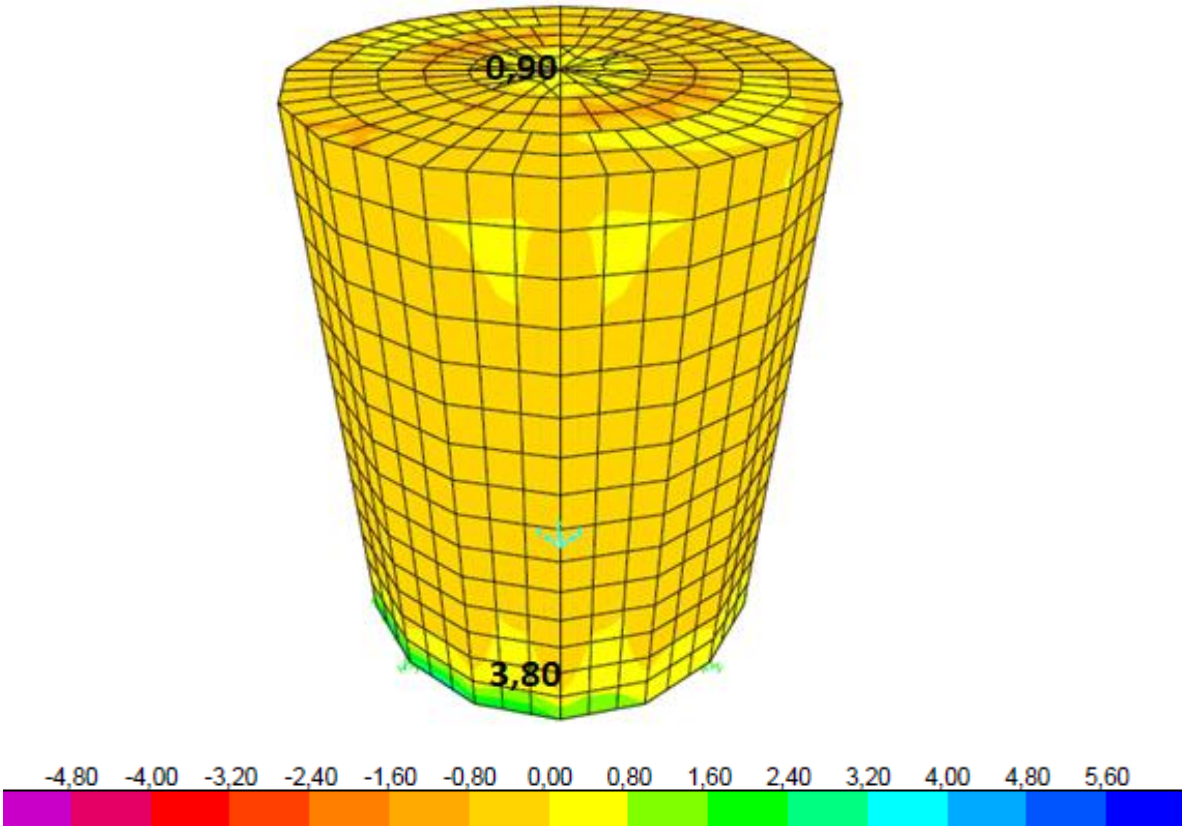


Figura 13 – Flexão paredes M11- (kN.m).

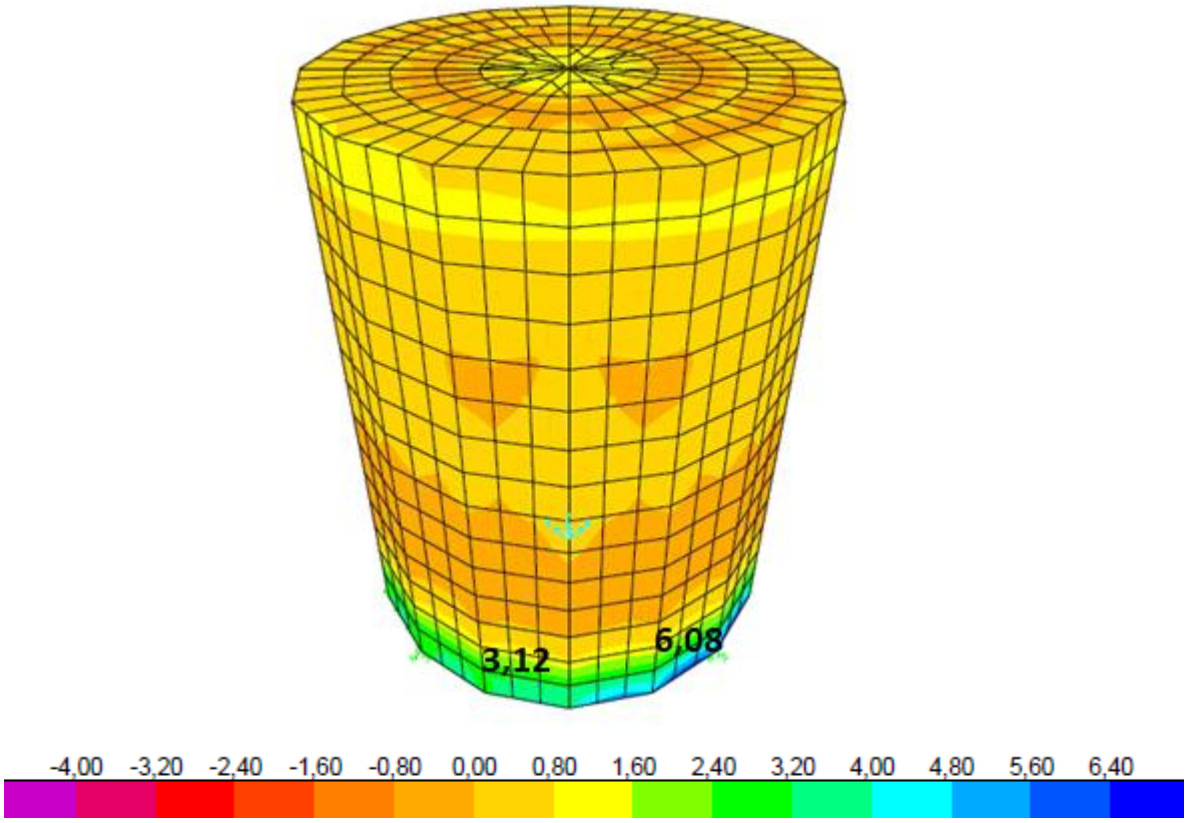


Figura 14 – Flexão paredes M22+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

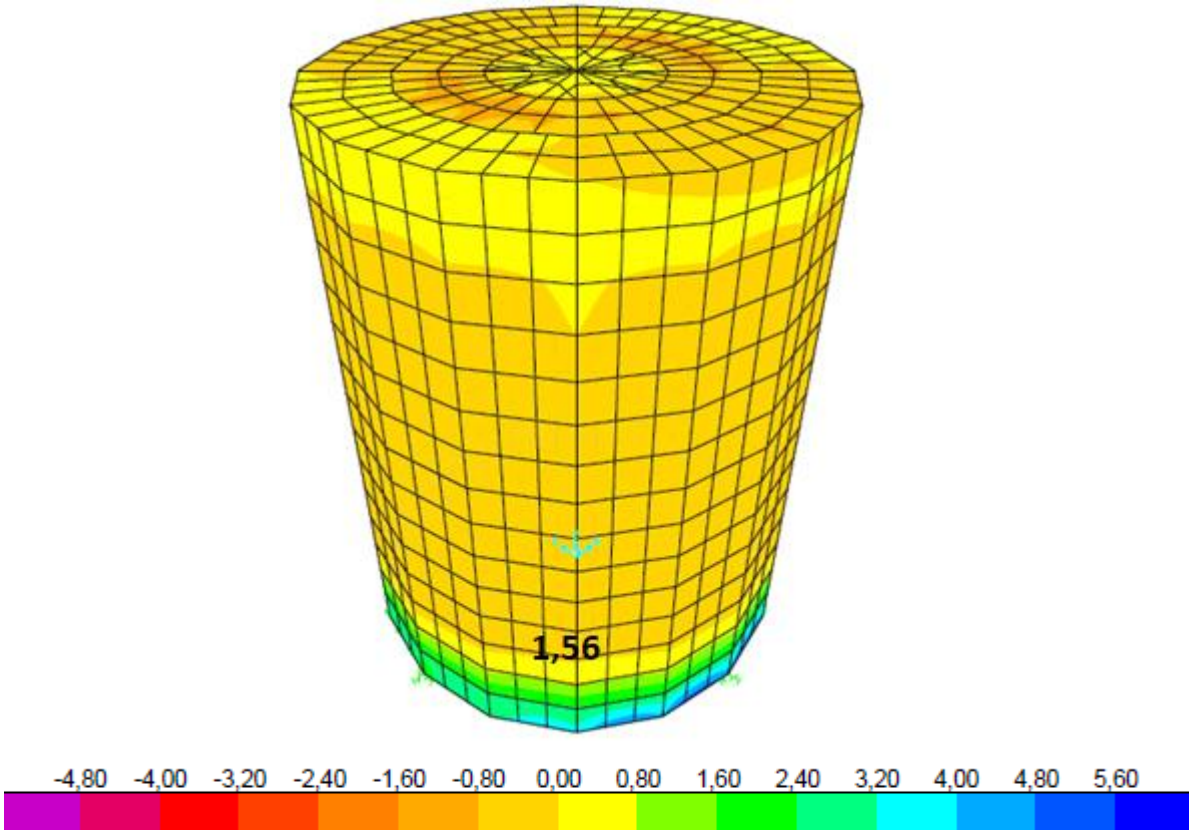


Figura 15 – Flexão paredes M22- (kN.m).

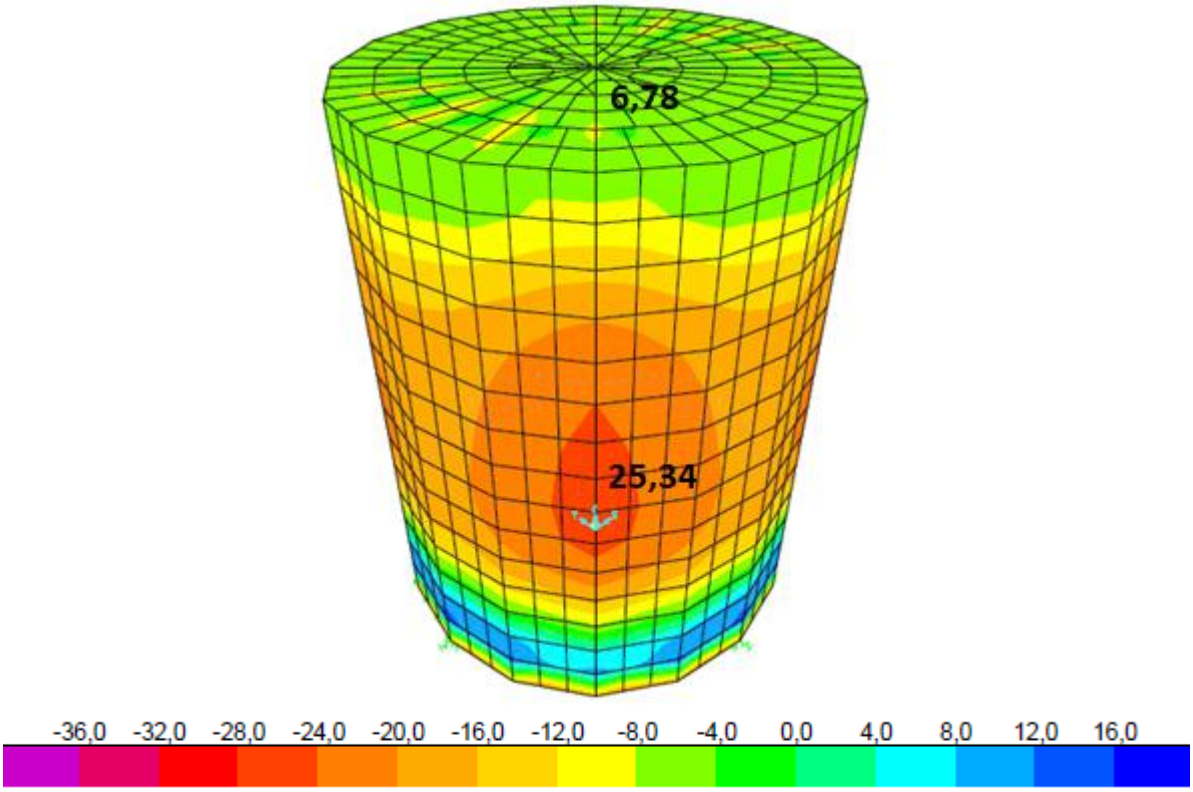


Figura 16 – Esforço normal paredes F11 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

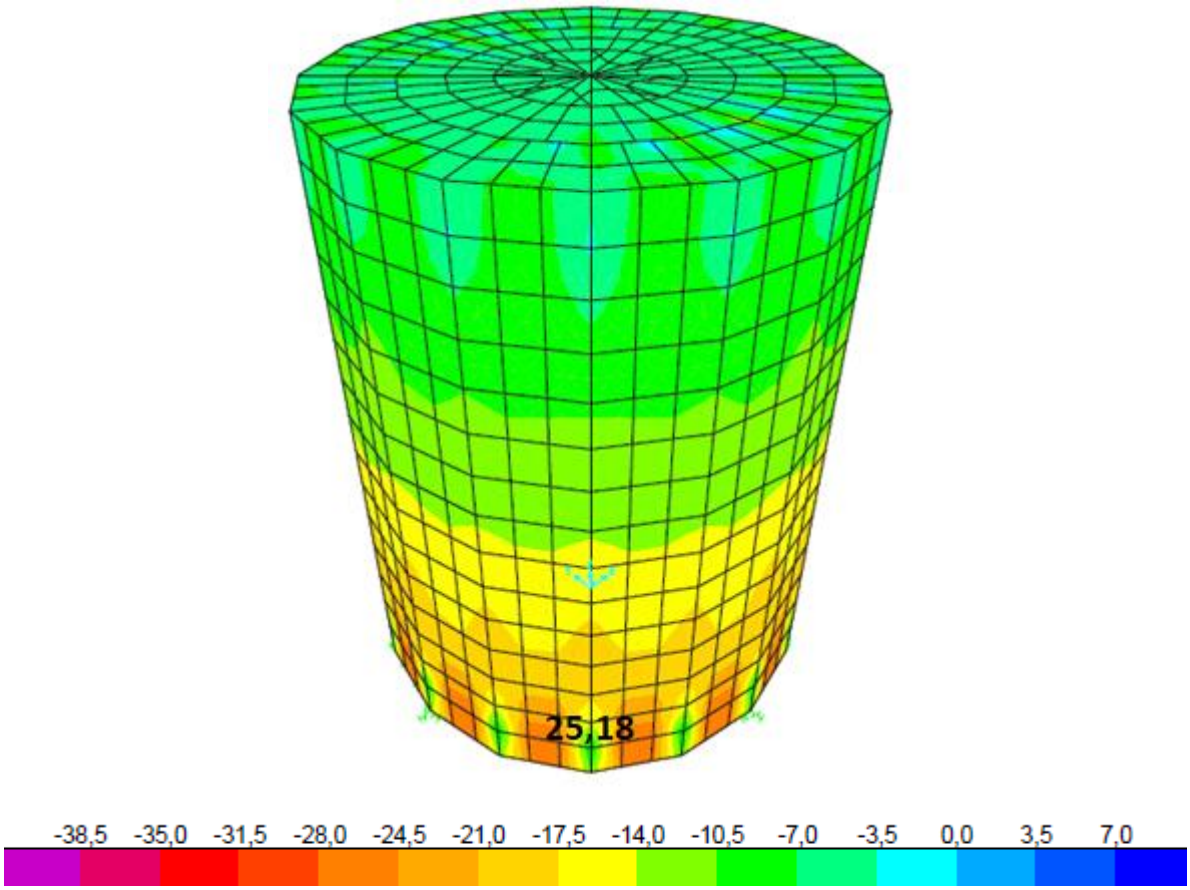


Figura 17 – Esforço normal paredes F22 (kN).

Tabela 3 – Resumo de esforços solicitantes máximos.

Estrutura	Seção	Flexão (kNm)				Engaste (kNm)		Normal (kN)	
	(cm)	M11-	M11+	M22-	M22+	M11	M22	F22	F22
Laje Fundo	20	4,70	4,18	4,70	4,18	5,60	5,60	24,57	24,57
Laje Superior	20	0,90	1,41	0,90	1,41	-	-	6,78	6,78
Parede	20	3,80	3,55	1,56	3,12	-	6,08	25,34	25,18

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

3.3. Dimensionamento das armaduras

3.3.1. Laje de fundo h=20cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - POÇO SUCÇÃO - LF20

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
LF20	M11-	20	15	470	2457	50	0,00	1,41	3,16	0,022	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M11+	20	15	418	2457	50	0,00	1,30	3,16	0,018	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M22-	20	15	470	2457	50	0,00	1,41	3,16	0,022	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M22+	20	15	418	2457	50	0,00	1,30	3,16	0,018	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M11	20	15	560	2457	50	0,00	1,61	3,16	0,028	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M22	20	15	560	2457	50	0,00	1,61	3,16	0,028	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 3{,}16\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y Ø8,0 $c/15 = 3{,}33\ cm^2/m >\ As_{calc}\ (ok)$

3.3.2. Laje superior h=20cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - POÇO SUCÇÃO - LS20

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
LS20	M11-	20	15	90	678	50	0,00	0,30	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LS20	M11+	20	15	141	678	50	0,00	0,41	3,16	0,002	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LS20	M22-	20	15	90	678	50	0,00	0,30	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LS20	M22+	20	15	141	678	50	0,00	0,41	3,16	0,002	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M11	20	15	1	678	50	0,00	0,11	3,16	0,000	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M22	20	15	1	678	50	0,00	0,11	3,16	0,000	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 3{,}16\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y Ø8,0 $c/15 = 3{,}33\ cm^2/m >\ As_{calc}\ (ok)$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

3.3.3. Paredes e=20cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - POÇO SUCÇÃO - PAR20

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
PAR20	M11-	20	15	380	2534	50	0,00	1,23	3,16	0,017	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
PAR20	M11+	20	15	355	2534	50	0,00	1,17	3,16	0,015	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
PAR20	M22-	20	15	156	2518	50	0,00	0,74	3,16	0,006	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
PAR20	M22+	20	15	312	2518	50	0,00	1,08	3,16	0,013	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M11	20	15	1	1	50	0,00	0,00	3,16	0,000	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M22	20	15	608	2518	50	0,00	1,72	3,16	0,032	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 3{,}16\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y $\emptyset 8{,}0\ c/15 = 3{,}33\ cm^2/m >\ As_{cal}\ (ok)$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

4. DIMENSIONAMENTO – PRÉ-TRATAMENTO

4.1. Modelagem estrutural

O pré-tratamento é uma estrutura prismática cilindrica enterrada (Figura 18).

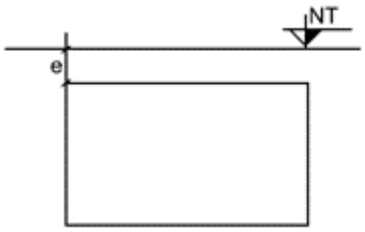


Figura 18 – Posicionamento em relação ao solo.

Para dimensionamento foi considerado as lajes de fundo engastadas nas paredes. As paredes serão submetidas à atuação da força hidrostática correspondente a altura interna total e o empuxo do solo na parte externa que se encontra enterrado.

A laje de fundo atua como fundações, em função disto, estrutura foi cálculdada associando a um meio elástico. Para a interação solo estrutura o coeficiente de recalque vertical será determinado pela relação empírica de Alonso (1943), Teixeira e Godoy (1996).

$$s = 0.2SPT_{médio\ (kgf/cm^2)}$$

Conforme furo SP-02 temos na camada de apoio $N_{SPT} = 3$. Conforme Alonso (1946) temos:

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{5} = \frac{3}{5} = 0{,}60\ kgf/cm^2$$

Utilizando a tabela de Morrison (1993) temos

Para $\sigma_{adm} = 0{,}60\ kgf/cm^2$ temos $Kv = 1{,}48\ kgf/cm^3$

Na estrutura atuam esforços de Esforço Normal e flexão.

A modelagem estrutural foi feita no software SAP-2000 (Figura 29 e Figura 3) considerando os parâmetros apresentados no item 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

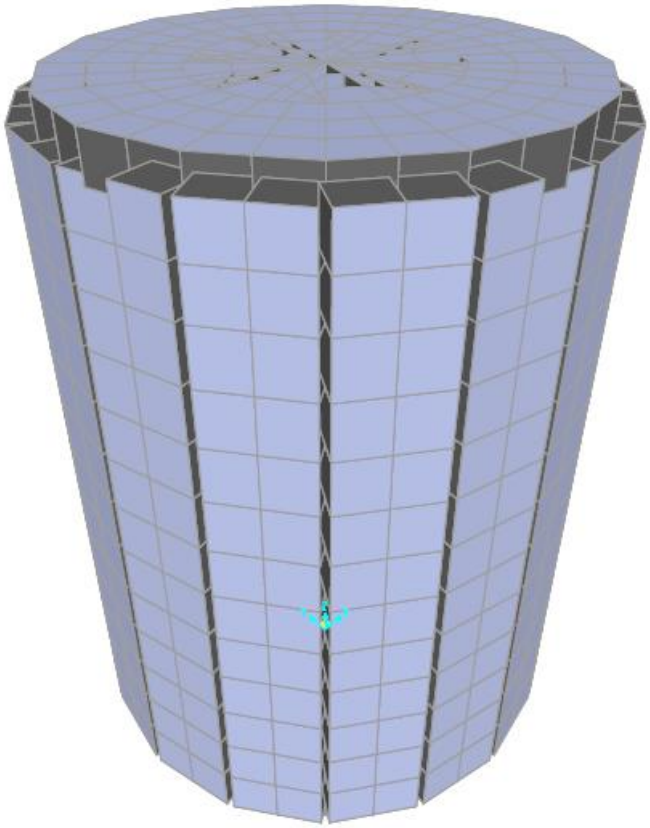


Figura 19 – Modelo estrutural 3D – Vista 1.

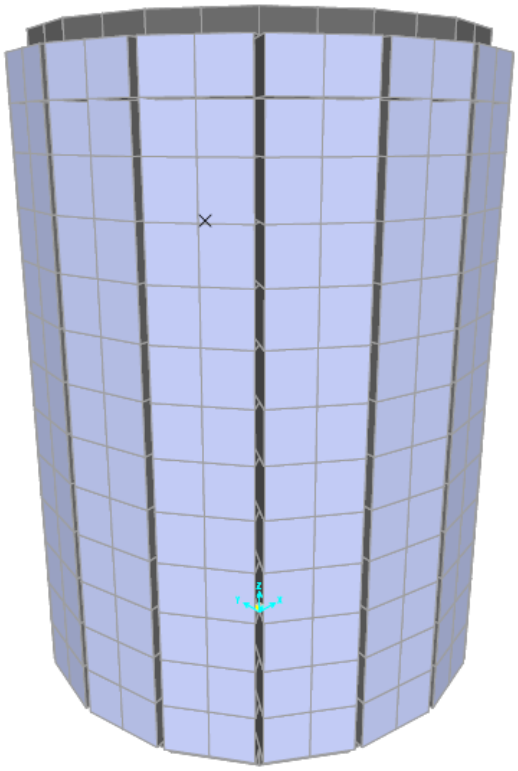


Figura 20 – Modelo estrutural 3D – Vista 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

4.1.1. Carregamento

A Figura 21 apresenta as cargas aplicadas no pré-tratamento.

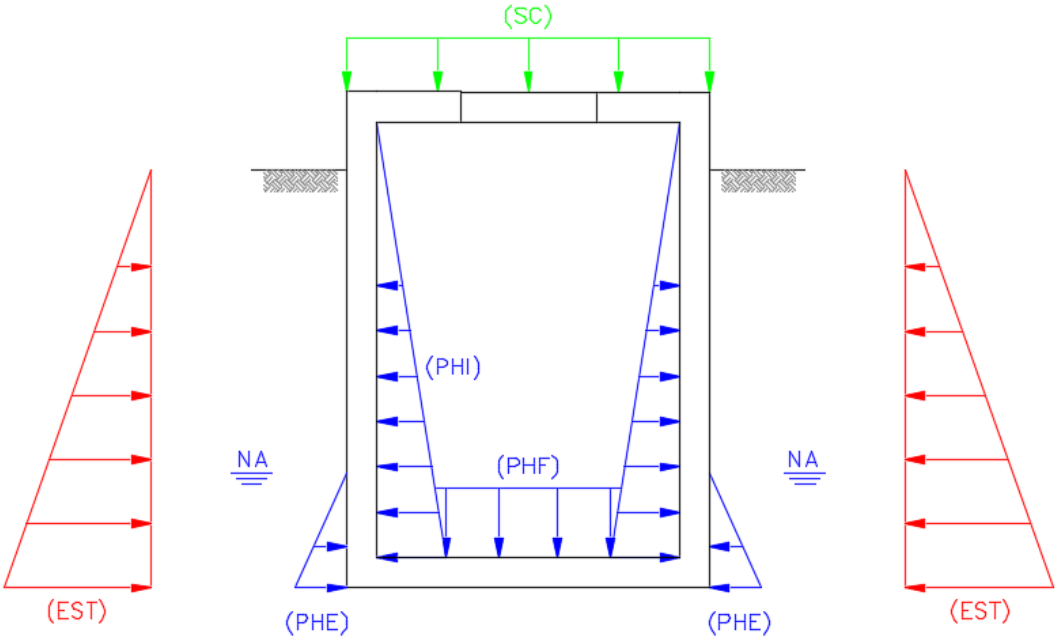


Figura 21 – Cargas aplicadas.

Os carregamentos utilizados no dimensionamento foram:

a) Peso próprio (PP)

Gerado eletronicamente pelo programa.

b) Carga permanente laje de fundo (CP):

Enchimento

Argamassa $= 0{,}35x22 = 7{,}70\ kN/m^2$.

c) Sobrecarga (SC):

Sobrecarga na superfície de $2{,}00\ \ kN/m^2$

d) Pressão hidrostática na laje de fundo (PHF):

$P_{agua} = 2{,}21x\ 10 = 22{,}10\ \ kN/m^2$.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

e) Pressão hidrostática na face interna das paredes (PHI):

Carga triangular máxima $P_{agua} = \gamma_{agua}.h = 2{,}21x\ 10 = 22{,}10\ \ kN/m^2$

f) Pressão hidrostática na face externa das paredes (PHE):

Carga triangular máxima $P_{agua} = \gamma_{agua}.h = 10{,}00x0{,}75 = 7{,}50\ kN/m^2$

g) Empuxo externo (solo) (EXT):

Carga triangular máxima $P_{solo} = k_{solo}\gamma_t.h = 0{,}5\text{x}18{,}00x2{,}76 = 24{,}84\ kN/m^2$.

4.1.2. Combinações

Foram elaboradas 64 combinações de ações entre todos os carregamentos listados, além de uma combinação envoltória, conforme tabela a seguir.

HIPÓTESE	COMBINAÇÕES
COMB1	PP
COMB2	PP + CP
COMB3	PP + CP + SC
COMB4	PP + CP + SC + PHF
COMB5	PP + CP + SC + PHF + PHI
COMB6	PP + CP + SC + PHF + PHI + PHE
COMB7	PP + CP + SC + PHF + PHI + PHE + EST
COMB8	PP + CP + SC + PHF + PHI + EST
COMB9	PP + CP + SC + PHF + PHE
COMB10	PP + CP + SC + PHF + PHE + EST
COMB11	PP + CP + SC + PHF + EST
COMB12	PP + CP + SC + PHI
COMB13	PP + CP + SC + PHI + PHE
COMB14	PP + CP + SC + PHI + PHE + EST
COMB15	PP + CP + SC + PHI + EST
COMB16	PP + CP + SC + PHE
COMB17	PP + CP + SC + PHE + EST
COMB18	PP + CP + SC + EST
COMB19	PP + CP + PHF
COMB20	PP + CP + PHF + PHI
COMB21	PP + CP + PHF + PHI + PHE
COMB22	PP + CP + PHF + PHI + PHE + EST
COMB23	PP + CP + PHF + PHI + EST
COMB24	PP + CP + PHF + PHE
COMB25	PP + CP + PHF + PHE + EST
COMB26	PP + CP + PHF + EST
COMB27	PP + CP + PHI
COMB28	PP + CP + PHI + PHE

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

COMB29	PP + CP + PHI + PHE + EST
COMB30	PP + CP + PHI + EST
COMB31	PP + CP + PHE
COMB32	PP + CP + PHE + EST
COMB33	PP + CP + EST
COMB34	PP + SC
COMB35	PP + SC + PHF
COMB36	PP + SC + PHF + PHI
COMB37	PP + SC + PHF + PHI + PHE
COMB38	PP + SC + PHF + PHI + PHE + EST
COMB39	PP + SC + PHF + PHI + EST
COMB40	PP + SC + PHF + PHE
COMB41	PP + SC + PHF + PHE + EST
COMB42	PP + SC + PHF + EST
COMB43	PP + SC + PHI
COMB44	PP + SC + PHI + PHE
COMB45	PP + SC + PHI + PHE + EST
COMB46	PP + SC + PHI + EST
COMB47	PP + SC + PHE
COMB48	PP + SC + PHE + EST
COMB49	PP + SC + EST
COMB50	PP + PHF
COMB51	PP + PHF + PHI
COMB52	PP + PHF + PHI + PHE
COMB53	PP + PHF + PHI + PHE + EST
COMB54	PP + PHF + PHI + EST
COMB55	PP + PHF + PHE
COMB56	PP + PHF + PHE + EST
COMB57	PP + PHF + EST
COMB58	PP + PHI
COMB59	PP + PHI + PHE
COMB60	PP + PHI + PHE + EST
COMB61	PP + PHI + EST
COMB62	PP + PHE
COMB63	PP + PHE + EST
COMB64	PP + EST
ENVELOPE	ENVOLTORIA

Foi elaborado também uma combinação ENVOLTORIA, logo o software analisa o pior cenário. Mas, será destacado a seguir o pior cenário considerado para cada análise:

a) Estabilidade da estrutura

Pior cenário é a COMB4 (PP+CP+SC+PHF).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

b) Esforços solicitantes

b.1) Laje de fundo

Pior cenário é a COMB2 (PP+CP).

b.2) Laje superior

Pior cenário é a COMB34 (PP+SC)

b.3) Paredes

Pior cenário é a COMB63 (PP+PHE+EST)

4.2. Resultados da modelagem estrutural

4.2.1. Estabilidade da estrutura

A Figura 522 apresenta o diagrama de deformação da laje de fundo.

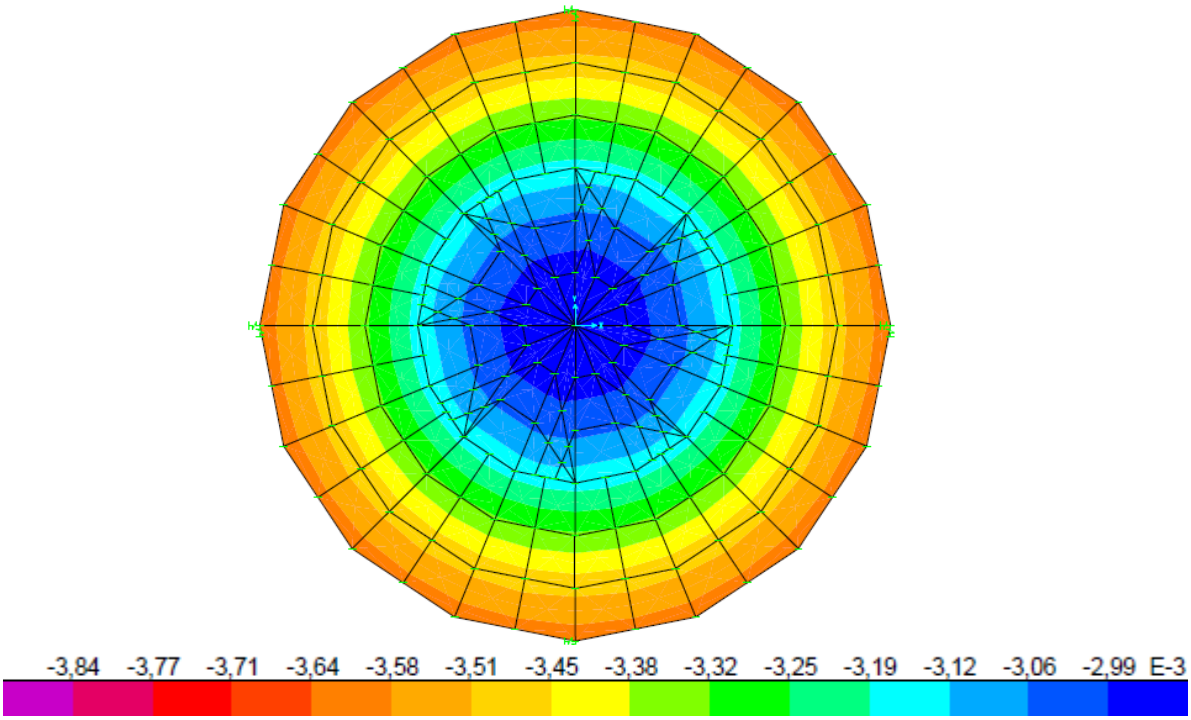


Figura 22 – Diagrama de deformação laje de fundo (m).

A tabela a seguir apresenta os deslocamentos máximos.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
448	COMB4	Combination	0,000030	-0,000021	-0,003382	0,000034	0,000048	0,000006
448	COMB4	Combination	0,000030	-0,000021	-0,003382	0,000034	0,000048	0,000006
492	COMB4	Combination	0,000000	-0,000033	-0,003382	0,000048	0,000000	0,000000
492	COMB4	Combination	0,000000	-0,000033	-0,003382	0,000048	0,000000	0,000000
492	COMB4	Combination	0,000000	-0,000033	-0,003382	0,000048	0,000000	0,000000
492	COMB4	Combination	0,000000	-0,000033	-0,003382	0,000048	0,000000	0,000000

a) Verificação da tensão no solo será:

Conforme item Tabela 1 $k_V = 14.800{,}00\ kN/m^3$. Aplicando a lei de Hooke, a tensão no solo será o produto da deformação máxima com o coeficiente de recalque vertical, logo.

$\sigma_{solo} = \delta x k_V = 0{,}003382x14.800 = 50{,}05\ kN/m^2 = 0{,}51\ kgf/cm^2 \leq 0{,}60\ kgf/cm^2$ (ok)

b) Verificação do deslizamento e tombamento

A verificação do tombamento e deslizamento será determinada conforme Montoya (1973). Para a verificação de estabilidade foram considerados os somatórios de forças horizontais e verticais de todas as combinações possíveis.

Pior Combinação para o Deslizamento =	COMB4	
Fx (Somatória de forças horizontais em x) =	0,00	tf
Fy (Somatória de forças horizontais em y) =	0,02	tf
F_H Resultante de Forças Horizontais =	0,02	
Fz (Somatória de forças verticais) =	3,69	tf
ϕ (Ângulo de atrito interno do solo) =	30	º
Σ N x tg (2ϕ / 3) / F_H >= 1,5	**63,90**	Ok

Logo todas verificações de estabilidade foram atendidas as fundações serão do tipo direta.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

4.2.2. Verificação da flutuabilidade

Conforme boletim de sondagem SP-02 o nível do lençol freático está a 2,00 m de profundidade. A campanha de sondagem foi realizada no período de fevereiro e março, que corresponde ao período chuvoso. Logo o lençol se encontra na cota máxima.

Conforme projeto hidráulico o fundo da caixa de descarga está a 2,76 m de profundidade.

Para que a estrutura não flutue o peso da estrutura deverá ser maior que o empuxo de água. Conforme bibliografia recomenda-se um fator de segurança de 20%, logo a verificação deverá atender a relação abaixo.

$$\frac{P_{est}}{E_{agua}} > 1{,}20$$

O peso da estrutura será determinado através do produto entre o volume de concreto e o peso específico.

$$P_{est} = V_{concreto} x \gamma_{concreto}$$

O empuxo de água equivale ao peso do volume de água deslocado. Será calculado pela equação:

$$E_{agua} = A_{estrutura} x h_{agua} x \gamma_{agua}$$

a) Cálculo do Empuxo de Água

O empuxo será determina por;

$E_{agua} = A_{caixa} x h_{agua} x \gamma_{agua}$

$A_{poço} = \frac{\pi x 2{,}4^2}{4} = 4{,}52\ m^2$

$E_{agua} = 4{,}52 x 0{,}76 x 10{,}00 = 34{,}38$ kN

a) Peso da Estrutura

Será considerado para o concreto o peso especifico de $25\ kN/m^3$

$V_{concreto} = 5{,}80\ m^3$

$P_{est} = 5{,}80\text{x}25 = 145{,}00\ kN$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

b) Verificação da Flutuabilidade

Para que a estrutura não flutue, a relação a seguir deverá ser atendida.

$$\frac{P_{est}}{E_{agua}} > 1{,}20$$

$$\frac{145{,}00}{34{,}38} = 4{,}22 > 1{,}20$$

Logo concluímos que a estrutura não irá flutuar.

4.2.3. Esforços solicitantes

As figuras a seguir apresentam os esforços solicitantes.

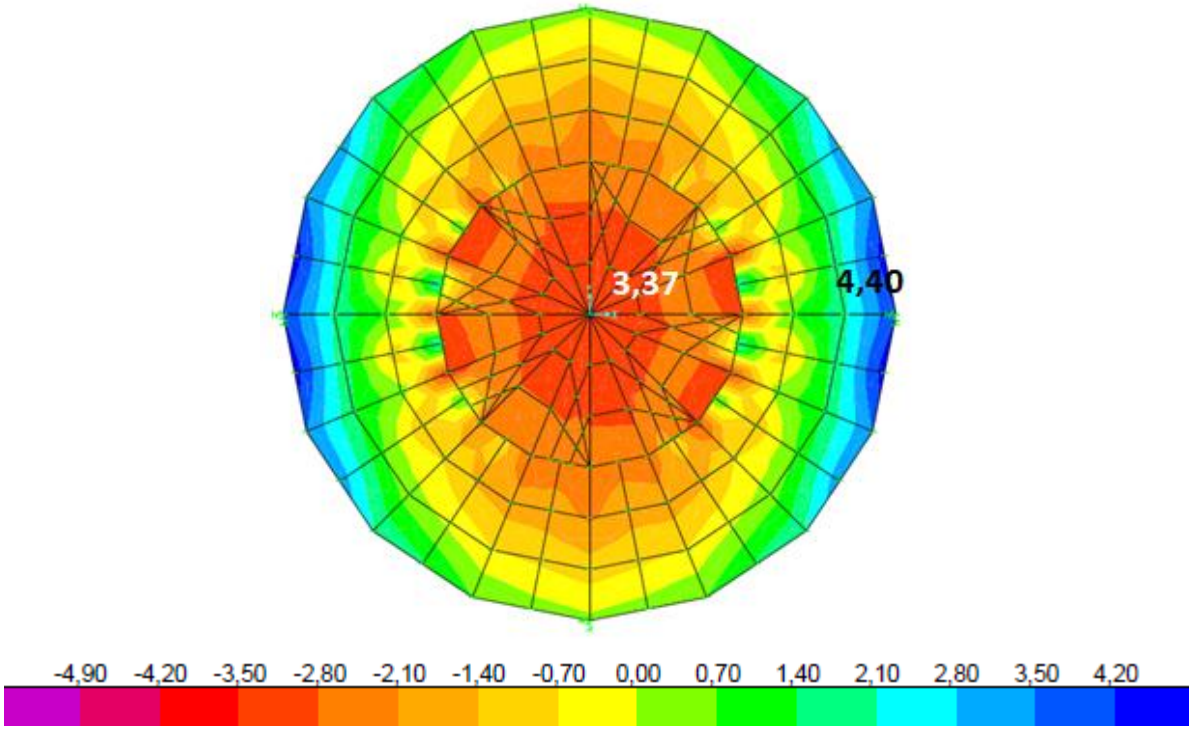


Figura 23 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

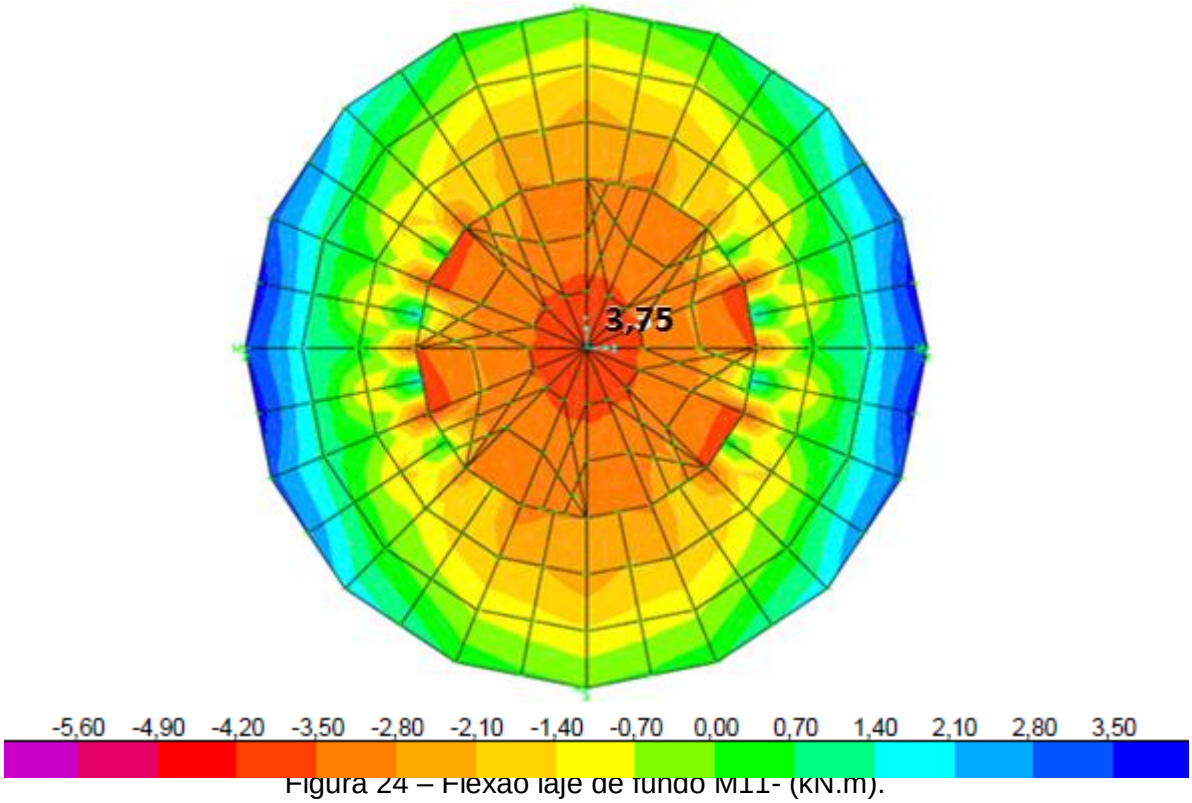


Figura 24 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m).

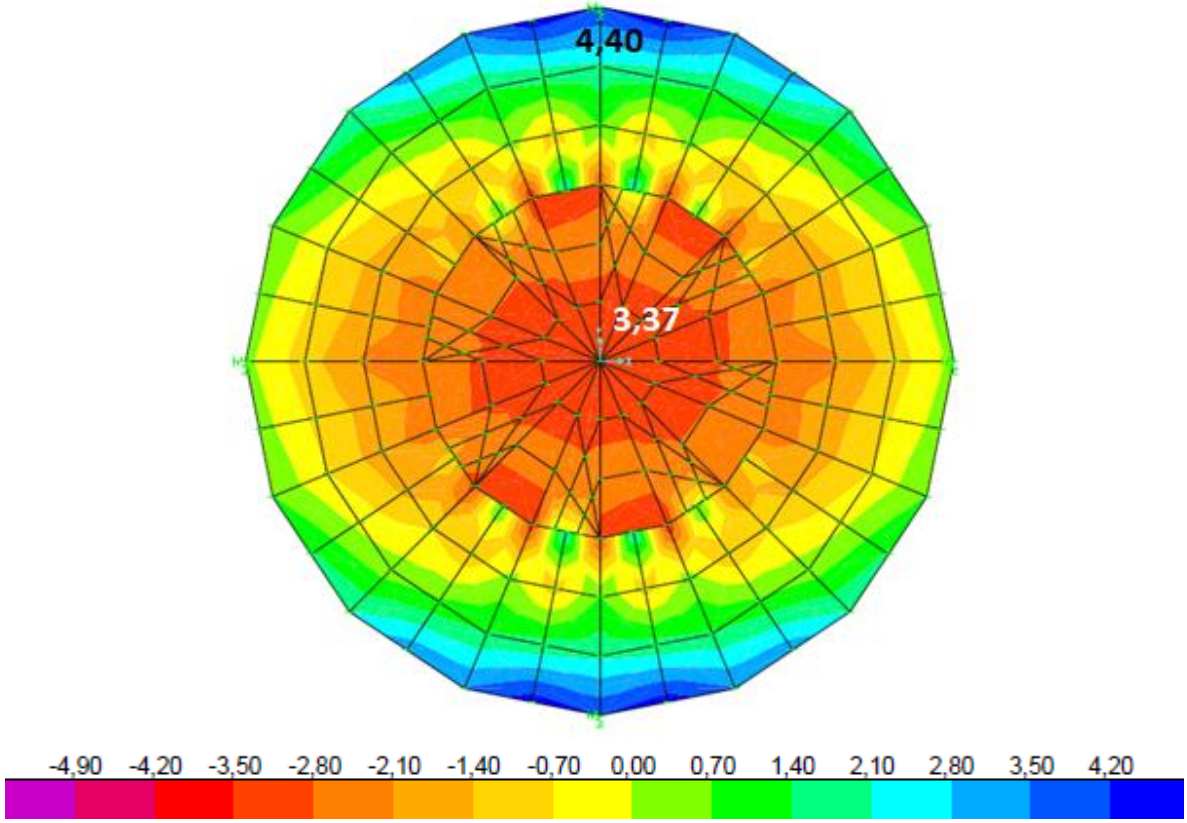


Figura 25 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

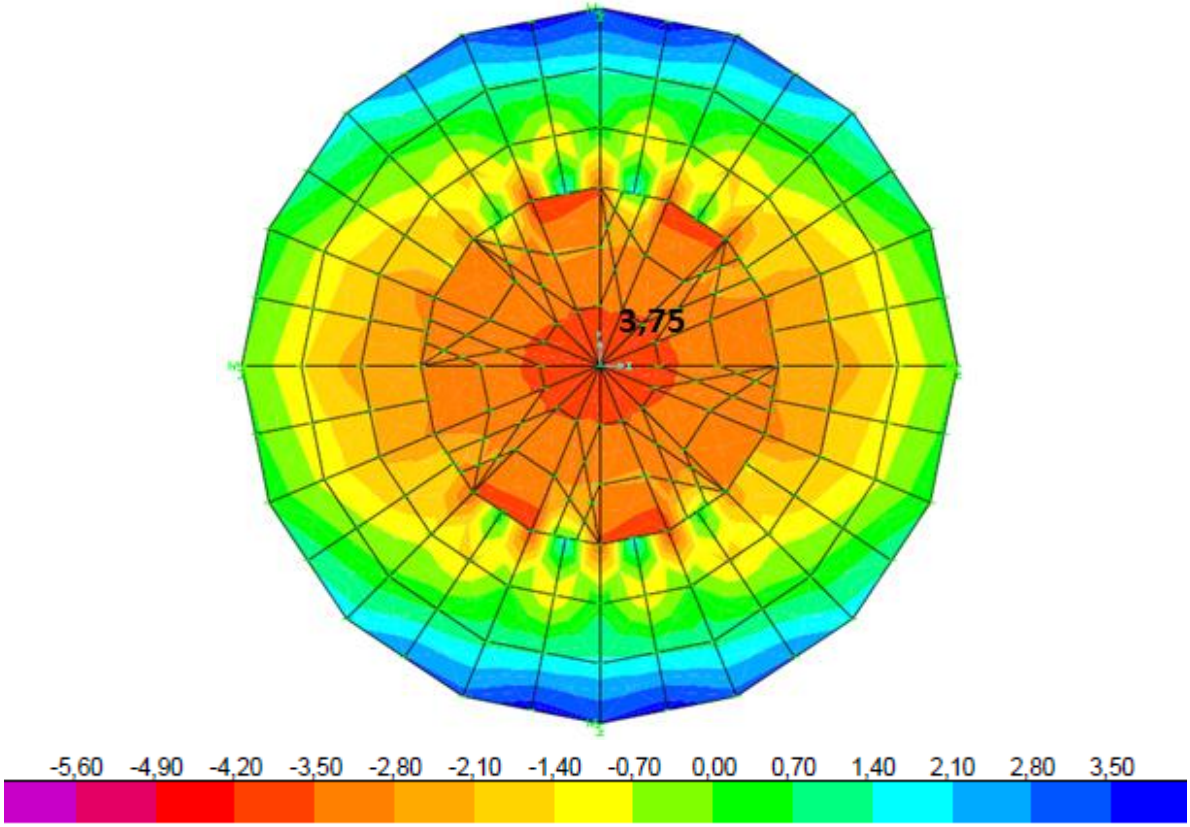


Figura 26 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m).

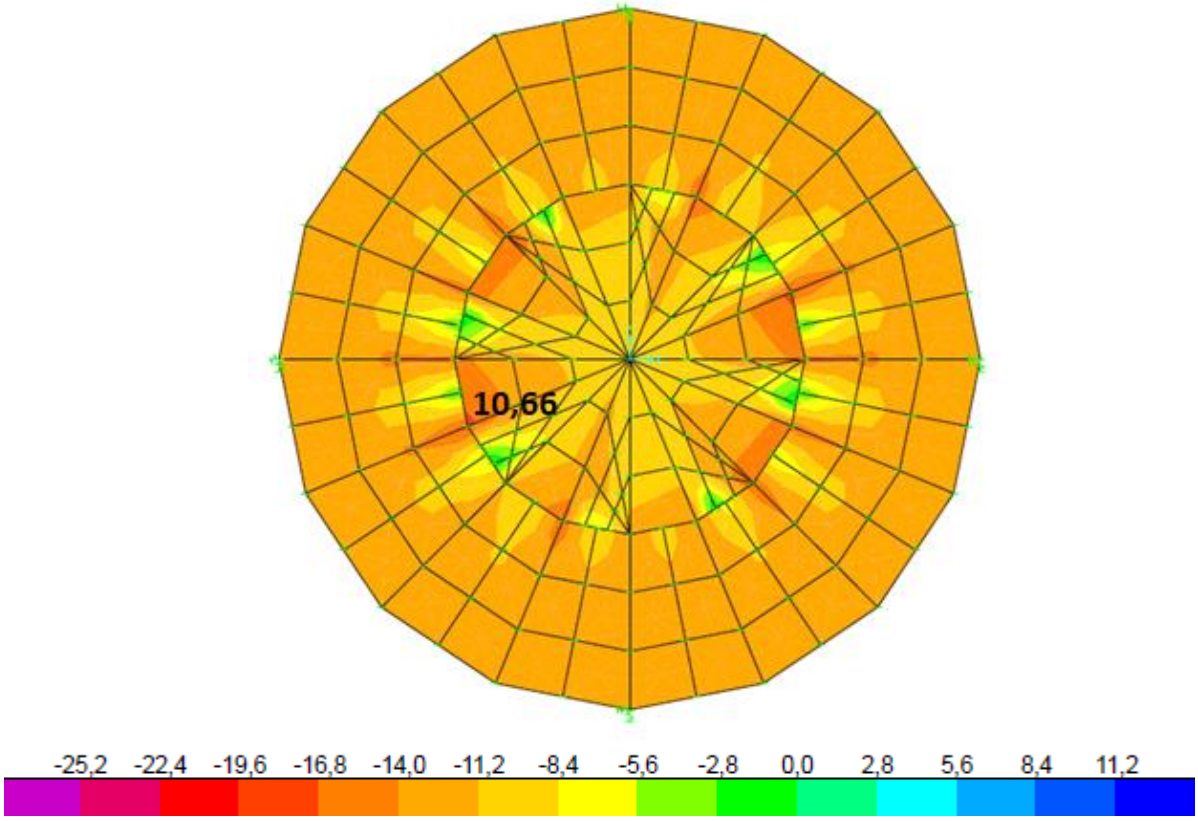


Figura 27 – Esforço Normal laje de fundo F11 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

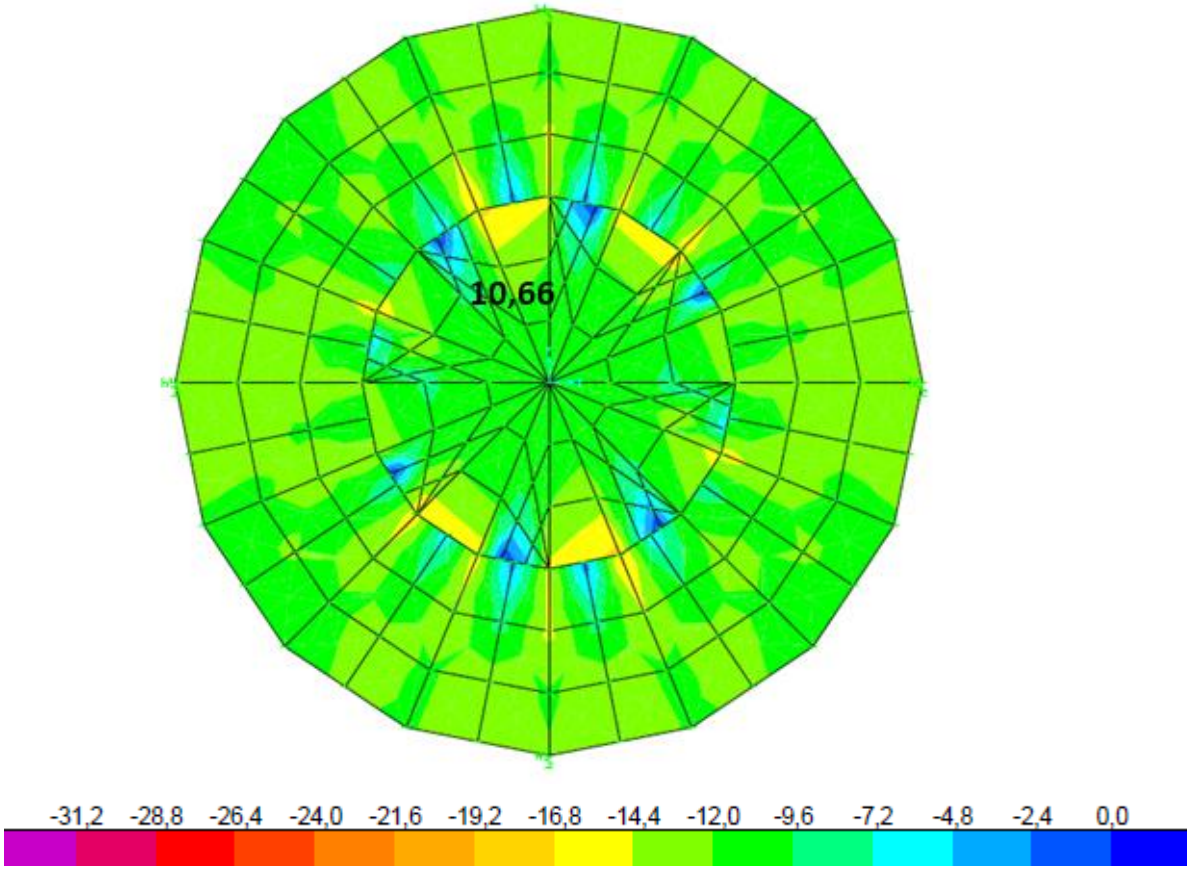


Figura 28 – Esforço Normal laje de fundo F22 (kN).

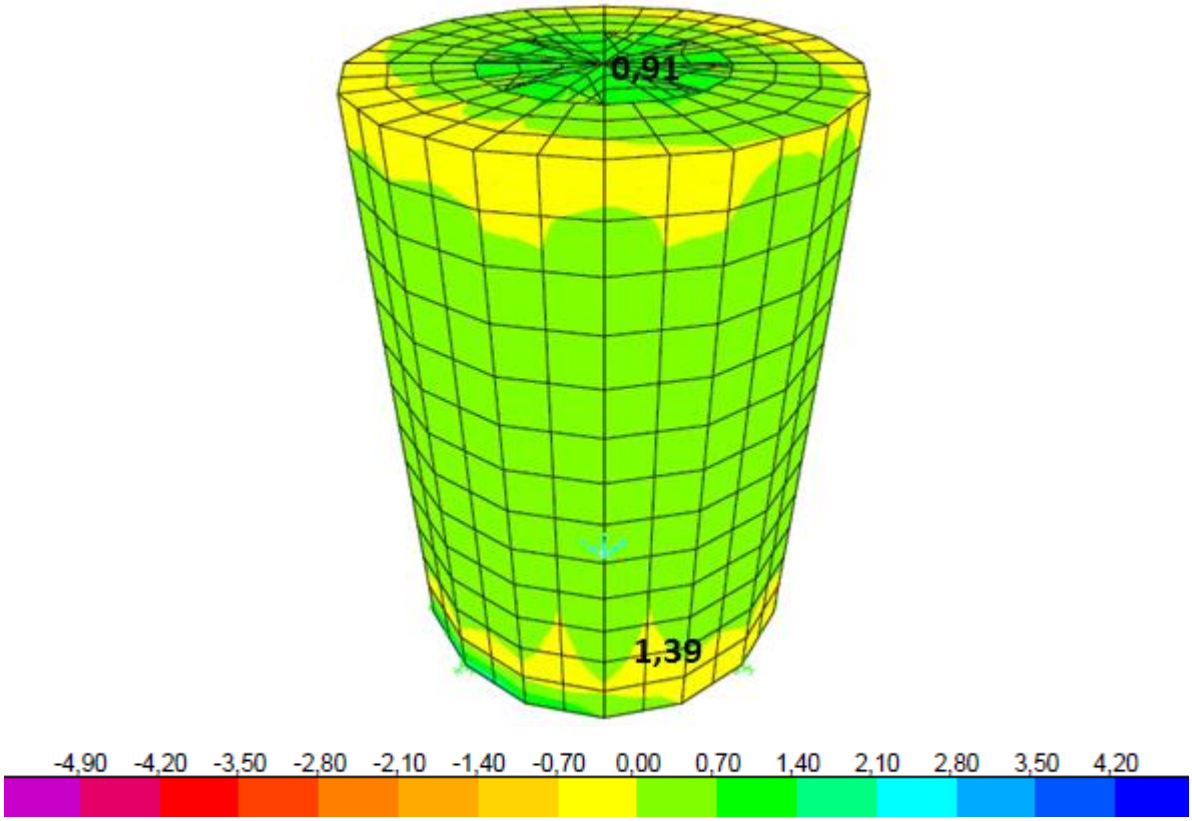


Figura 29 – Flexão paredes M11+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

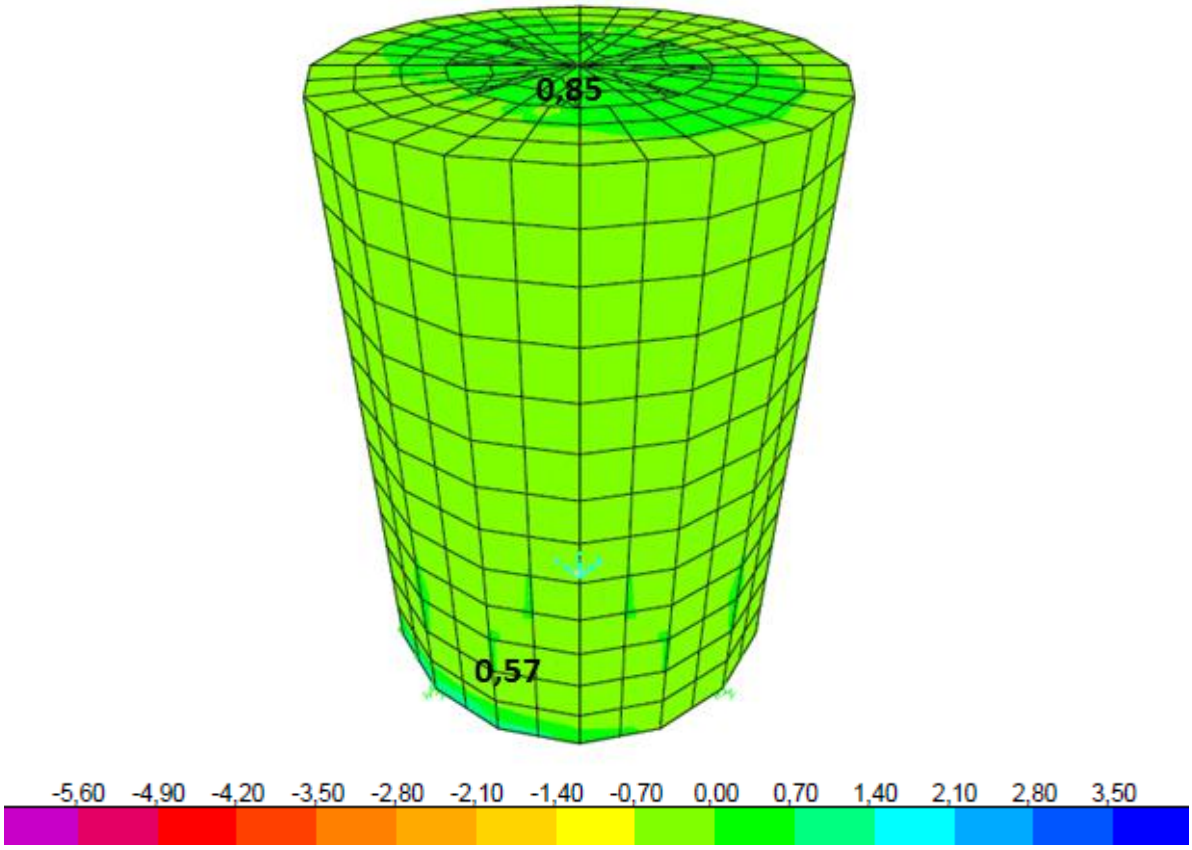


Figura 30 – Flexão paredes M11- (kN.m).

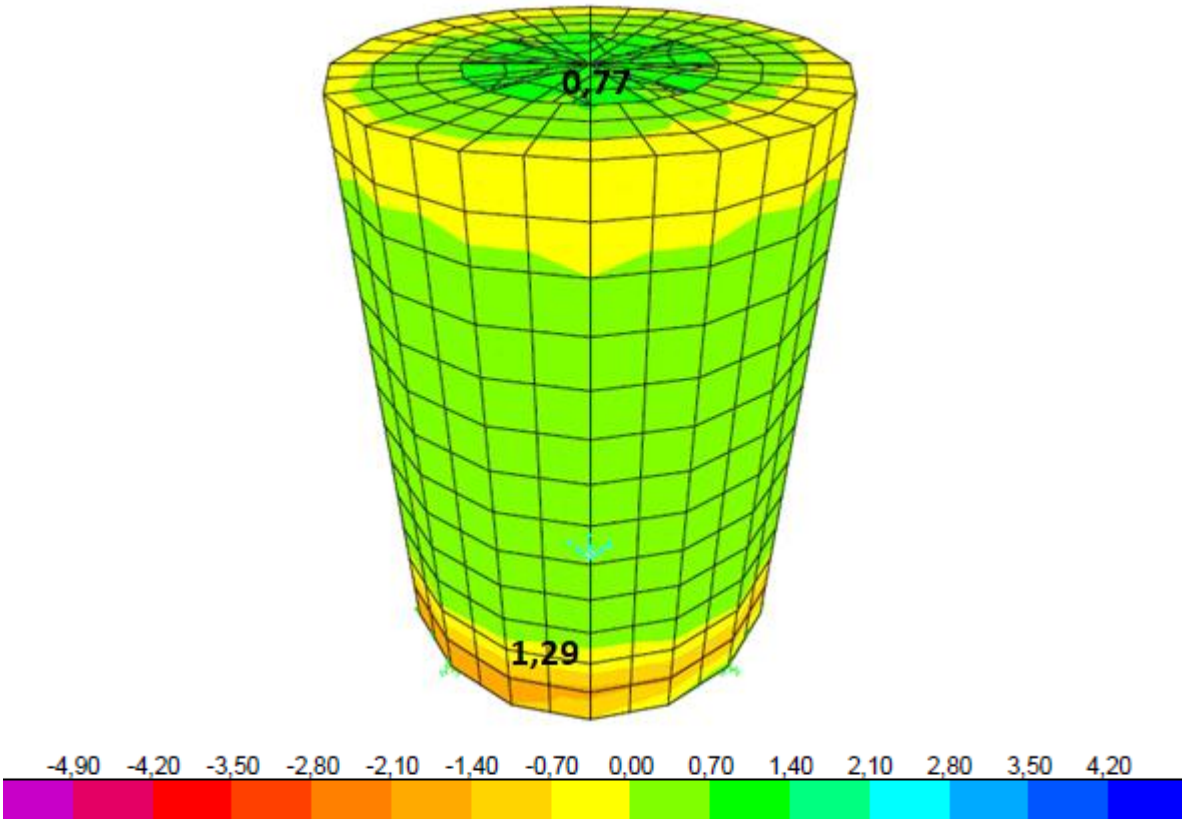


Figura 31 – Flexão paredes M22+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

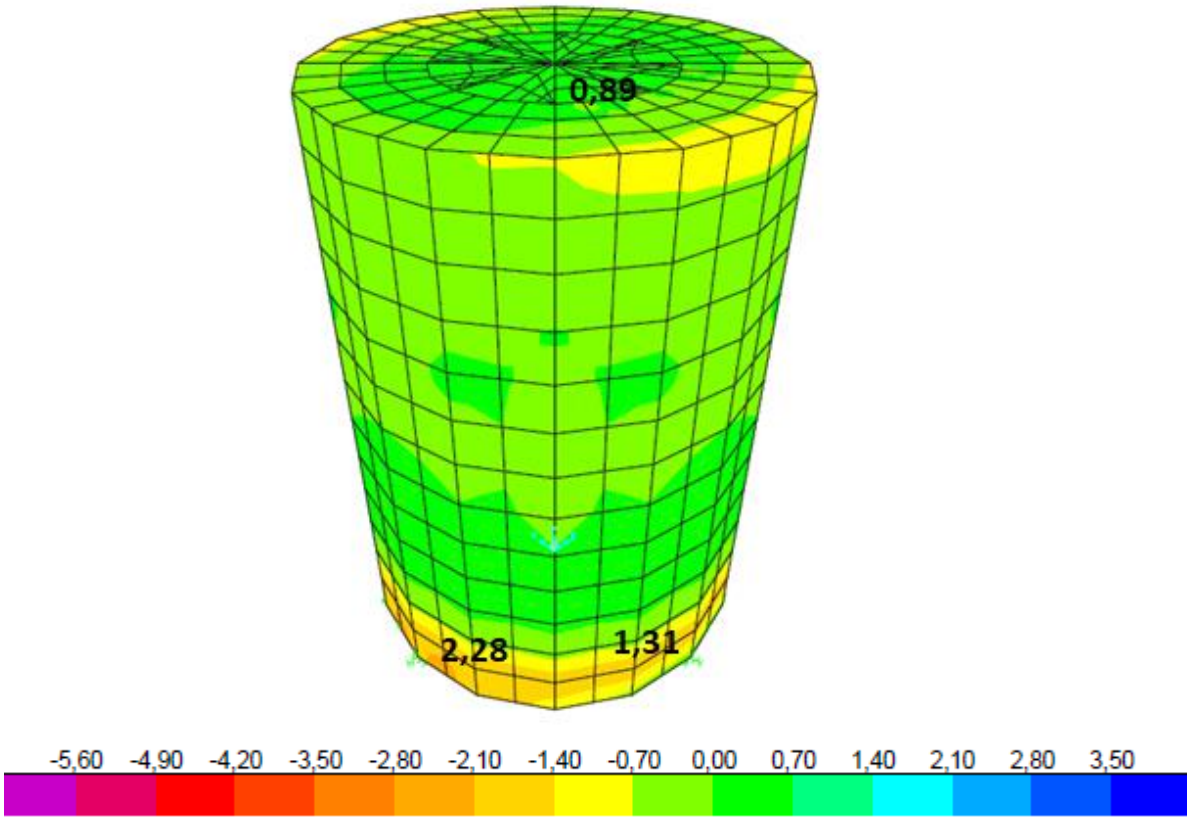


Figura 32 – Flexão paredes M22- (kN.m).

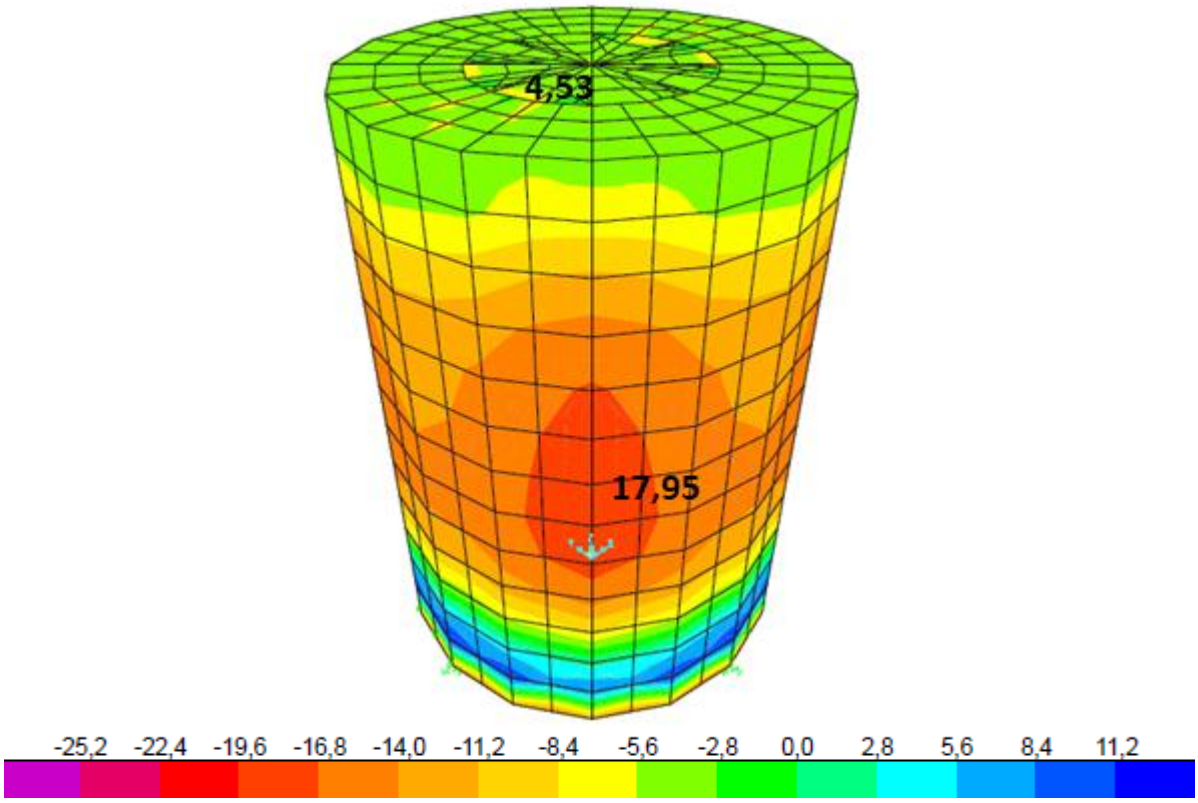


Figura 33 – Esforço Normal paredes F11 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

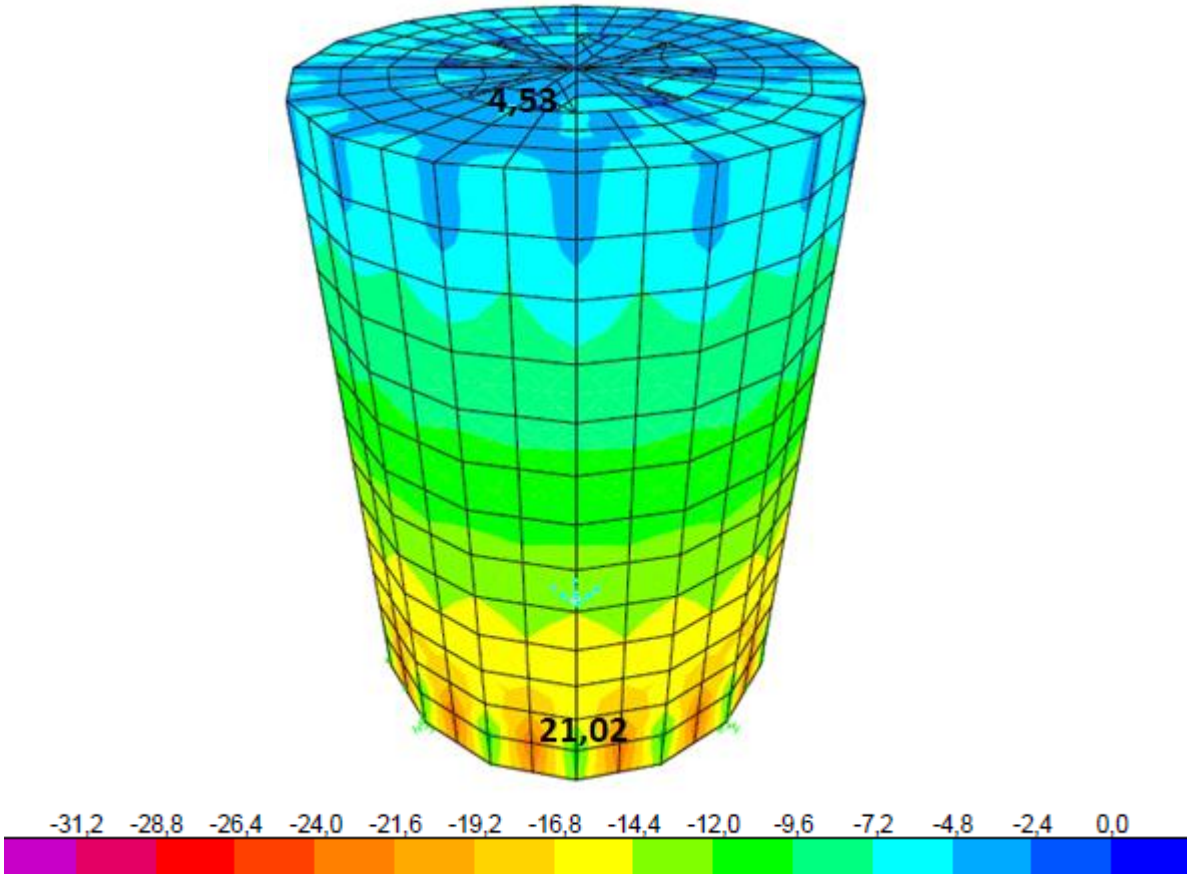


Figura 34 – Esforço Normal paredes F22 (kN).

Tabela 4 – Resumo de esforços solicitantes máximos.

Estrutura	Seção (cm)	Flexão (kNm)				Engaste (kNm)		Esforço Normal (kN)	
		M11-	M11+	M22-	M22+	M11	M22	F22	F22
Laje Fundo	20	3,75	3,37	3,75	3,37	4,40	4,40	10,66	10,66
Laje Superior	20	0,85	0,91	0,89	0,77	-	-	4,53	4,53
Paredes	20	0,57	139	1,31	1,29	-	2,28	17,95	21,02

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

4.3. Dimensionamento das armaduras

4.3.1. Laje de fundo h=20cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - PRÉ-TRATAMENTO - LF20

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
LF20	M11-	20	15	375	1066	50	0,00	0,98	3,16	0,011	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M11+	20	15	337	1066	50	0,00	0,90	3,16	0,009	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M22-	20	15	375	1066	50	0,00	0,98	3,16	0,011	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M22+	20	15	337	1066	50	0,00	0,90	3,16	0,009	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M11	20	15	440	1066	50	0,00	1,12	3,16	0,014	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M22	20	15	440	1066	50	0,00	1,12	3,16	0,014	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 3{,}16\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y Ø8,0 $c/15 = 3{,}33\ cm^2/m >\ As_{calc}\ (ok)$

4.3.2. Laje superior h=20cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - PRÉ-TRATAMENTO - LS20

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
LS20	M11-	20	15	85	453	50	0,00	0,26	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LS20	M11+	20	15	91	453	50	0,00	0,27	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LS20	M22-	20	15	89	453	50	0,00	0,26	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LS20	M22+	20	15	77	453	50	0,00	0,24	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M11	20	15	1	1	50	0,00	0,00	3,16	0,000	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M22	20	15	1	1	50	0,00	0,00	3,16	0,000	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 3{,}16\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y Ø8,0 $c/15 = 3{,}33\ cm^2/m >\ As_{calc}\ (ok)$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

4.3.3. Paredes e=20cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - PRÉ-TRATAMENTO - PAR20

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
PAR20	M11-	20	15	57	1795	50	0,00	0,41	3,16	0,002	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
PAR20	M11+	20	15	139	1795	50	0,00	0,59	3,16	0,004	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
PAR20	M22-	20	15	131	2102	50	0,00	0,62	3,16	0,004	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
PAR20	M22+	20	15	129	2102	50	0,00	0,62	3,16	0,004	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M11	20	15	1	1	50	0,00	0,00	3,16	0,000	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M22	20	15	228	2102	50	0,00	0,83	3,16	0,008	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 3{,}16\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y Ø8,0 $c/15 = 3{,}33\ cm^2/m >\ As_{calc}\ (ok)$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

5. DIMENSIONAMENTO – BIOFILTRO

5.1. Modelagem estrutural

O biofiltro é uma estrutura prismática retangular do tipo apoiada (Figura 35).

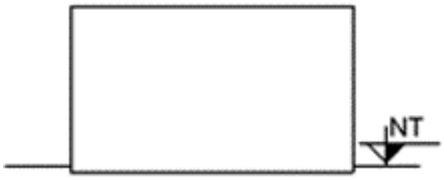


Figura 35 – Posicionamento em relação ao solo.

Para dimensionamento foi considerado as lajes de fundo engastadas nas paredes. As paredes serão submetidas à atuação da força dos materiais filtrantes correspondente a altura interna. A cobertura será em telha ondulada 6x6cm apoiado sobre pilares que apoiam nas paredes.

A laje de fundo atua como fundações, em função disto, estrutura foi cálculdada associando a um meio elástico. Para a interação solo estrutura o coeficiente de recalque vertical será determinado pela relação empírica de Alonso (1943), Teixeira e Godoy (1996).

$$s = 0.2SPT_{médio\ (kgf/cm^2)}$$

Conforme furo SP-02 temos na camada de apoio $N_{SPT} = 3$. Conforme Alonso (1946) temos:

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{5} = \frac{3}{5} = 0{,}60\ kgf/cm^2$$

Utilizando a tabela de Morrison (1993) temos

Para $\sigma_{adm} = 0{,}60\ kgf/cm^2$ temos $Kv = 1{,}48\ kgf/cm^3$

Na estrutura atuam esforços de Esforço Normal e flexão.

A modelagem estrutural foi feita no software SAP-2000 (Figura 2 e Figura 37) considerando os parâmetros apresentados no item 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

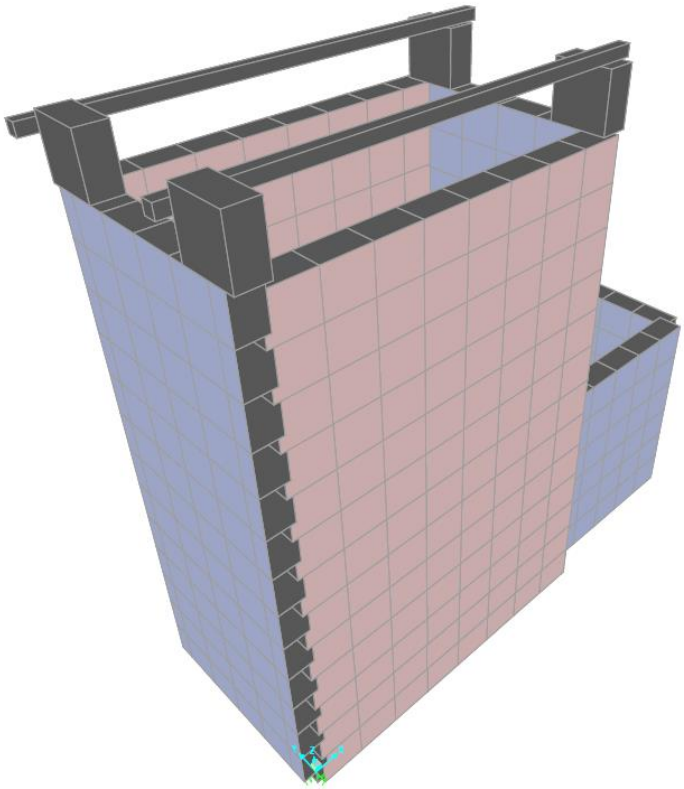


Figura 36 – Modelo estrutural 3D – Vista 1.

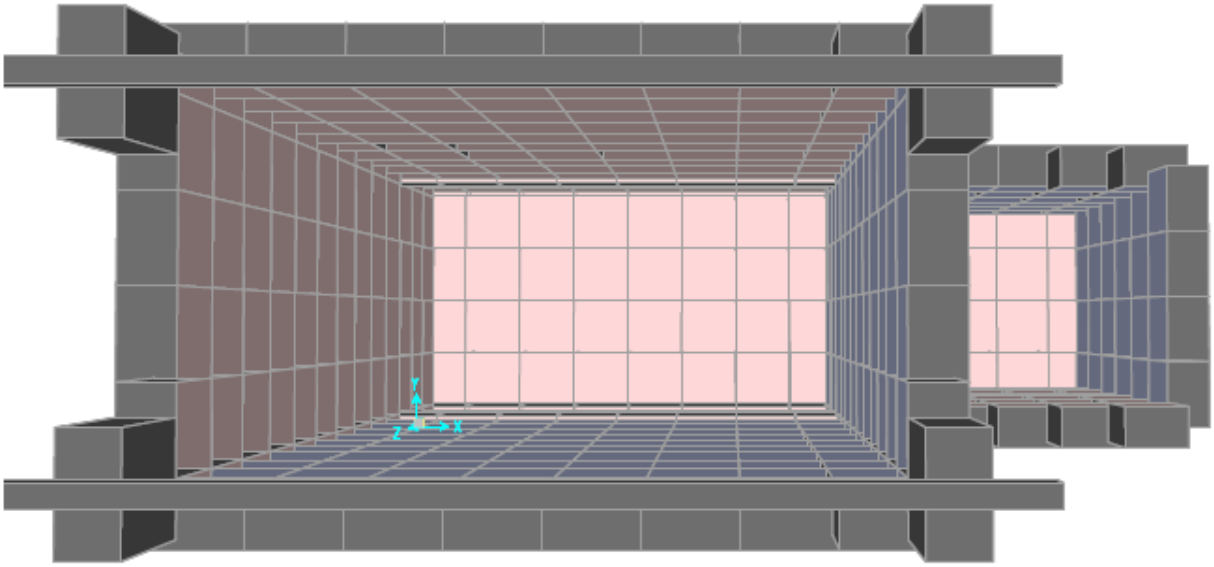


Figura 37 – Modelo estrutural 3D – Vista 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

5.1.1. Carregamento

A Figura 38 apresenta as cargas aplicadas no biofiltro.

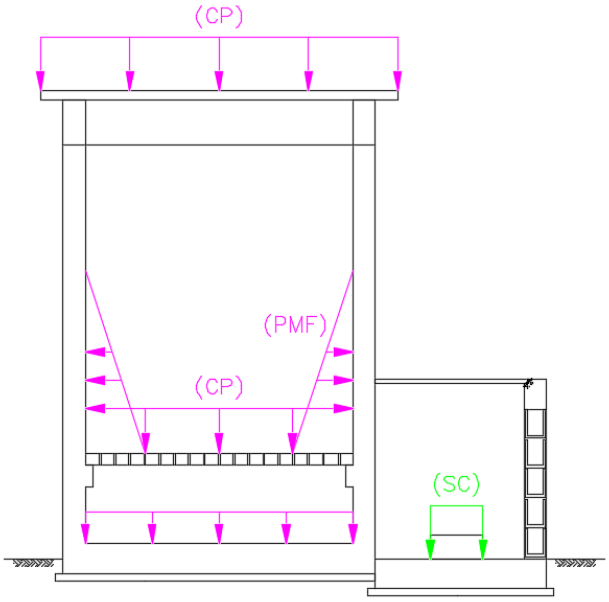


Figura 38 – Cargas aplicadas.

Os carregamentos utilizados no dimensionamento foram:

a) Peso próprio (PP)

Gerado eletronicamente pelo programa.

b) Carga permanente (CP):

b.1) Enchimento laje de fundo

$$CP_{enchimento} = 0{,}07\text{x}22 = 1{,}54\ kN/m^2$$

b.2) Material Inerte laje perfurada

$$CP_{inerte\ brita} = 0{,}30\text{x}18 = 5{,}40\ kN/m^2$$

$$CP_{inerte\ filtro} = 0{,}70\text{x}10 = 7{,}00\ kN/m^2$$

b.3) Cobertura telha ondulada

$$CP_{cobertura} = 0{,}40\text{kN/m}^2 \rightarrow carga\ distribuida\ \frac{1{,}60x0{,}40}{2} = 0{,}32\ kN/m$$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

h) Sobrecarga (SC):

Sobrecarga da bomba na laje da caixa $2{,}00\ kN/m^2$

i) Pressão material inerte na face interna das paredes (PMF):

Carga triangular máxima $P_{agua} = \gamma_{agua}.h = 10{,}00x3{,}65 = 36{,}50\ kN/m^2$

5.1.2. Combinações

Foram elaboradas 8 combinações de ações entre todos os carregamentos listados, além de uma combinação envoltória, conforme tabela a seguir.

HIPÓTESE	COMBINAÇÕES
COMB1	PP
COMB2	PP + CP
COMB3	PP + CP + SC
COMB4	PP + CP + SC + PMF
COMB5	PP + CP + PMF
COMB6	PP + SC
COMB7	PP + SC + PMF
COMB8	PP + PMF
ENVELOPE	ENVOLTORIA

Foi elaborado também uma combinação ENVOLTORIA, logo o software analisa o pior cenário. Mas, será destacado a seguir o pior cenário considerado para cada análise:

a) Estabilidade da estrutura

Pior cenário é a COMB3 (PP+CP+SC).

c) Esforços solicitantes

b.1) Laje de fundo

Pior cenário é a COMB2 (PP+CP).

b.2) Laje intermediária

Pior cenário é a COMB2 (PP+CP)

b.3) Paredes

Pior cenário é a COMB8 (PP+PMF)

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

5.2. Resultados da modelagem estrutural

5.2.1. Estabilidade da estrutura

A Figura 539 apresenta o diagrama de deformação da laje de fundo.

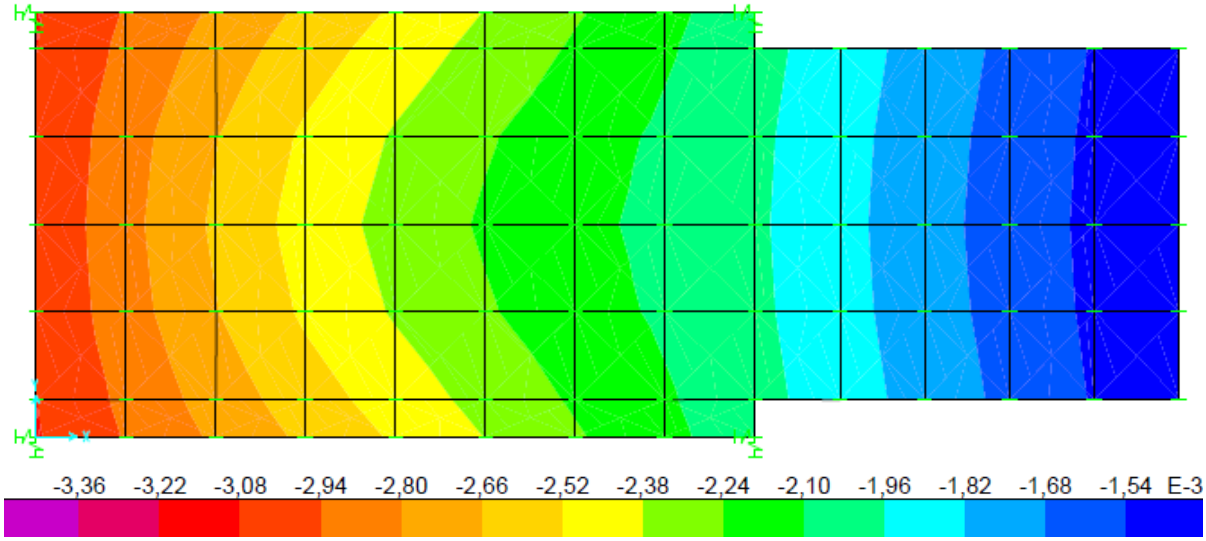


Figura 39 – Diagrama de deformação laje de fundo (m).

A tabela a seguir apresenta os deslocamentos máximos.

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
549	COMB3	Combination	-0,001827	-0,000022	-0,003366	0,000007802	-0,001264	0,000087
549	COMB3	Combination	-0,001827	-0,000022	-0,003366	0,000007802	-0,001264	0,000087
549	COMB3	Combination	-0,001827	-0,000022	-0,003366	0,000007802	-0,001264	0,000087
549	COMB3	Combination	-0,001827	-0,000022	-0,003366	0,000007802	-0,001264	0,000087
549	COMB3	Combination	-0,001827	-0,000022	-0,003366	0,000007802	-0,001264	0,000087

a) Verificação da tensão no solo será:

Conforme item Tabela 1 $k_V = 14.800{,}00\ kN/m^3$. Aplicando a lei de Hooke, a tensão no solo será o produto da deformação máxima com o coeficiente de recalque vertical, logo.

$\sigma_{solo} = \delta x k_V = 0{,}0033366x14.800 = 49{,}81\ kN/m^2 = 0{,}50\ kgf/cm^2 \leq 0{,}60\ kgf/cm^2$ (ok)

b) Verificação do deslizamento e tombamento

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

A verificação do tombamento e deslizamento será determinada conforme Montoya (1973). Para a verificação de estabilidade foram considerados os somatórios de forças horizontais e verticais de todas as combinações possíveis.

Verificação ao Deslizamento de Fundações Diretas

Pior Combinação para o Deslizamento =	COMB3	
Fx (Somatória de forças horizontais em x) =	0,00	tf
Fy (Somatória de forças horizontais em y) =	0,01	tf
F_H Resultante de Forças Horizontais =	0,01	
Fz (Somatória de forças verticais) =	2,24	tf
ϕ (Ângulo de atrito interno do solo) =	30	º
Σ N x tg (2ϕ / 3) / F_H >= 1,5	**87,45**	Ok

Logo todas verificações de estabilidade foram atendidas as fundações serão do tipo direta.

5.2.2. Esforços solicitantes

As figuras a seguir apresentam os esforços solicitantes.

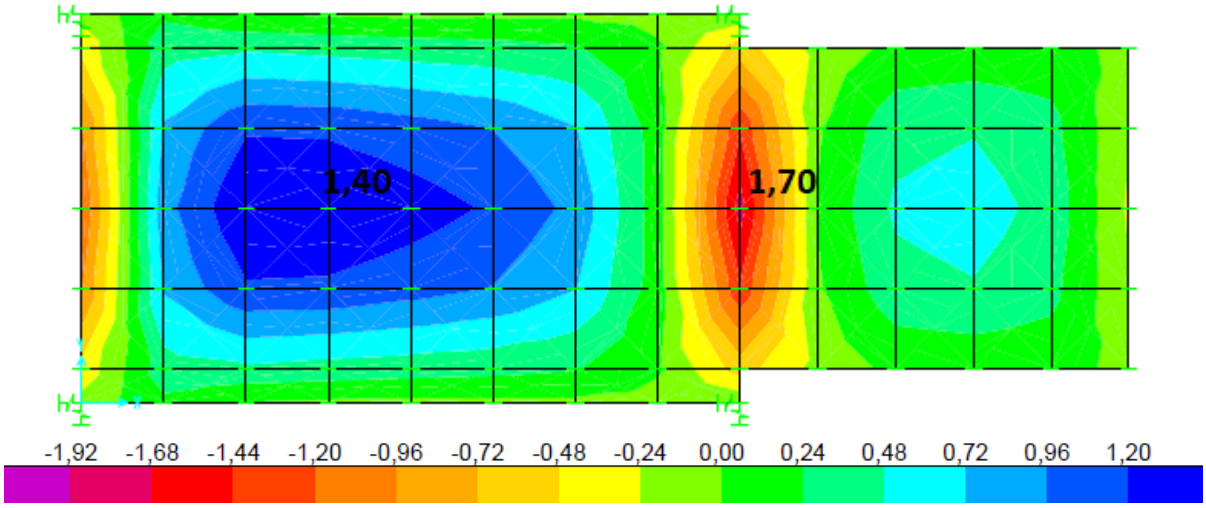


Figura 40 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

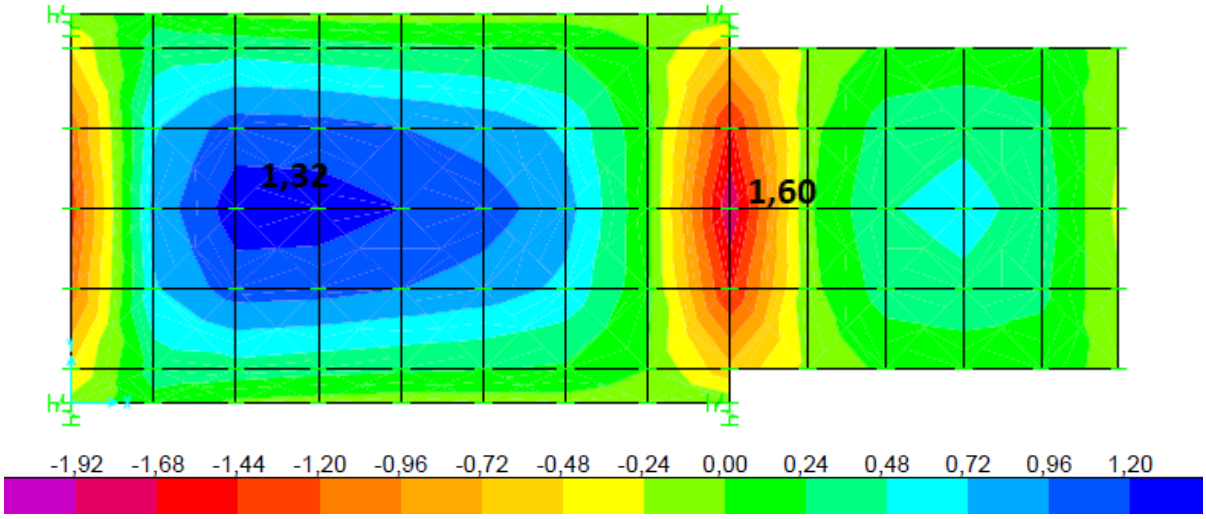


Figura 41 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m).

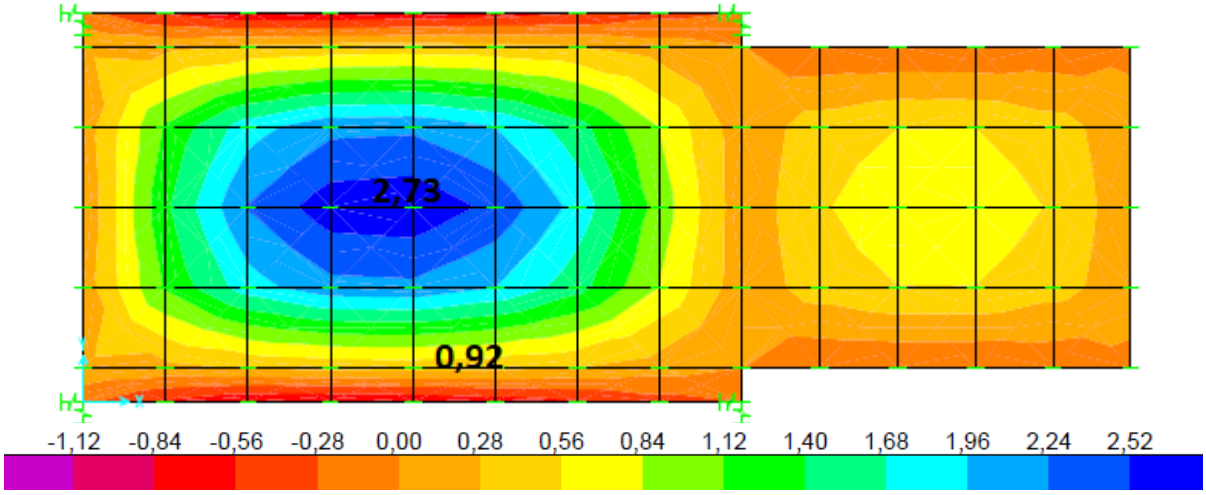


Figura 42 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m).

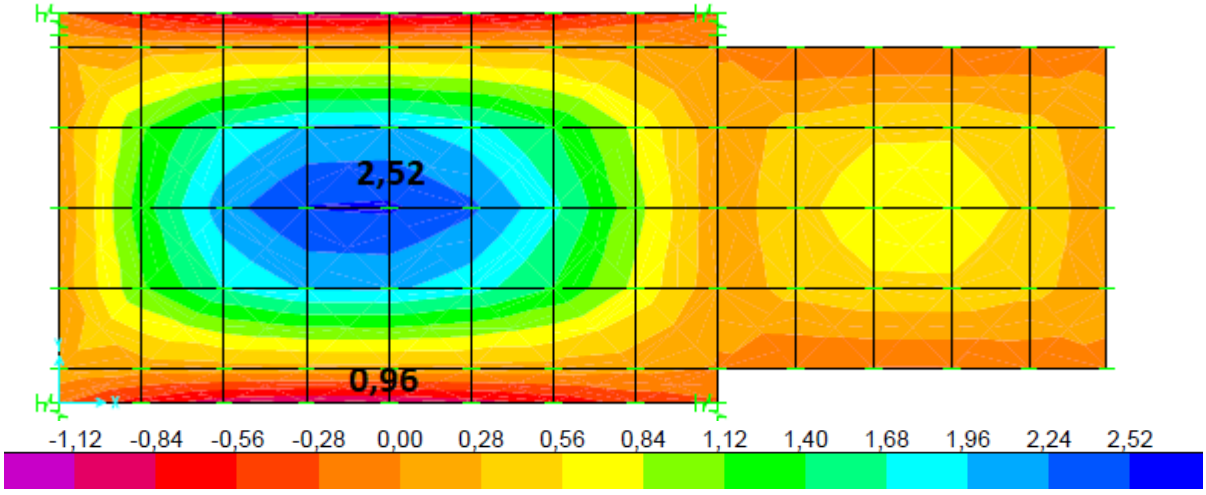


Figura 43 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

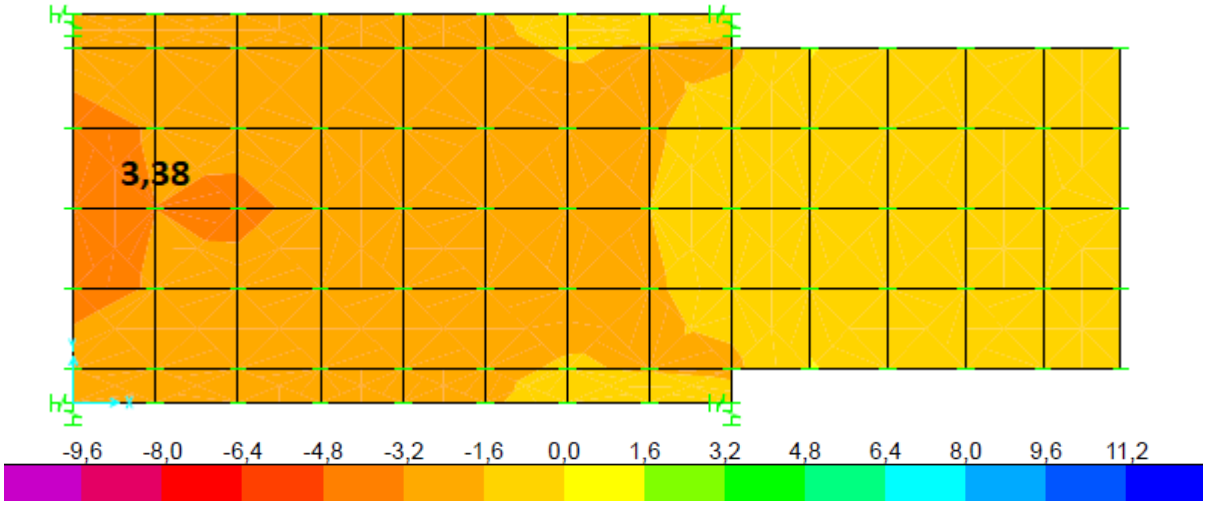


Figura 44 – Esforço normal laje de fundo F11 (kN).

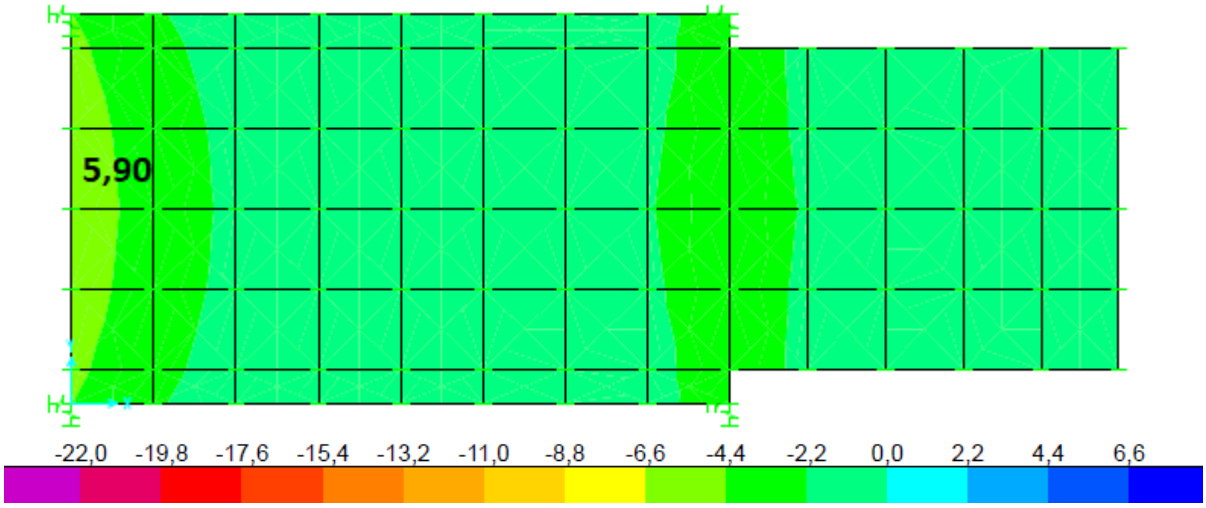


Figura 45 – Esforço normal laje de fundo F22 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

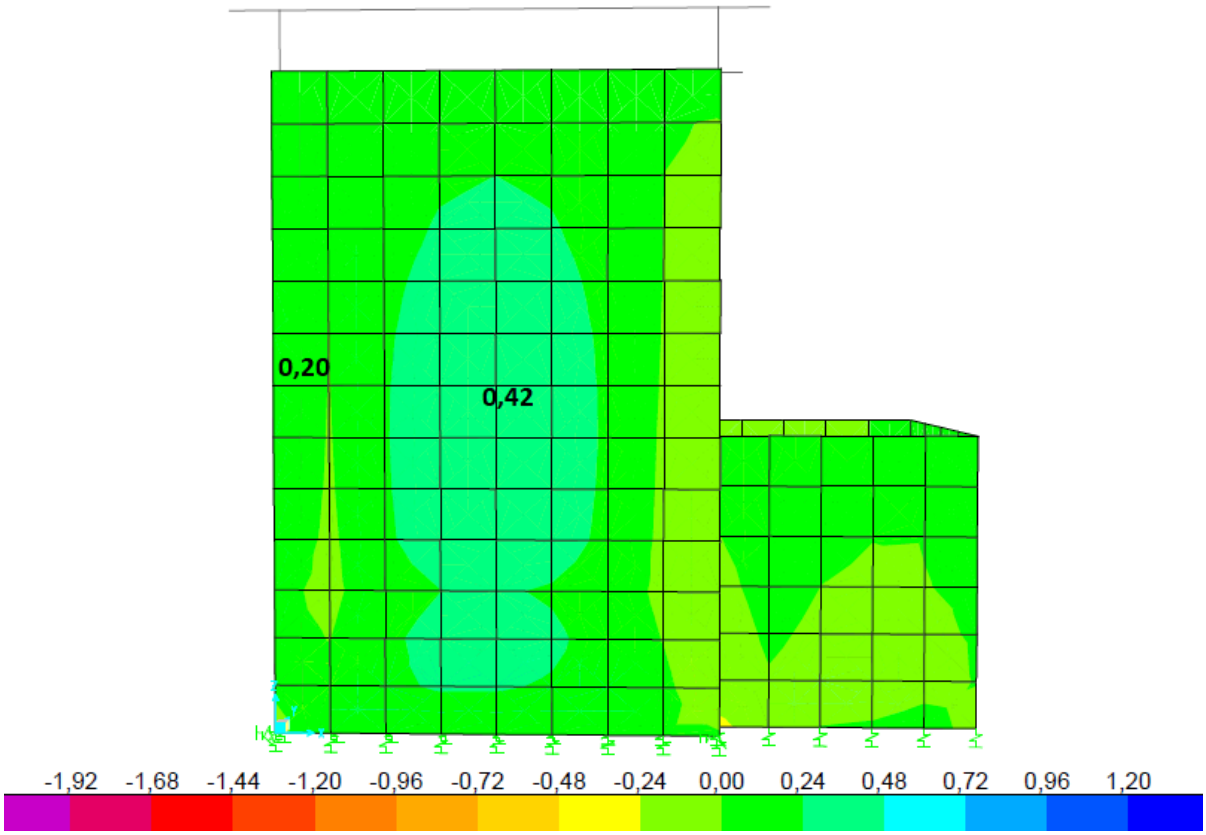


Figura 46 – Flexão paredes M11+ (kN.m).

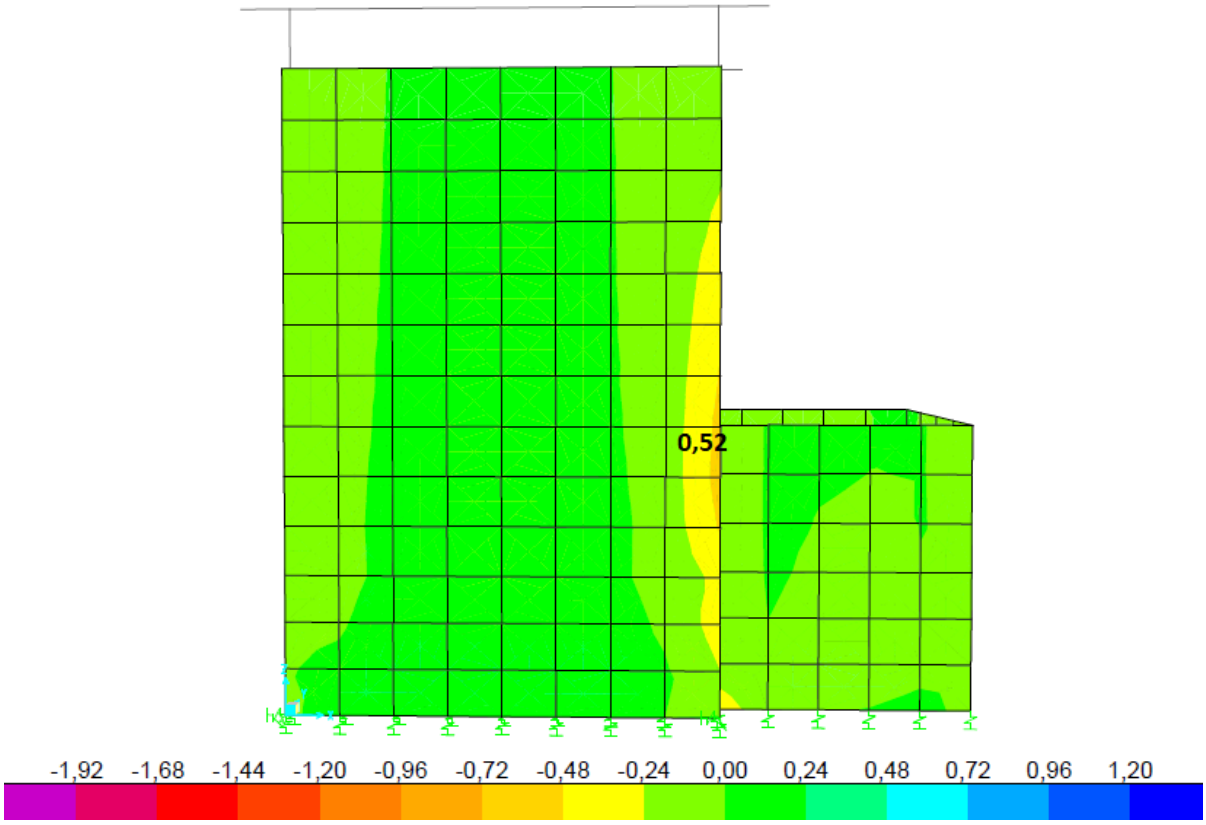


Figura 47 – Flexão paredes M11- (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

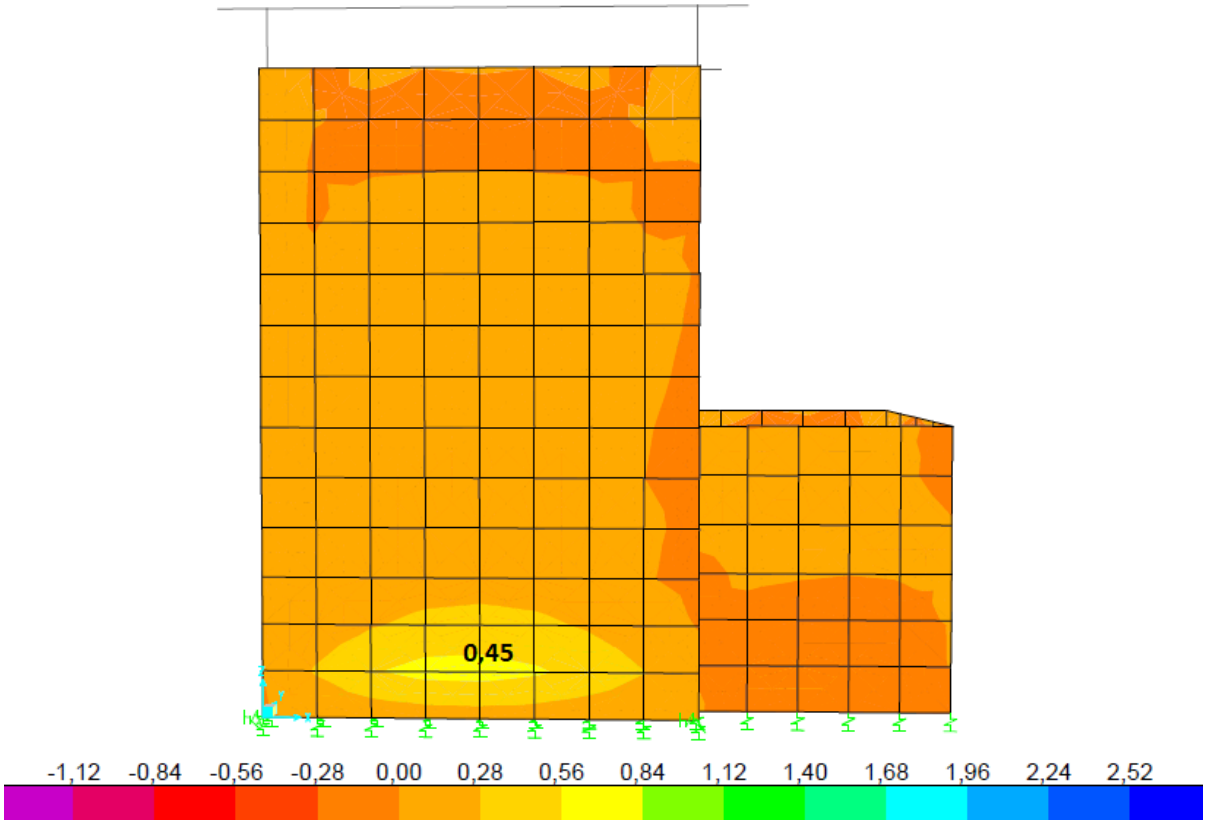


Figura 48 – Flexão paredes M22+ (kN.m).

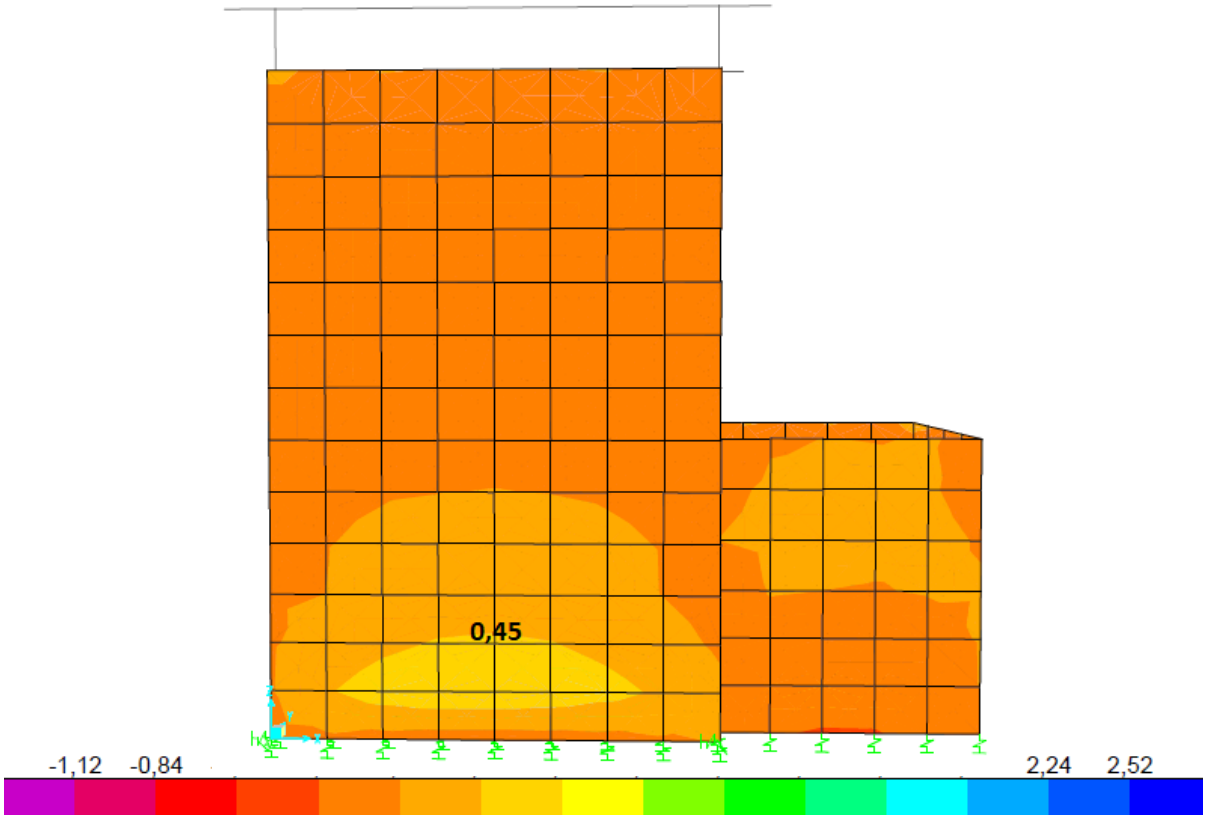


Figura 49 – Flexão paredes M22- (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

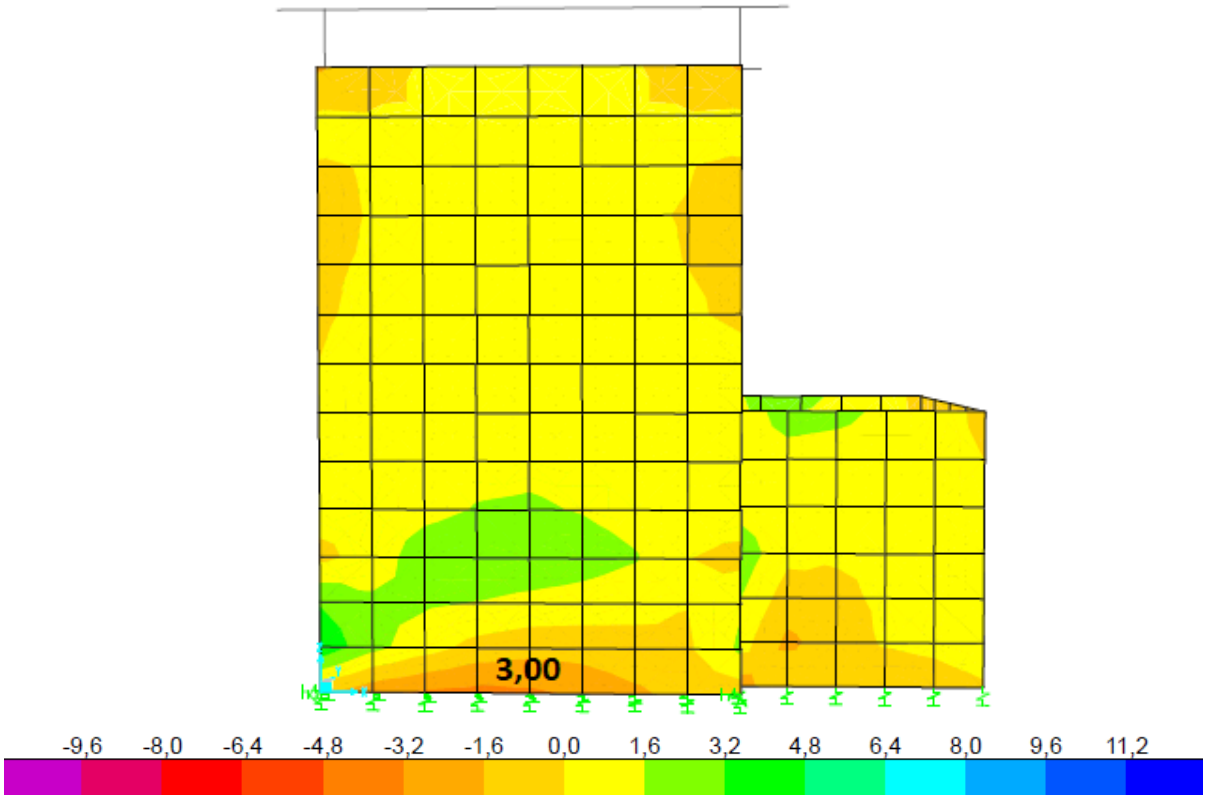


Figura 50 – Esforço normal paredes F11 (kN).

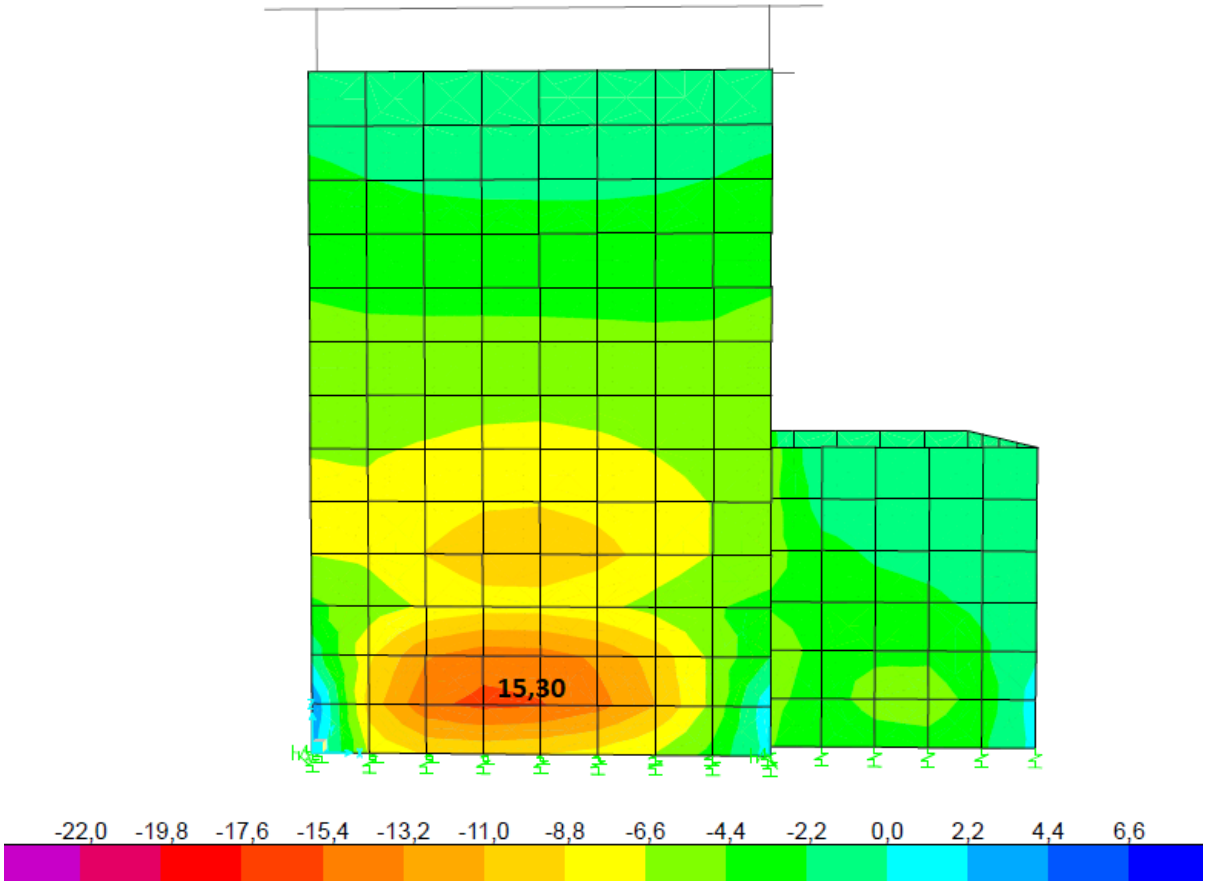


Figura 51 – Esforço normal paredes F22 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

Tabela 5 – Resumo de esforços solicitantes máximos.

Estrutura	Seção	Flexão (kNm)				Engaste (kNm)		Normal (kN)	
	(cm)	M11-	M11+	M22-	M22+	M11	M22	F22	F22
Laje Fundo	20	1,32	1,38	2,52	2,73	1,70	0,96	3,38	5,90
Parede	15	0,52	0,42	0,45	0,45	0,52	0,45	3,00	15,30

5.3. Dimensionamento das armaduras

5.3.1. Laje de fundo h=20cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - BIOFILTRO - LF20

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
LF20	M11-	20	15	132	338	50	0,00	0,34	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M11+	20	15	138	338	50	0,00	0,35	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M22-	20	15	252	590	50	0,00	0,64	3,16	0,004	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
LF20	M22+	20	15	273	590	50	0,00	0,68	3,16	0,005	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M11	20	15	170	338	50	0,00	0,42	3,16	0,002	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0
ENG	M22	20	15	96	590	50	0,00	0,30	3,16	0,001	8	15,9	ø 8,0	c/ 15,0

Conforme planilha $As_{calculda} = 3{,}16\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y Ø8,0 $c/15 = 3{,}33\ cm^2/m >\ As_{calc}\ (ok)$

5.3.2. Paredes e=15cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEEB BOA VISTA - BIOFILTRO - PAR15

f_{ck}(Mpa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
PAR15	M11-	15	10	52	300	50	0,00	0,22	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
PAR15	M11+	15	10	42	300	50	0,00	0,18	2,68	0,000	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
PAR15	M22-	15	10	45	1530	50	0,00	0,39	2,68	0,002	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
PAR15	M22+	15	10	45	1530	50	0,00	0,39	2,68	0,002	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
ENG	M11	15	10	52	300	50	0,00	0,22	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
ENG	M22	15	10	45	1530	50	0,00	0,39	2,68	0,002	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 2{,}68\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y Ø6,3 $c/10 = 3{,}15\ cm^2/m >\ As_{calc}\ (ok)$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

5.3.3. Laje Perfurada h=8cm

Concreto	
f_{ck} MPa	30
E_{cs} MPa	27000

Aço	
f_{yk} MPa	500
E_s MPa	210000

Consumo de Materiais Custo (MO+MT+EQ+DI)	
aço kg	4
concreto m^3	0,18
forma m^2	2,2
kg/m^3	24,1
kg/m^2	1,93
m^3/m^2	0,080
aço R$/kg	6,50
concr.R$/$m^3$	450
forma R$/$m^2$	65
Custo R$	255

Laje: (•) MACIÇA ( ) NERVURADA

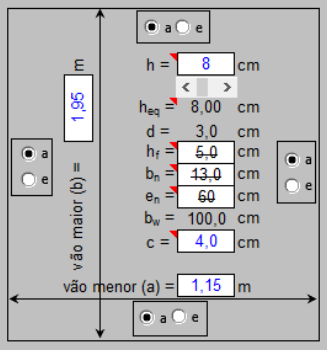
Norma	NBR

Resumo - Verificações	Status	S_d / R_d
ELU-M - Momento	OK!	0,48
ELU-V - Cortante	OK!	0,33
ELS-W - Fissura	OK!	0,00
ELS-DEF - Flecha	OK!	0,07

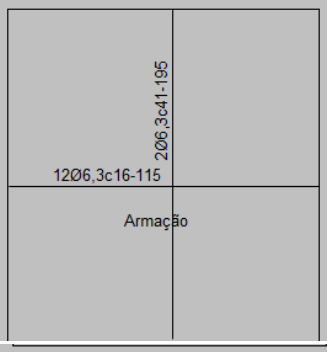
Esforços e Flechas: ( ) MUSSO ( ) BURKE ( ) CZERNY (•) BARES ( ) MARCUS

Ações	
G_{PP} kN/m^2	2,00
G_{EX} kN/m^2	5,40
Q kN/m^2	7,00

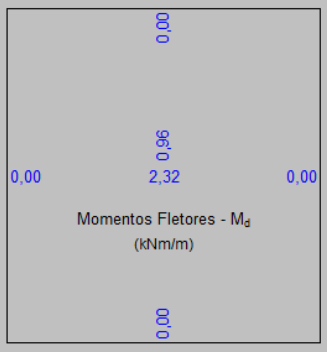
Ponderação das Ações	ELU-M/V	ELS-W	ELS-DEF
γ_G	1,40	1	1
γ_Q	1,40	0,6	0,4



a = apoio simples e = engaste

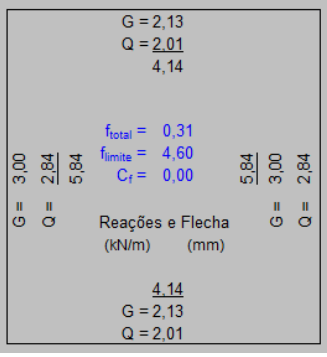


ELU-M - Momento Fletor	a	a_e	b	b_e
ϕ mm	6,3	6,3	6,3	6,3
e cm	16		41	
M_{Gk} kNm/m	0,85	0,00	0,35	0,00
M_{Qk} kNm/m	0,81	0,00	0,33	0,00
M_d kNm/m	2,32		0,96	
A_s cm^2/m	1,93		0,76	
$A_{s,adp}$ cm^2/m	1,95		0,76	
A'_s cm^2/m	0,00		0,00	
A_s cm^2/nerv				
ρ	0,65%		0,25%	
λx cm	0,461		0,181	
$M_{d,lim}$	4,84		4,84	
$M_d/M_{d,lim}$	0,48		0,20	
Status	OK!		OK!	
$A_{s,mesa}$	ϕ mm		e cm	



ELU-V - Força Cortante	a	a_e	b	b_e
V_{Gk} kN/m	3,00	0,00	2,13	0,00
V_{Qk} kN/m	2,84	0,00	2,01	0,00
V_d kN/m	8,17		5,80	
V_{Rd1} kN/m	24,89		22,19	
V_d/V_{Rd1}	0,33		0,26	
Status	OK!		OK!	

ELS-W - Abertura de Fissura	a	a_e	b	b_e
M_F kNm/m	1,34		0,55	
M_r kNm/m	3,09		3,09	
x_2 cm	0,81		0,54	
I_2 cm^4	90		41	
w_k mm	0,000		0,000	
w_{lim} mm	0,30			
w_k/w_{lim}	0,00		0,00	
Status	OK!		OK!	



ELS-DEF - Flecha	a	b	QP kN/m^2	10,20
M_{QP} kNm/m	1,18	0,48	M_r kNm/m	3,09
seção	não fissurada	não fissurada	f	0,10331
$I_{e,QP}$ cm^4	4267	4267	$f_{elástica}$ mm	0,13
$E_{cs}I_c$ kNcm^2	11520000	11520000	$I_{c,R}$ cm^4/m	4267
$E_{cs}I_e$	4959105	4959105	$I_{c,T}$ cm^4/m	4267
$E_{cs}I_e/E_{ce}I_e$	2,32	2,32	$C_{f,limite}$ mm	3,3
C_{flecha} mm	f_{total} mm	f_{limite} mm	f_{total}/f_{limite}	Status
0,0	0,31	4,6	0,07	OK!

Conforme planilha a armadura de ø6.3 c/15 atende, porém devido ao espaçamento dos furos será adotado a armadura simples em X/Y Ø6,3 $c/10 = 3{,}15\ cm^2/m$.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

5.3.4. Mísula de Apoio Laje Perfurada 5x15cm

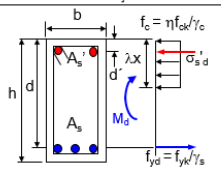
Conforme resultado da modelagem temos os seguintes esforços na mísula de apoio:

$$\text{Esforços solicitantes} \rightarrow \begin{cases} M = 2{,}63\ kN.m \\ V = 6{,}77\ kN \\ T = 0{,}05\ kN.m \end{cases}$$

As figuras a seguir apresentam o dimensionamento

MOMENTO FLETOR

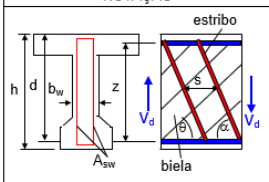
SEÇÃO	
b cm	5
h cm	15
d cm	10,0
d'' cm	5,00
d' cm	5,00
ARMADURA MÍNIMA >>>>	
NOTAÇÃO	
POSIÇÃO DAS BARRAS	
d/h	0,667
d'/d	0,500
CONCRETO	
f_{ck} MPa	30
γ_c	1,40
λ	0,80
η	0,85
ε_{cu}	0,0035
f_{cd} kN/cm^2	2,1429
f_c kN/cm^2	1,8214



μ	ω	ω'	M_d	A_s	ρ	A_s'	x	z/d
$\frac{M_d}{bd^2f_c}$	$\frac{A_sf_{yd}}{bdf_c}$	$\frac{A_s'\sigma_{s'd}}{bdf_c}$	kNm	cm^2	$A_s/(bd)$	cm^2	cm	(d-0,4x)/d
	0,0537			0,11	0,23%			
0,28	0,34	0,00	2,6	0,71	1,42%	0,00	4,23	0,83
0,03	0,030	0,000	0,3	0,06	0,13%	0,00	0,38	0,98
0,04	0,041	0,000	0,4	0,09	0,17%	0,00	0,51	0,98
0,05	0,051	0,000	0,5	0,11	0,21%	0,00	0,64	0,97
0,06	0,062	0,000	0,5	0,13	0,26%	0,00	0,77	0,97
0,07	0,073	0,000	0,6	0,15	0,30%	0,00	0,91	0,96
0,08	0,083	0,000	0,7	0,17	0,35%	0,00	1,04	0,96
0,09	0,094	0,000	0,8	0,20	0,40%	0,00	1,18	0,95
0,10	0,106	0,000	0,9	0,22	0,44%	0,00	1,32	0,95
0,11	0,117	0,000	1,0	0,24	0,49%	0,00	1,46	0,94
0,12	0,128	0,000	1,1	0,27	0,54%	0,00	1,60	0,94
0,13	0,140	0,000	1,2	0,29	0,59%	0,00	1,75	0,93
0,14	0,151	0,000	1,3	0,32	0,63%	0,00	1,89	0,92
0,15	0,163	0,000	1,4	0,34	0,68%	0,00	2,04	0,92
0,16	0,175	0,000	1,5	0,37	0,73%	0,00	2,19	0,91
0,17	0,188	0,000	1,5	0,39	0,79%	0,00	2,34	0,91
0,18	0,200	0,000	1,6	0,42	0,84%	0,00	2,50	0,90
0,19	0,213	0,000	1,7	0,45	0,89%	0,00	2,66	0,89
0,20	0,225	0,000	1,8	0,47	0,94%	0,00	2,82	0,89
0,21	0,238	0,000	1,9	0,50	1,00%	0,00	2,98	0,88

FORÇA CORTANTE

b_w cm	5
h cm	15
d cm	10,0
z cm	9,0
ARMADURA MÍNIMA >>>>	
NOTAÇÃO	
ALTURA ÚTIL	
d/h	0,667
z/d	0,9
CONCRETO	
f_{ck} MPa	30
γ_c	1,4
$\nu = 0{,}6(1-f_{ck}/250)$	0,528
f_c kN/cm^2	1,1314
f_{ctm} kN/cm^2	0,2896
f_{ctd} kN/cm^2	0,1448
θ^o (biela)	30



ν_d		ν_c	ω	V_d	V_d	V_c	A_{sw}	$s_{l,máx}$	$s_{t,máx}$
$\frac{V_d}{b_wdf_c}$	$\frac{\nu_d}{\nu_{Rd2}}$	$\frac{V_c}{b_wdf_c}$	$\frac{A_{sw}f_{yd}}{b_wsf_c}$	kN	V_{Rd2}	kN	cm^2/m	cm	cm
			0,0445				0,58		
0,1197	0,31	0,066	0,034	6,8	0,31	3,7	0,45	6	6
0,06	0,15	0,077	0,000	3,4	0,15	4,3	0,00	6	10
0,07	0,18	0,077	0,000	4,0	0,18	4,3	0,00	6	10
0,08	0,21	0,076	0,003	4,5	0,21	4,3	0,03	6	6
0,09	0,23	0,074	0,011	5,1	0,23	4,2	0,14	6	6
0,10	0,26	0,071	0,019	5,7	0,26	4,0	0,24	6	6
0,11	0,28	0,069	0,027	6,2	0,28	3,9	0,35	6	6
0,12	0,31	0,066	0,035	6,8	0,31	3,7	0,45	6	6
0,13	0,33	0,064	0,043	7,4	0,33	3,6	0,55	6	6
0,14	0,36	0,061	0,050	7,9	0,36	3,5	0,66	6	6
0,15	0,38	0,059	0,058	8,5	0,38	3,3	0,76	6	6
0,16	0,41	0,056	0,066	9,1	0,41	3,2	0,86	6	6
0,17	0,44	0,054	0,074	9,6	0,44	3,1	0,97	6	6
0,18	0,46	0,051	0,082	10,2	0,46	2,9	1,07	6	6
0,19	0,49	0,049	0,090	10,7	0,49	2,8	1,18	6	6
0,200	0,51	0,047	0,098	11,3	0,51	2,6	1,28	6	6
0,205	0,53	0,045	0,102	11,6	0,53	2,6	1,33	6	6
0,210	0,54	0,044	0,106	11,9	0,54	2,5	1,38	6	6
0,215	0,55	0,043	0,110	12,2	0,55	2,4	1,44	6	6
0,220	0,56	0,042	0,114	12,4	0,56	2,4	1,49	6	6
0,225	0,58	0,040	0,118	12,7	0,58	2,3	1,54	6	6

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

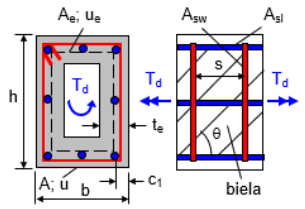
MOMENTO TORÇOR

b cm	5
h cm	15
A cm²	75,0
u cm	40
t_e cm	2,5
b_e cm	2,5
h_e cm	12,5
A_e cm	31,3
u_e cm	30,0

τ_d	ω_w	ω_l

ARMADURA MÍNIMA >>>>			0,0534	0,0534			0,29	0,09
NOTAÇÃO	0,0679	0,08	0,020	0,059	0,05	0,08	0,11	0,10

$\frac{T_d}{t_e A_e f_c}$	$\frac{\tau_d}{\tau_{Rd2}}$	$\frac{A_{sw} f_{yd}}{t_e s f_c}$	$\frac{A_{sl} f_{yd}}{t_e u_e f_c}$	T_d kNm	$\frac{T_d}{T_{Rd2}}$	A_{sw} cm²/m	A_{sl} cm²
0,02	0,02	0,006	0,017	0,01	0,02	0,03	0,03
0,04	0,05	0,012	0,035	0,03	0,05	0,06	0,06
0,06	0,07	0,017	0,052	0,04	0,07	0,09	0,08
0,08	0,09	0,023	0,069	0,06	0,09	0,13	0,11
0,10	0,12	0,029	0,087	0,07	0,12	0,16	0,14
0,12	0,14	0,035	0,104	0,09	0,14	0,19	0,17
0,14	0,16	0,040	0,121	0,10	0,16	0,22	0,20
0,16	0,18	0,046	0,139	0,12	0,18	0,25	0,23
0,18	0,21	0,052	0,156	0,13	0,21	0,28	0,25
0,20	0,23	0,058	0,173	0,15	0,23	0,31	0,28
0,22	0,25	0,064	0,191	0,16	0,25	0,34	0,31
0,24	0,28	0,069	0,208	0,18	0,28	0,38	0,34
0,25	0,29	0,072	0,217	0,18	0,29	0,39	0,35



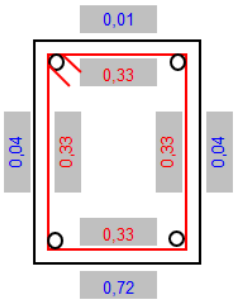
BORDA ATÉ CENTRO DA BARRA

c_1 cm 5,0

RESULTADOS

M_d kNm	2,56
V_d kN	6,77
T_d kNm	0,05

$\frac{V_d}{V_{Rd2}} + \frac{T_d}{T_{Rd2}} = 0,39$ OK!



5	x	15
f_{ck} MPa		30
f_{yk} MPa		500

Conforme planilha $As_{calculada} = 2{,}68\ cm^2/m$.

Armadura adotada:

Longittudinal face inferior e superior $2\emptyset 8.0 = 1{,}00\ cm^2/m > As_{calc}\ (ok)$

Estribos $\emptyset 6{,}3\ c/15 = 2{,}11\ cm^2/m > As_{calc}\ (ok)$

5.3.5. Pilares 15x30cm

Para os pilares será considerada a armdura mínima conforme a NBR 6118, pois os esforços e comprimento de flambagem são mínimos.

$As_{mínima} = 0{,}40\% bh = 0{,}40\% x 15 x 30 = 0{,}12\ cm^2$

Armadura adotada 4ø10.0.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

6. DIMENSIONAMENTO – CAIXA DE VÁLVULA

6.1. Modelagem estrutural

O pré-tratamento é uma estrutura prismática retangular enterrada (Figura 52).

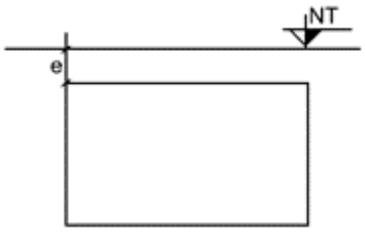


Figura 52 – Posicionamento em relação ao solo.

Para dimensionamento foi considerado as lajes de fundo engastadas nas paredes. As paredes serão submetidas à atuação da força hidrostática correspondente a altura interna total e o empuxo do solo na parte externa que se encontra enterrado.

A laje de fundo atua como fundações, em função disto, estrutura foi cálculdada associando a um meio elástico. Para a interação solo estrutura o coeficiente de recalque vertical será determinado pela relação empírica de Alonso (1943), Teixeira e Godoy (1996).

$$s = 0.2SPT_{médio\ (kgf/cm^2)}$$

Conforme furo SP-02 temos na camada de apoio $N_{SPT} = 3$. Conforme Alonso (1946) temos:

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{5} = \frac{3}{5} = 0{,}60\ kgf/cm^2$$

Utilizando a tabela de Morrison (1993) temos

Para $\sigma_{adm} = 0{,}60\ kgf/cm^2$ temos $Kv = 1{,}48\ kgf/cm^3$

Na estrutura atuam esforços de Esforço Normal e flexão.

A modelagem estrutural foi feita no software SAP-2000 (Figura 53 e Figura 3) considerando os parâmetros apresentados no item 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

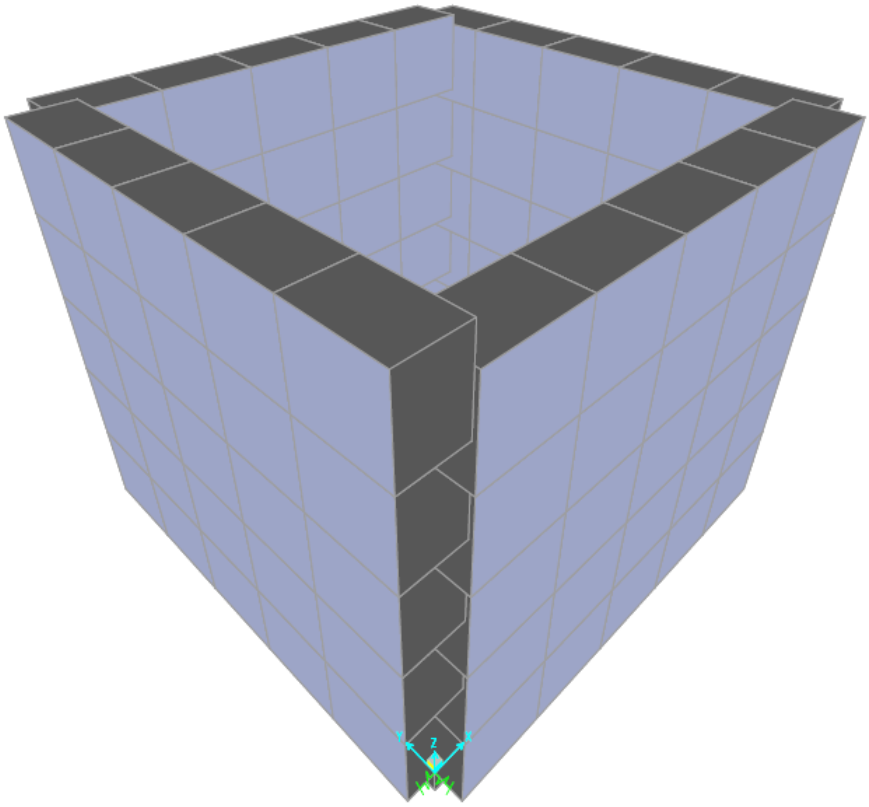


Figura 53 – Modelo estrutural 3D – Vista 1.

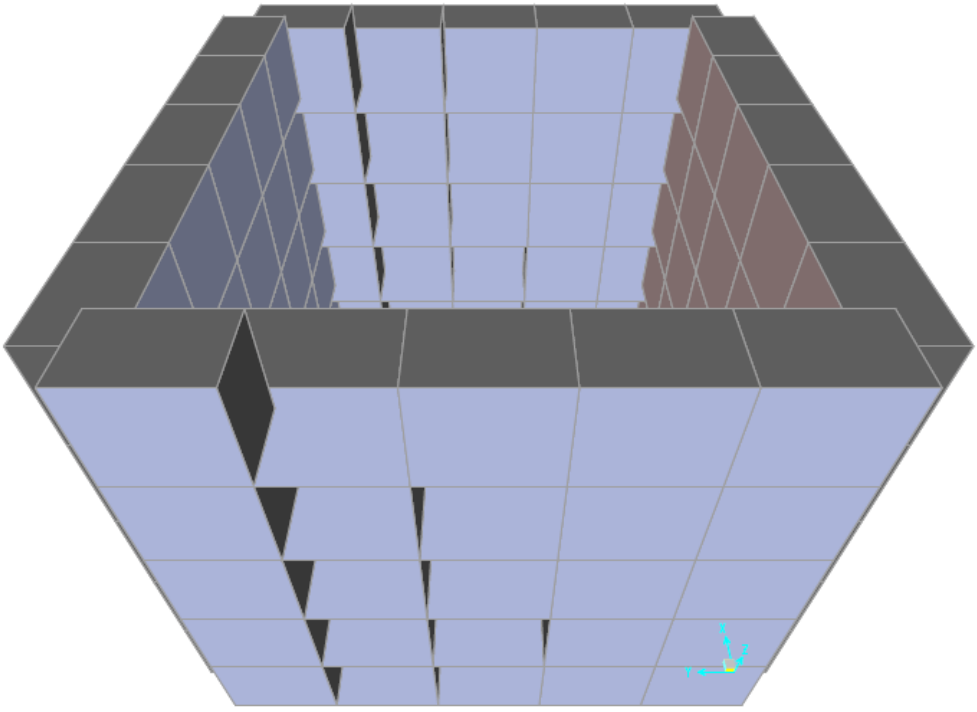


Figura 54 – Modelo estrutural 3D – Vista 2.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

6.1.1. Carregamento

A Figura 55 apresenta as cargas aplicadas no pré-tratamento.

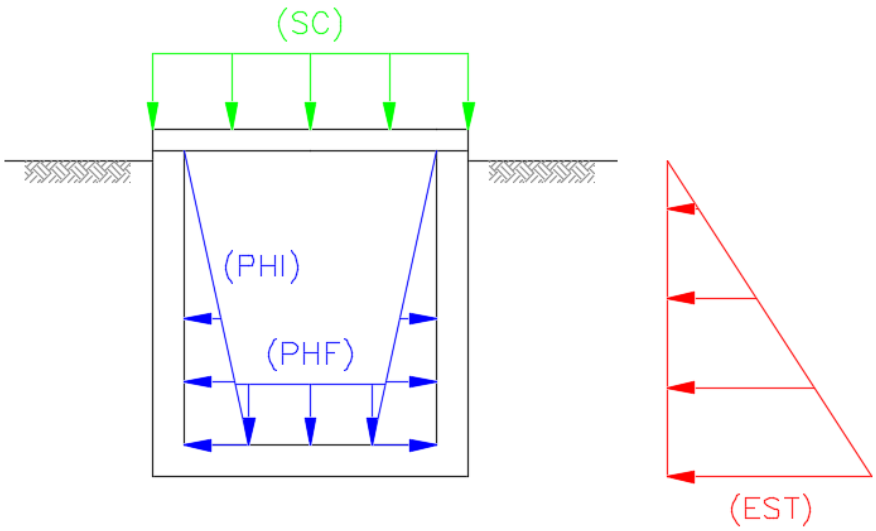


Figura 55 – Cargas aplicadas.

Os carregamentos utilizados no dimensionamento foram:

a) Peso próprio (PP)

Gerado eletronicamente pelo programa.

b) Carga permanente laje de fundo (CP):

Será considerada a carga de $1{,}00\ kN/m^2$ devido as tubulações.

c) Sobrecarga (SC):

Sobrecarga na superfície de $2{,}00\ \ kN/m^2$

d) Pressão hidrostática na laje de fundo (PHF):

$P_{agua} = 1{,}40x\ 10 = 14{,}00\ \ kN/m^2$.

e) Pressão hidrostática na face interna das paredes (PHI):

Carga triangular máxima $P_{agua} = \gamma_{agua}.h = 1{,}40x\ 10 = 14{,}00\ \ kN/m^2$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

f) Empuxo externo (solo) (EXT):

Carga triangular máxima $P_{solo} = k_{solo}\gamma_t.h = 0{,}5\text{x}18{,}00x1{,}50 = 13{,}50\ kN/m^2$.

O fundo da caixa está a 1,50 m de profundidade, como o lençol freático está a 2,00 m de profundidade não há ação hidrostática nas faces externas das paredes.

6.1.2. Combinações

Foram elaboradas 32 combinações de ações entre todos os carregamentos listados, além de uma combinação envoltória, conforme tabela a seguir.

HIPÓTESE	COMBINAÇÕES
COMB1	PP
COMB2	PP + CP
COMB3	PP + CP + SC
COMB4	PP + CP + SC + PHF
COMB5	PP + CP + SC + PHF + PHI
COMB6	PP + CP + SC + PHF + PHI + EST
COMB7	PP + CP + SC + PHF + EST
COMB8	PP + CP + SC + PHI
COMB9	PP + CP + SC + PHI + EST
COMB10	PP + CP + SC + EST
COMB11	PP + CP + PHF
COMB12	PP + CP + PHF + PHI
COMB13	PP + CP + PHF + PHI + EST
COMB14	PP + CP + PHF + EST
COMB15	PP + CP + PHI
COMB16	PP + CP + PHI + EST
COMB17	PP + CP + EST
COMB18	PP + SC
COMB19	PP + SC + PHF
COMB20	PP + SC + PHF + PHI
COMB21	PP + SC + PHF + PHI + EST
COMB22	PP + SC + PHF + EST
COMB23	PP + SC + PHI
COMB24	PP + SC + PHI + EST
COMB25	PP + SC + EST
COMB26	PP + PHF
COMB27	PP + PHF + PHI
COMB28	PP + PHF + PHI + EST
COMB29	PP + PHF + EST
COMB30	PP + PHI
COMB31	PP + PHI + EST
COMB32	PP + EST
ENVELOPE	ENVOLTORIA

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

Foi elaborado também uma combinação ENVOLTORIA, logo o software analisa o pior cenário. Mas, será destacado a seguir o pior cenário considerado para cada análise:

a) Estabilidade da estrutura

Pior cenário é a COMB4 (PP+CP+SC+PHF).

c) Esforços solicitantes

b.1) Laje de fundo

Pior cenário é a COMB2 (PP+CP).

b.2) Tampa

Pior cenário é a COMB18 (PP+SC)

b.3) Paredes

Pior cenário é a COMB32 (PP+ EST)

6.2. Resultados da modelagem estrutural

6.2.1. Estabilidade da estrutura

A Figura 556 apresenta o diagrama de deformação da laje de fundo.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

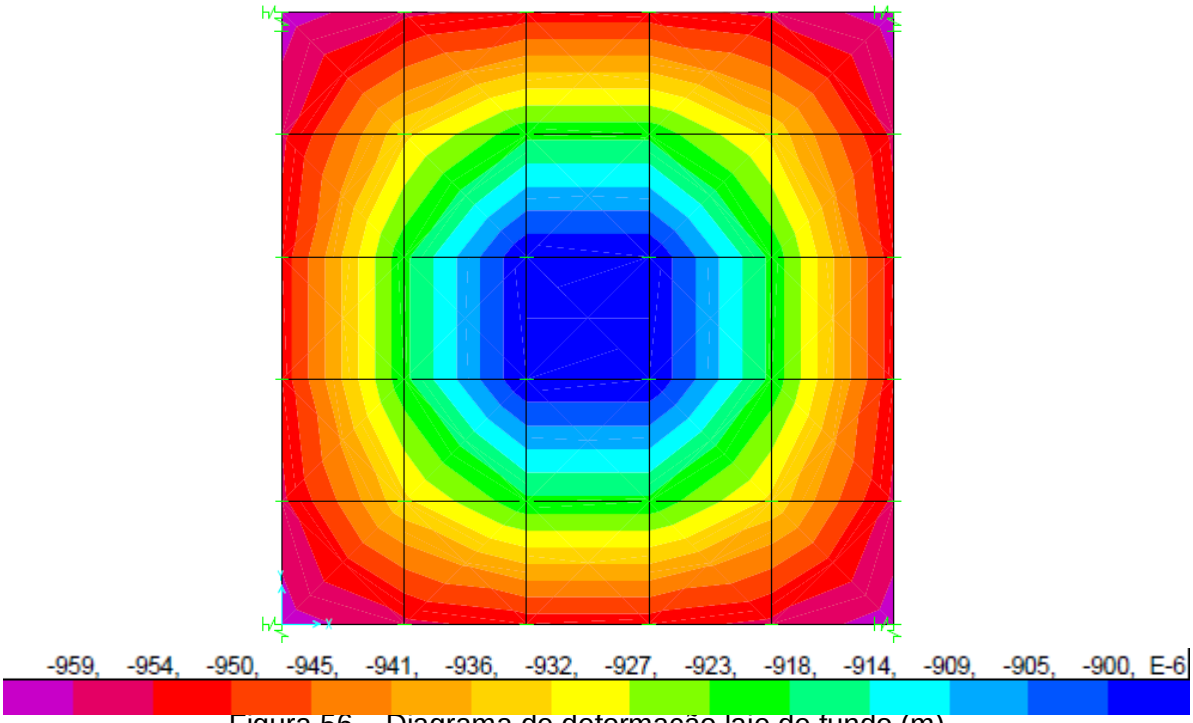


Figura 56 – Diagrama de deformação laje de fundo (m).

A tabela a seguir apresenta os deslocamentos máximos.

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
1	COMB4	Combination	0,00000	0,00000	**-0,00256**	-0,00003	-0,00003	0,00000
1	COMB5	Combination	0,00000	0,00000	-0,00256	-0,00003	-0,00003	0,00000
1	COMB6	Combination	0,00000	0,00000	-0,00256	-0,00003	-0,00003	0,00000
1	COMB9	Combination	0,00000	0,00000	-0,00260	-0,00003	-0,00003	0,00000
1	COMB12	Combination	0,00000	0,00000	-0,00256	-0,00003	-0,00003	0,00000

a) Verificação da tensão no solo será:

Conforme item Tabela 1 $k_V = 14.800{,}00\ kN/m^3$. Aplicando a lei de Hooke, a tensão no solo será o produto da deformação máxima com o coeficiente de recalque vertical, logo.

$\sigma_{solo} = \delta x k_V = 0{,}00256x14.800 = 37{,}90\ kN/m^2 = 038\ kgf/cm^2 \leq 0{,}60\ kgf/cm^2$ (ok)

b) Verificação do deslizamento e tombamento

A verificação do tombamento e deslizamento será determinada conforme Montoya (1973). Para a verificação de estabilidade foram considerados os somatórios de forças horizontais e verticais de todas as combinações possíveis.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

Verificação ao Deslizamento de Fundações Diretas

Pior Combinação para o Deslizamento =	COMB4	
Fx (Somatória de forças horizontais em x) =	0,00	tf
Fy (Somatória de forças horizontais em y) =	0,00	tf
F_H Resultante de Forças Horizontais =	0,00	
Fz (Somatória de forças verticais) =	20,10	tf
ϕ (Ângulo de atrito interno do solo) =	30	º
Σ N x tg (2ϕ / 3) / F_H >= 1,5	**1000,00**	Ok

Logo todas verificações de estabilidade foram atendidas as fundações serão do tipo direta.

6.2.2. Verificação da flutuabilidade

Conforme boletim de sondagem SP-02 o nível do lençol freático está a 2,00 m de profundidade. Conforme projeto hidráulico o fundo da caixa de descarga está a 1,50 m de profundidade, logo não há necessidade de verificar a flutuabilidade.

6.2.3. Esforços solicitantes

As figuras a seguir apresentam os esforços solicitantes.

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

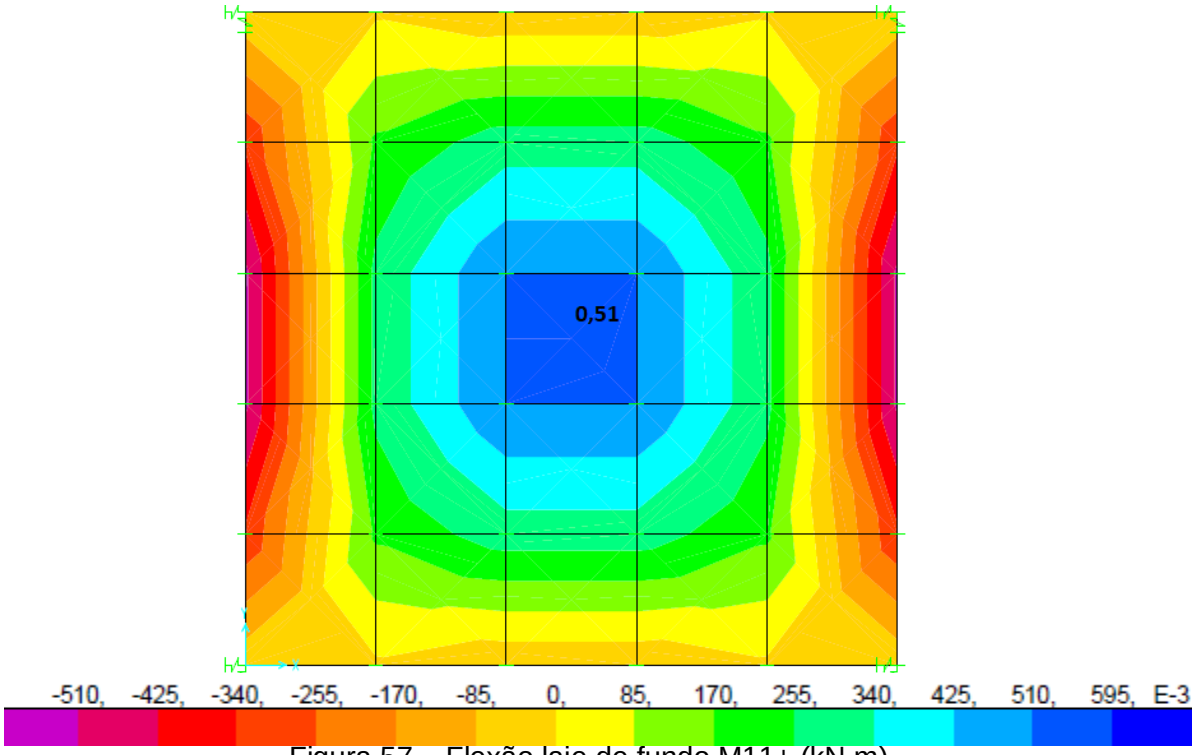


Figura 57 – Flexão laje de fundo M11+ (kN.m).

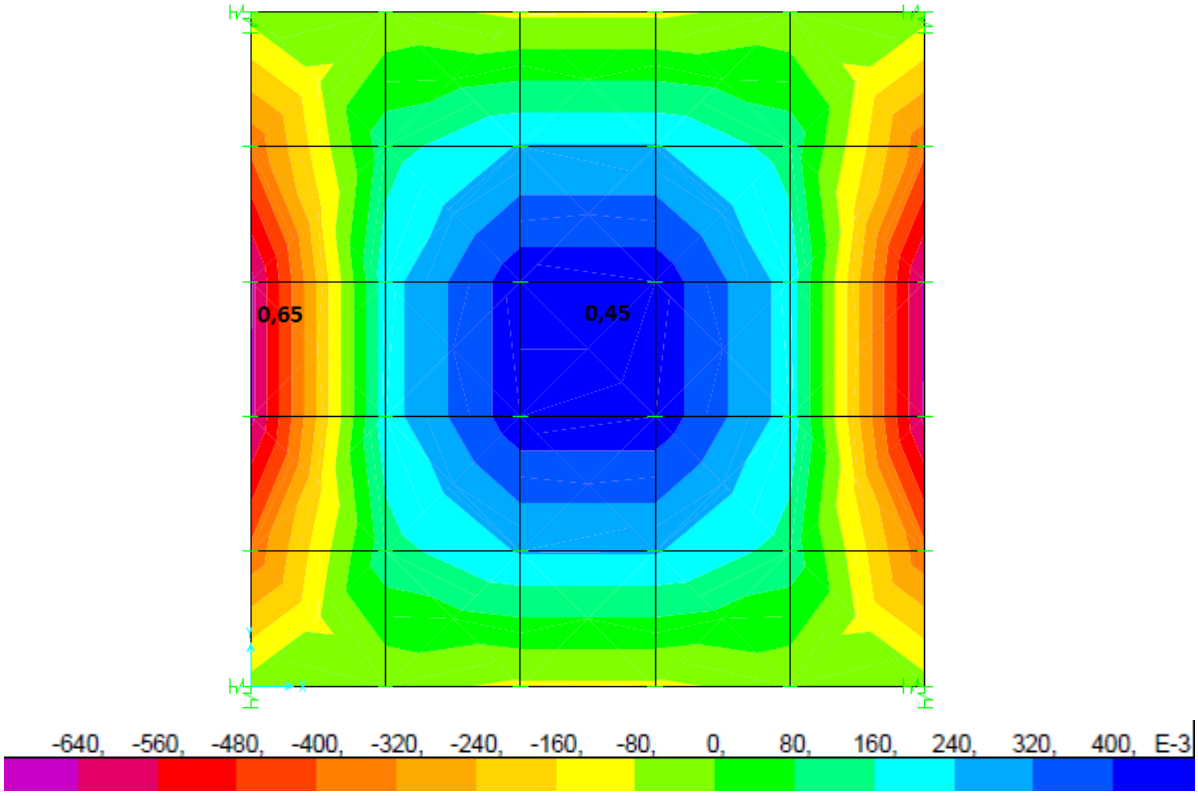


Figura 58 – Flexão laje de fundo M11- (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

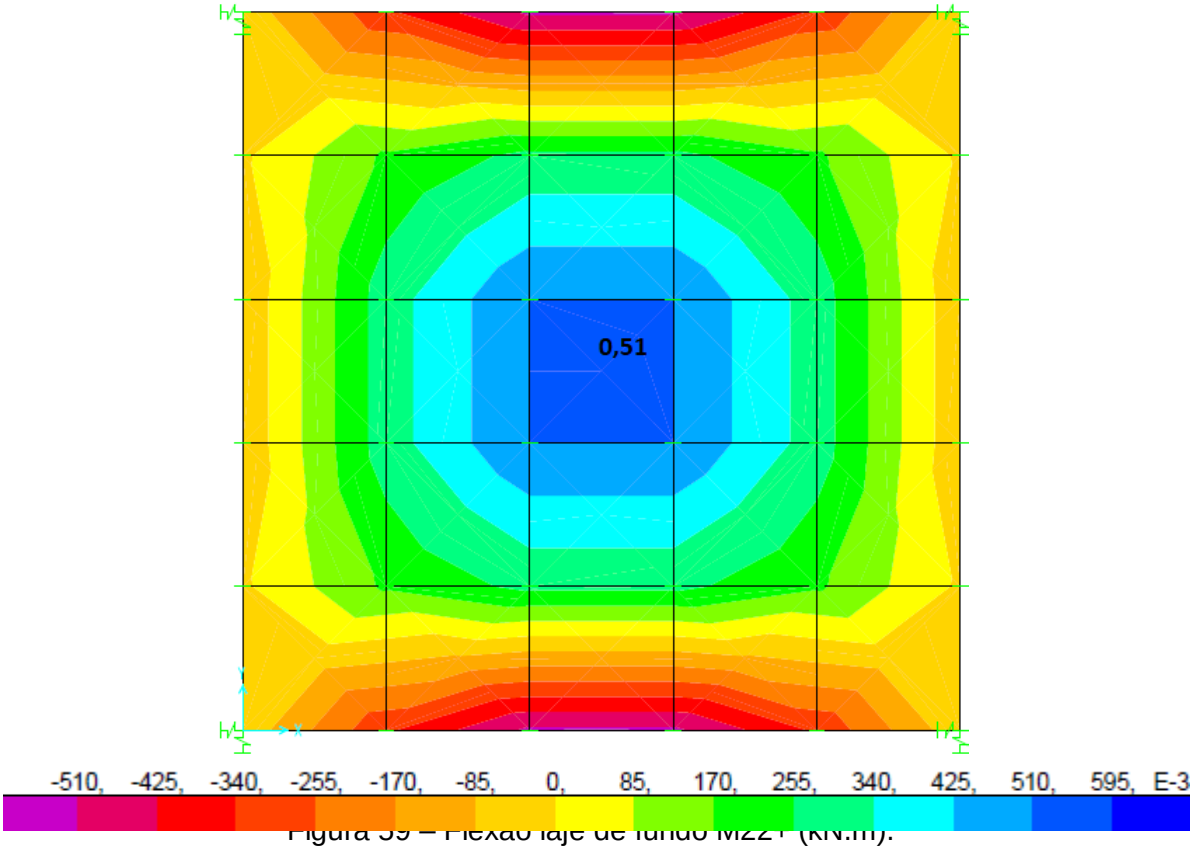


Figura 59 – Flexão laje de fundo M22+ (kN.m).

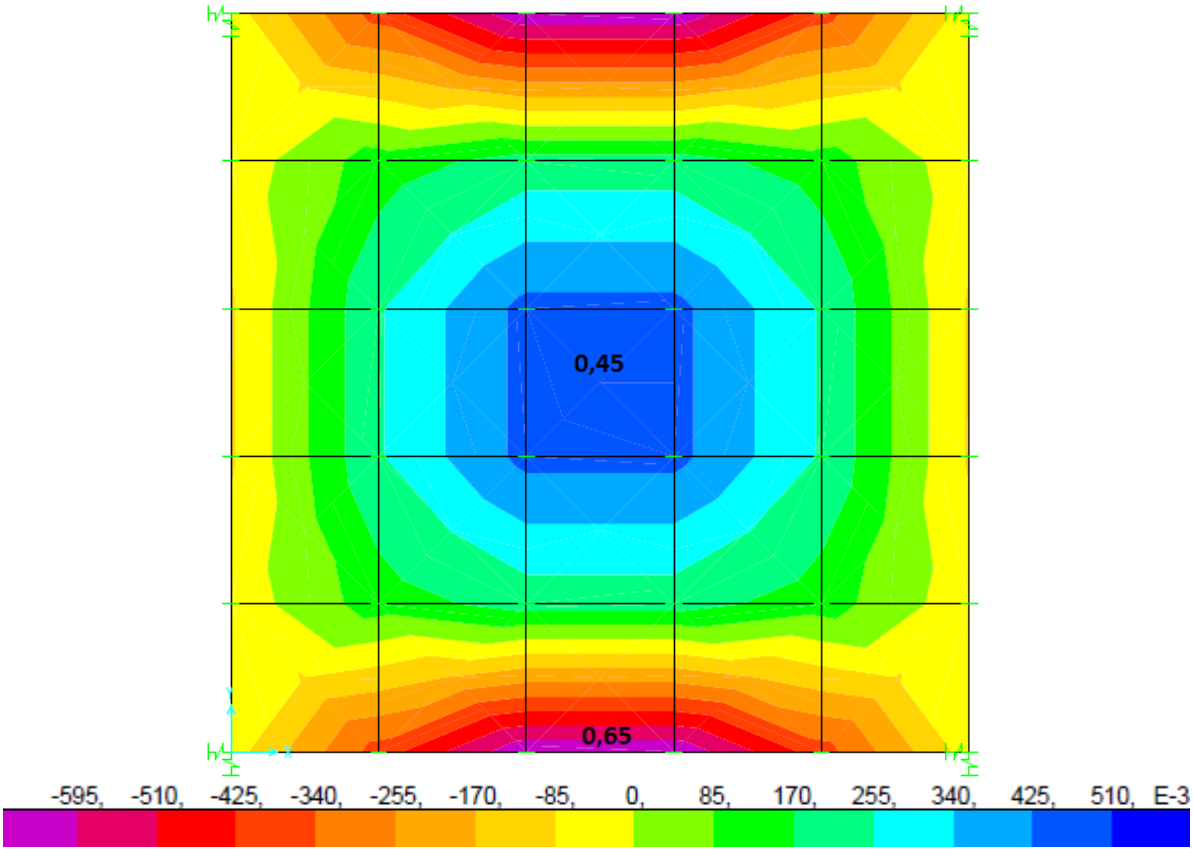


Figura 60 – Flexão laje de fundo M22- (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

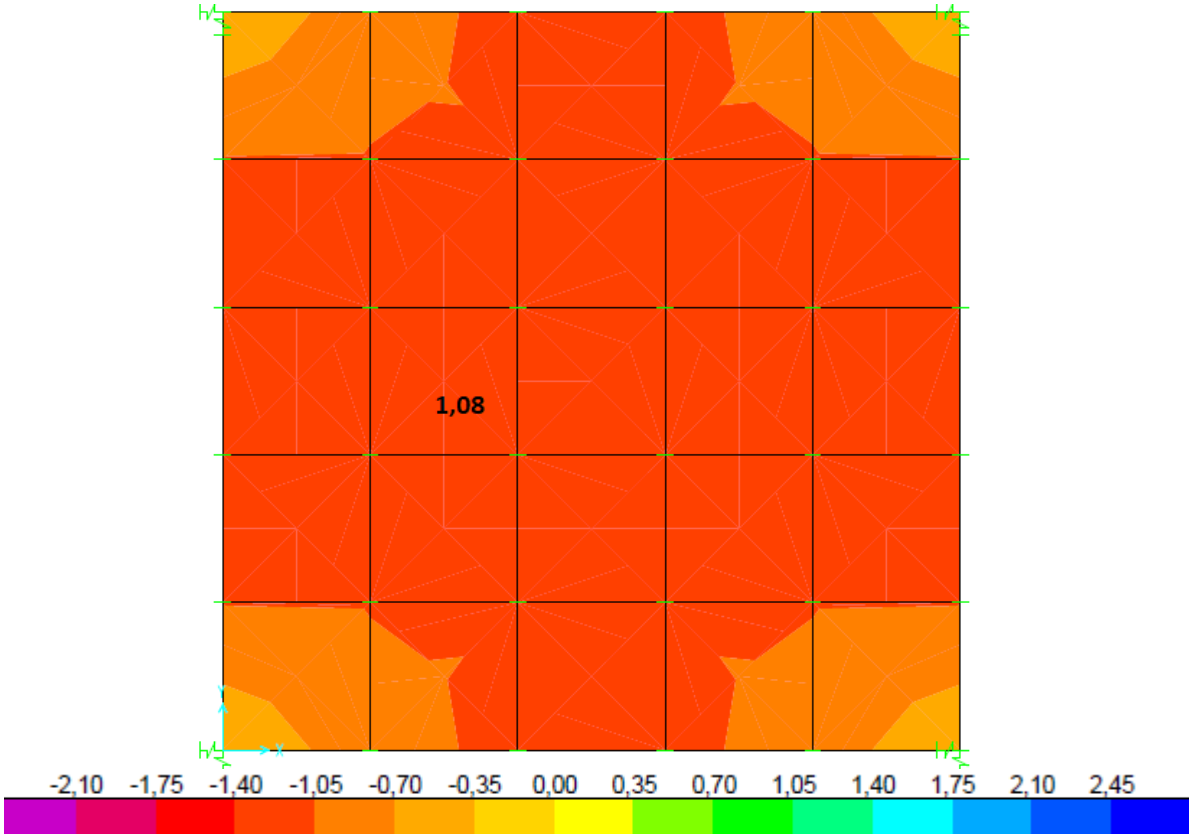


Figura 61 – Esforço Normal laje de fundo F11 (kN).

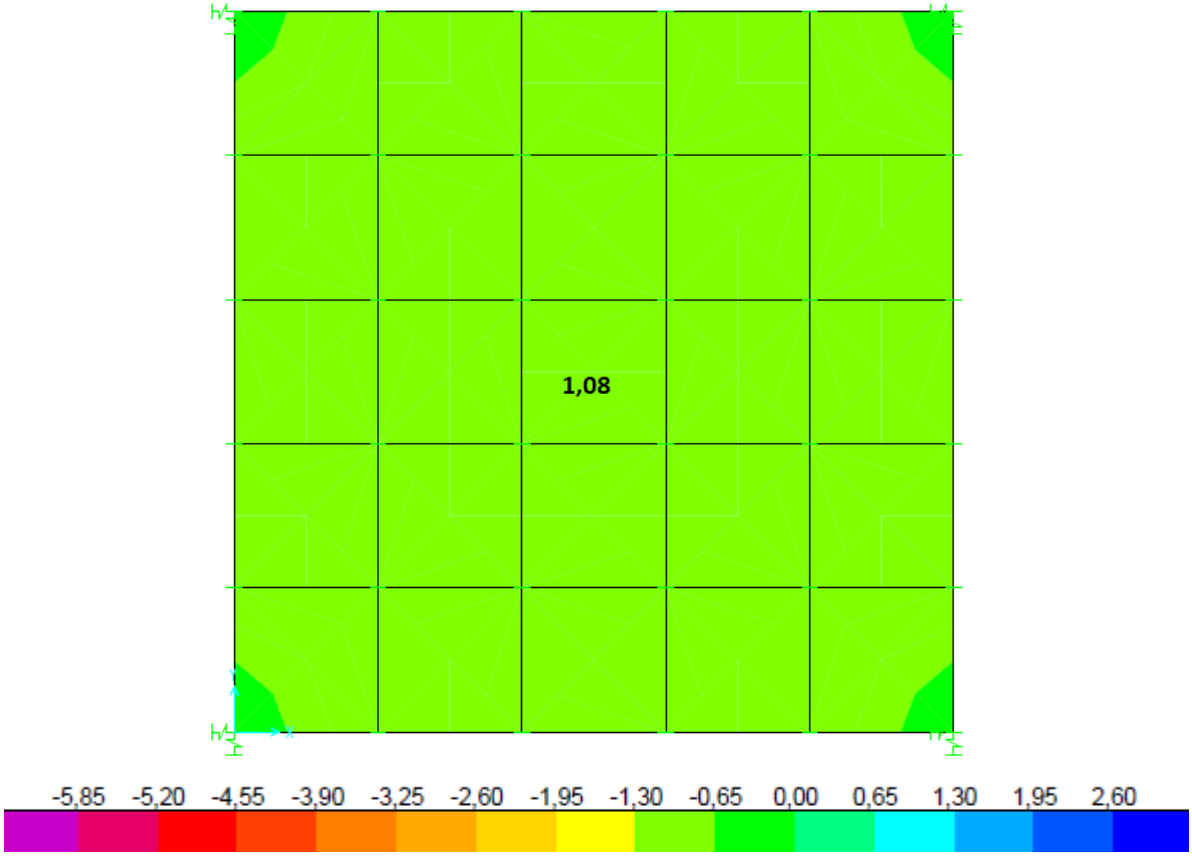


Figura 62 – Esforço Normal laje de fundo F22 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

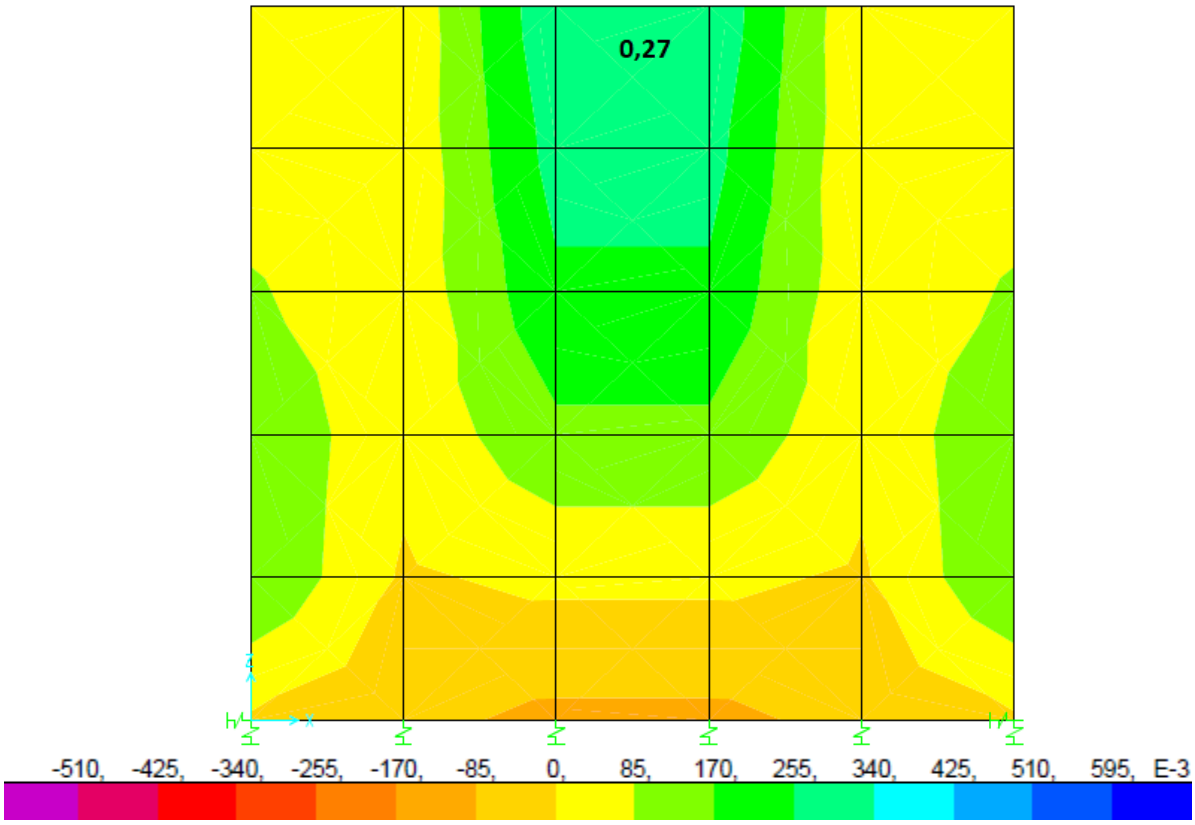


Figura 63 – Flexão paredes M11+ (kN.m).

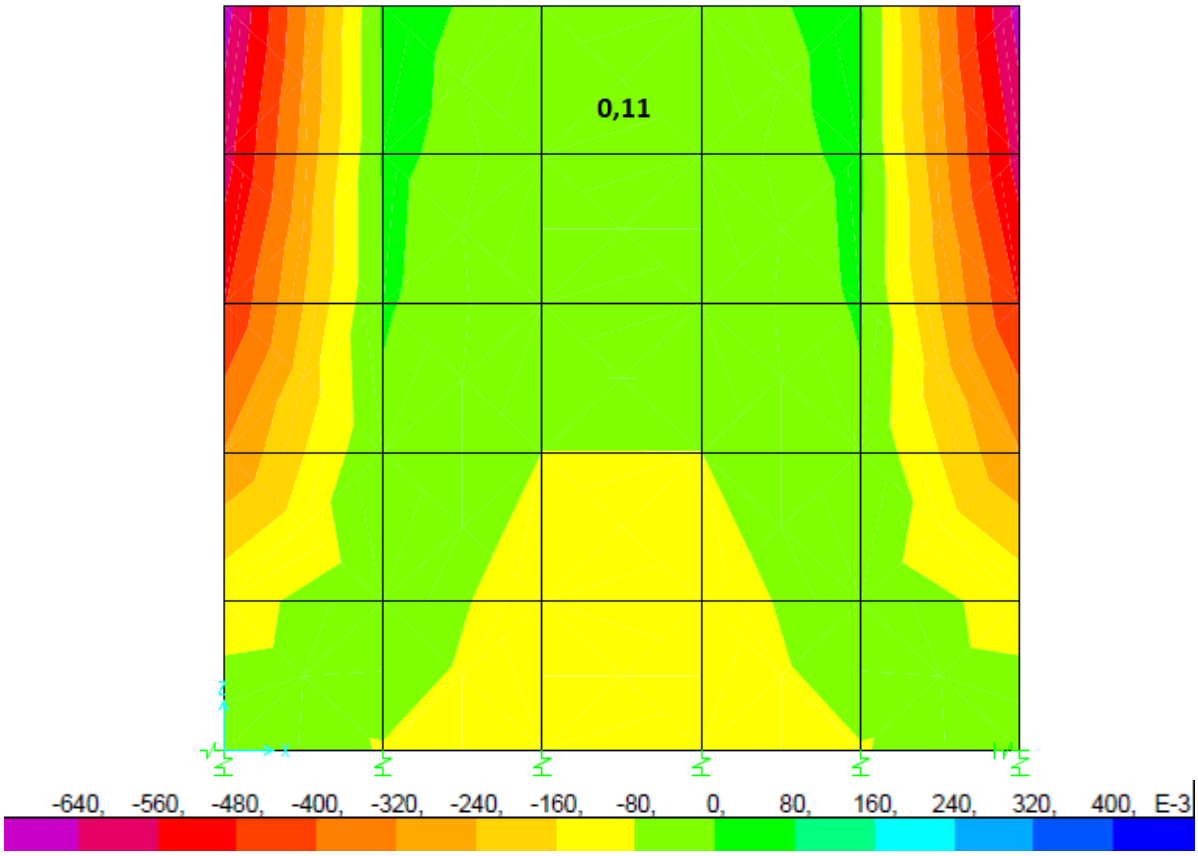


Figura 64 – Flexão paredes M11- (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

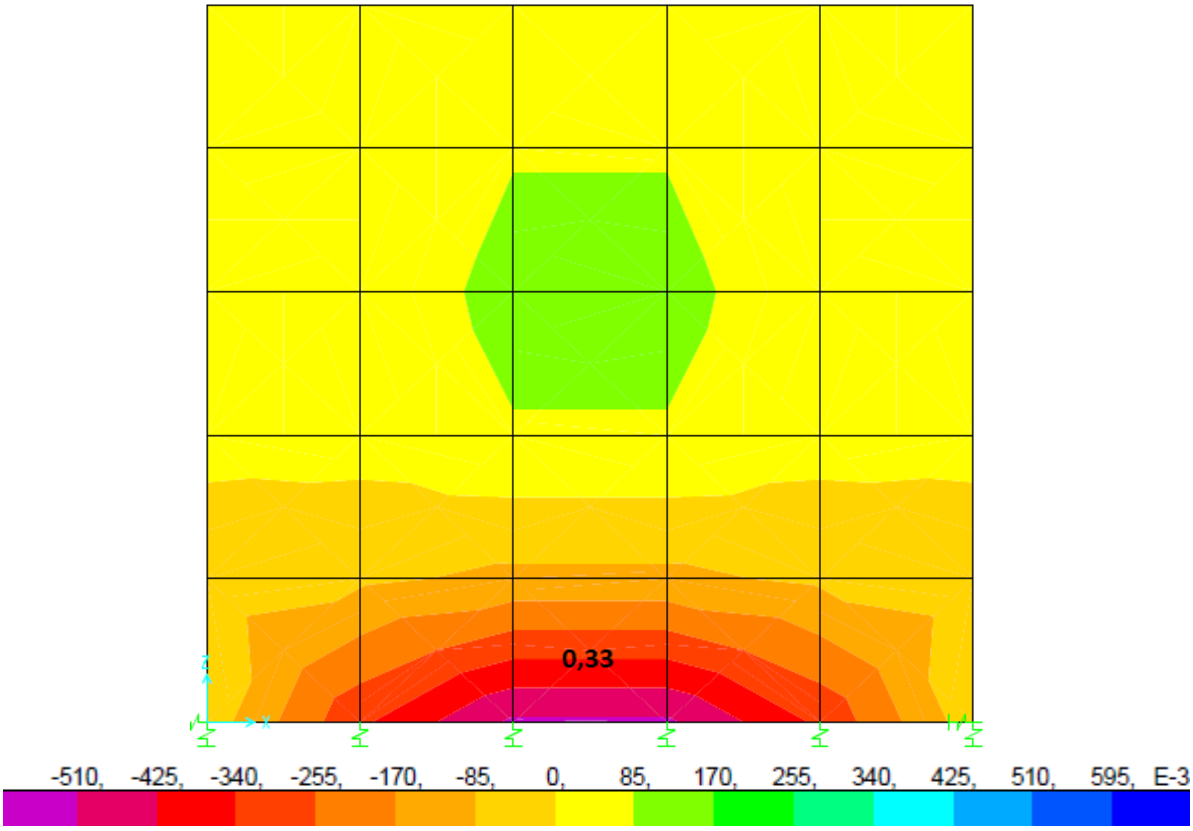


Figura 65 – Flexão paredes M22+ (kN.m).

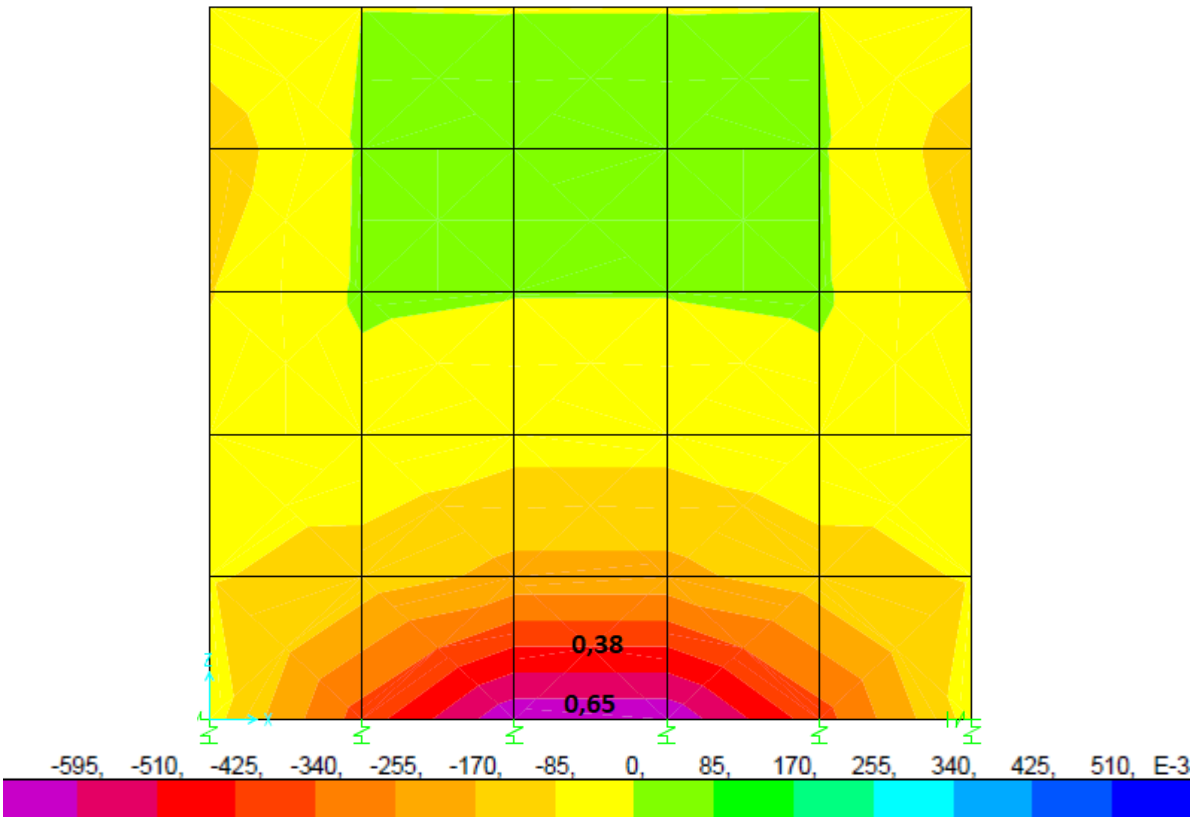


Figura 66 – Flexão paredes M22- (kN.m).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

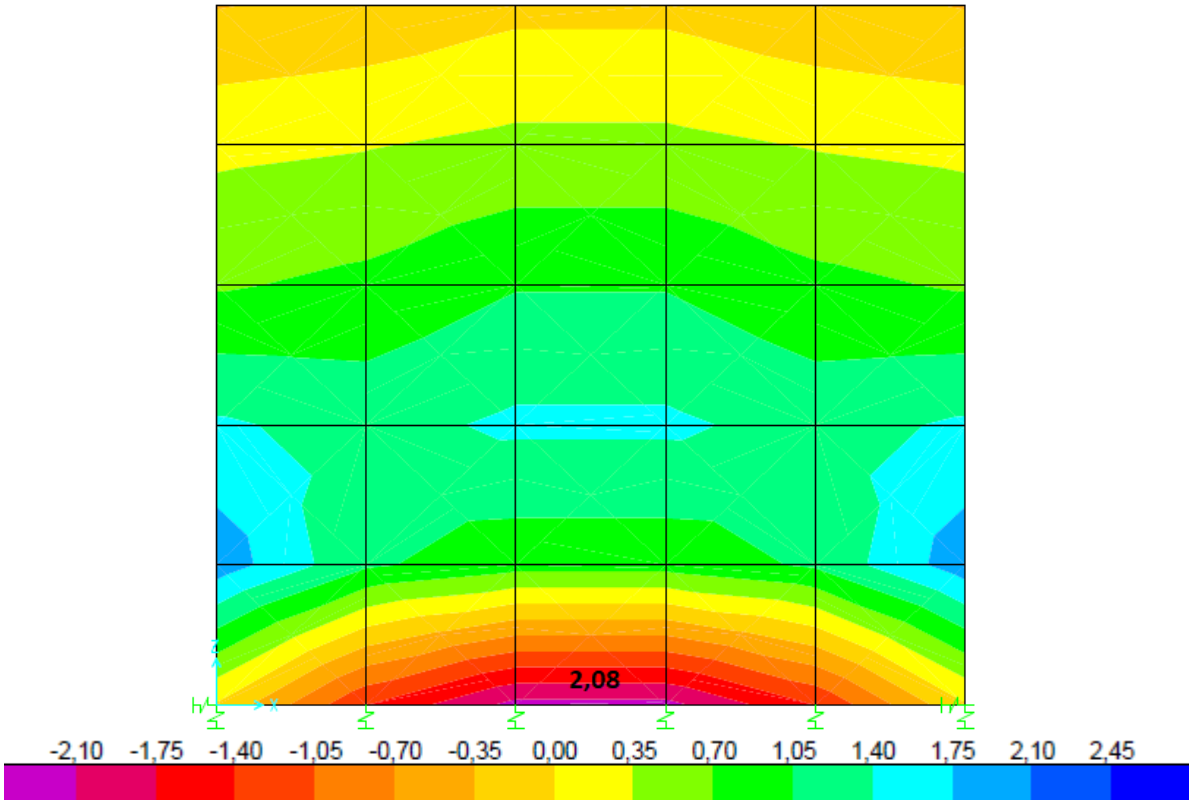


Figura 67 – Esforço Normal paredes F11 (kN).

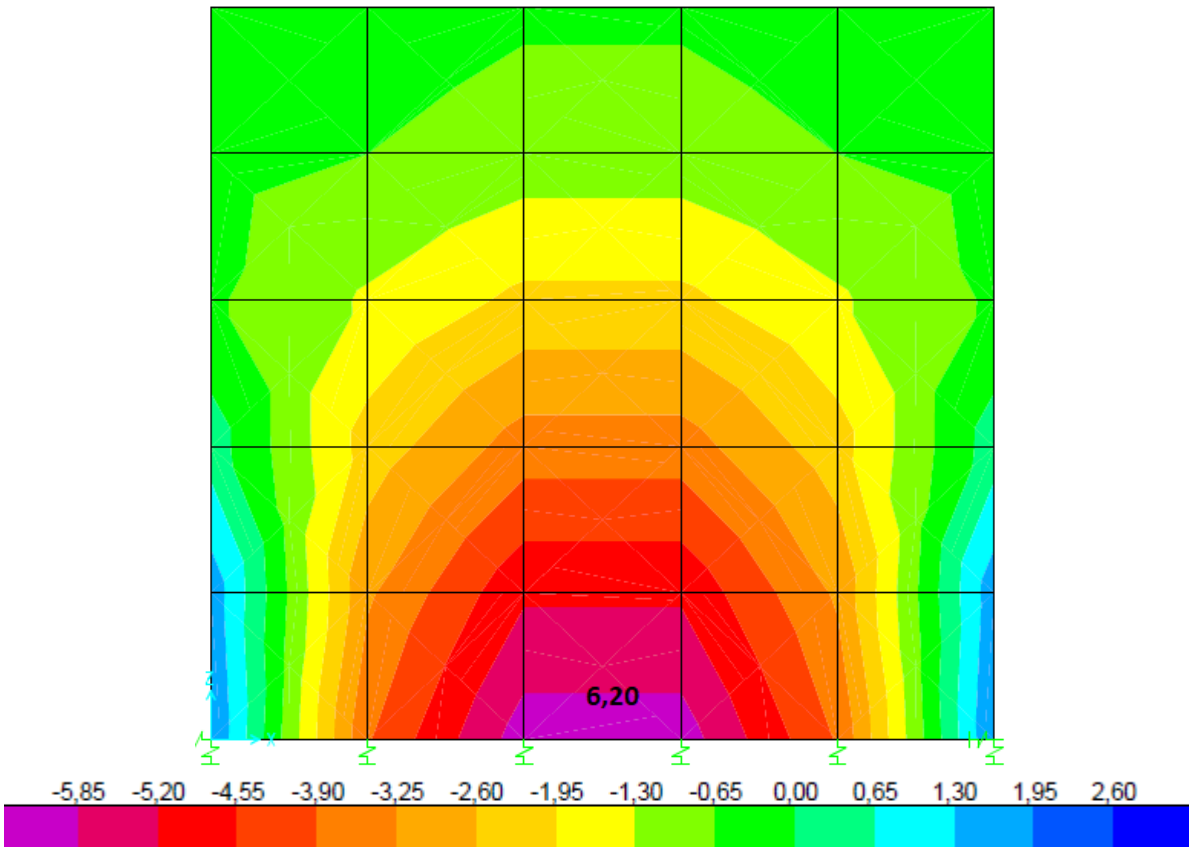


Figura 68 – Esforço Normal paredes F22 (kN).

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

Tabela 6 – Resumo de esforços solicitantes máximos.

Estrutura	Seção (cm)	Flexão (kNm)				Engaste (kNm)		Esforço Normal (kN)	
		M11-	M11+	M22-	M22+	M11	M22	F22	F22
Laje Fundo	15	0,45	0,51	0,45	0,51	0,65	0,65	1,08	1,08
Paredes	15	0,11	0,27	0,38	0,33	0,66	0,65	2,08	6,20

6.3. Dimensionamento das armaduras

6.3.1. Laje de fundo h=15cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEB BOA VISTA - CX VALVULA - LF15

f_{ck}(MPa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
LF15	M11-	15	10	45	108	50	0,00	0,16	2,68	0,000	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
LF15	M11+	15	10	51	108	50	0,00	0,18	2,68	0,000	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
LF15	M22-	15	10	45	108	50	0,00	0,16	2,68	0,000	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
LF15	M22+	15	10	51	108	50	0,00	0,18	2,68	0,000	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
ENG	M11	15	10	65	108	50	0,00	0,23	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
ENG	M22	15	10	65	108	50	0,00	0,23	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 2{,}68\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y $\emptyset 6{,}3\ c/10 = 315\ cm^2/m > As_{CAL}\ (ok)$

6.3.2. Paredes e=15cm

Cliente: CESAN - GANEM Área: EEB BOA VISTA - CX VALVULA - PAR15

f_{ck}(MPa)= 30 d' (cm)= 5 Coeficiente de Minoração Res Aço γ_c = 1,15
$w_{k\ lim}$= 0,300 mm Espaçamento máximo = 20 cm Coeficiente de Minoração Res Concreto γ_c = 1,4
Coeficiente de Majoração das Cargas γ_f = 1,4

Identif.	Direção	h (cm)	d (cm)	M_k (Kgf*m)	T_k (Kgf)	f_{yk}(KN/cm²)	As' (cm²)	As (cm²)	As_{fiss} (cm²)	W_{final} (mm)	ø (mm)	esp. (cm)	Detalham.	
PAR15	M11-	15	10	11	208	50	0,00	0,07	2,68	0,000	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
PAR15	M11+	15	10	27	208	50	0,00	0,12	2,68	0,000	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
PAR15	M22-	15	10	38	620	50	0,00	0,22	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
PAR15	M22+	15	10	33	620	50	0,00	0,21	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
ENG	M11	15	10	66	208	50	0,00	0,25	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0
ENG	M22	15	10	65	620	50	0,00	0,31	2,68	0,001	6,3	11,6	ø 6,3	c/ 10,0

Conforme planilha $As_{calculada} = 2{,}68\ cm^2/m$.

Armadura adotada em X/Y $\emptyset 6{,}3\ c/10 = 315\ cm^2/m > As_{CAL}\ (ok)$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br

6.3.3. Tampa h=10cm

Concreto	
f_{ck} MPa	30
E_{cs} MPa	27000

Aço	
f_{yk} MPa	500
E_s MPa	210000

Consumo de Materiais Custo (MO+MT+EQ+DI)	
aço kg	2
concreto m^3	0,23
forma m^2	2,0
kg/m^3	8,2
kg/m^2	0,98
m^3/m^2	0,120
aço R$/kg	6,50
concr.R$/$m^3$	450
forma R$/$m^2$	65
Custo R$	244

Laje: (•) MACIÇA ( ) NERVURADA

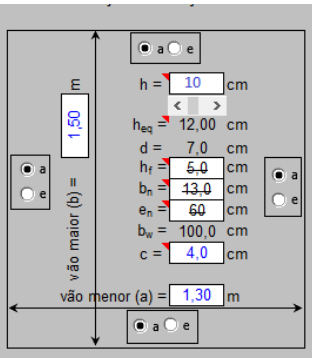
Norma	NBR

Resumo - Verificações	Status	S_d / R_d
ELU-M - Momento	OK!	0,03
ELU-V - Cortante	OK!	0,06
ELS-W - Fissura	OK!	0,00
ELS-DEF - Flecha	OK!	0,01

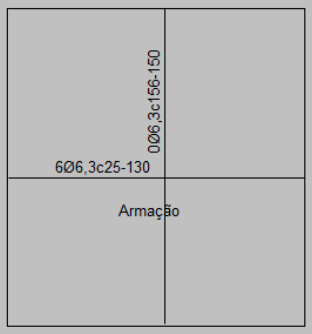
Esforços e Flechas: ( ) MUSSO ( ) BURKE ( ) CZERNY (•) BARES ( ) MARCUS

Ações	
G_{PP} kN/m^2	3,00
G_{EX} kN/m^2	1,00
Q kN/m^2	2,00

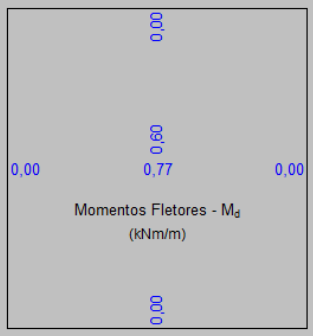
Ponderação das Ações	ELU-M/V	ELS-W	ELS-DEF
γ_G	1,40	1	1
γ_Q	1,40	0,6	0,4



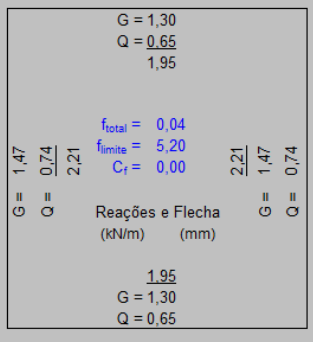
ELU-M - Momento Fletor	a	a_e	b	b_e
ϕ mm	6,3	6,3	6,3	6,3
e cm	25		156	
M_{Gk} kNm/m	0,37	0,00	0,29	0,00
M_{Qk} kNm/m	0,18	0,00	0,14	0,00
M_d kNm/m	0,77		0,60	
A_s cm^2/m	1,21		0,20	
$A_{s,ado}$ cm^2/m	1,25		0,20	
A'_s cm^2/m	0,00		0,00	
A_s cm^2/nerv				
ρ	0,18%		0,03%	
λx cm	0,060		0,047	
$M_{d,lim}$	26,35		26,35	
$M_d/M_{d,lim}$	0,03		0,02	
Status	OK!		OK!	
$A_{s,mesa}$	ϕ mm		e cm	



ELU-V - Força Cortante	a	a_e	b	b_e
V_{Gk} kN/m	1,47	0,00	1,30	0,00
V_{Qk} kN/m	0,74	0,00	0,65	0,00
V_d kN/m	3,09		2,73	
V_{Rd1} kN/m	49,29		46,97	
V_d/V_{Rd1}	0,06		0,06	
Status	OK!		OK!	



ELS-W - Abertura de Fissura	a	a_e	b	b_e
M_F kNm/m	0,47		0,37	
M_r kNm/m	6,95		6,95	
x_2 cm	1,07		0,45	
I_2 cm^4	382		70	
w_k mm	0,000		0,000	
w_{lim} mm	0,30			
w_k/w_{lim}	0,00		0,00	
Status	OK!		OK!	



ELS-DEF - Flecha	a	b	QP kN/m^2	4,80
M_{QP} kNm/m	0,44	0,34	M_r kNm/m	6,95
seção	não fissurada	não fissurada	f	0,06208
$I_{e,QP}$ cm^4	14400	14400	$f_{elástica}$ mm	0,02
$E_{cs}I_c$ kNcm^2	38880000	38880000	$I_{c,R}$ cm^4/m	14400
$E_{cs}I_e$	16736978	16736978	$I_{c,T}$ cm^4/m	14400
$E_{cs}I_e/E_{ce}I_e$	2,32	2,32	$C_{f,limite}$ mm	3,7
C_{flecha} mm	f_{total} mm	f_{limite} mm	f_{total}/f_{limite}	Status
0,0	0,04	5,2	0,01	OK!

Sera adotada a armadura simples em X/Y $\emptyset 6{,}3\ c/10 = 3{,}15\ cm^2/m$

Avenida AB, n° 518, 1° andar, bairro Manoel Plaza, Serra/ES - CEP 29160-450 - CNPJ 00.336.808/0001-44
Fones: (27) 3337-0072 / 8819-4614 Email: julio@ganemengenharia.com.br