

CAGECE – COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ

**MEMORIA DE CÁLCULO – ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA
RECUPERADAS**



Cagece

Serra/ES

30 de agosto de 2017

ÍNDICE

| <u>ITEM</u> | <u>DESCRIÇÃO</u> | <u>PÁGINA</u> |
|-------------|---|--------------------|
| 1.1 | OBJETIVO..... | 3 |
| 1.2 | DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA..... | 3 |
| 1.3 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 1.4 | CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO | 3 |
| 2.0 | MODELO DE CÁLCULO | 6 |
| 2.1 | CARGAS E COMBINAÇÕES | 7 |
| 2.2 | DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES | 9 |
| 2.3 | SEÇÕES DE CONCRETO UTILIZADAS..... | 10 |
| 2.4 | FUNDAÇÕES..... | 10 |
| 5.0 | ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA RECUPERADAS..... | 12 |
| 5.1 | FUNDO | 12 |
| 5.2 | PAR1 | 15 |
| 5.3 | PAR2 | 17 |
| 5.4 | PAR3 | 19 |
| 5.5 | PAR4=PAR5..... | 21 |
| 5.6 | TAMPA | 23 |

1.1 OBJETIVO

Este presente trabalho visa desenvolver o projeto estrutural da Estação Elevatória de Água Recuperadas.

1.2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os documentos relacionados foram utilizados na elaboração deste documento ou contêm instruções e procedimentos aplicáveis a ele. Devem ser utilizados na sua revisão mais recente:

- 10_SES_Palmeira Comprida_EEAR_01.03

1.3 INTRODUÇÃO

O presente trabalho complementa as pranchas de armação e formas relativas à: da Estação Elevatória de Água Recuperadas.

O dimensionamento dos elementos citados fora executado tomando como base as normas que seguem:

- NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos
- NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações
- NBR 6122 – Projeto e execução de fundações
- NBR 6123 – Força devidas ao vento em edificações
- NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos.

Documentos técnicos e livros como:

- Resistência do Materiais, V. Feodosiev
- Curso de Concreto Armado, José Milton de Araújo

Além dos softwares de dimensionamento e análise hiperestática: STRAP 2011

1.4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO

- Fck: 40 MPa
- Fator água-cimento: 0.45 (máximo)
- Aço CA 50 e CA 60
- Es: 210 GPa
- Deformação limite do aço para dimensionamento: 10%.
- Grau de agressividade do Meio Ambiente: IV (NBR 6118/2014)
- Limite de abertura de Fissuras ≤ 0.2 mm
- Dimensão máxima do agregado graúdo: 25 mm
- Método para análise de 2° Ordem Global: Gama Z
- Compactação com Proctor normal à 100%

➤ Classe de Agressividade Ambiental NBR6118:2014

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|---|---------------|--|------------------------------------|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana ^{a, b} | Pequeno |
| III | Forte | Marinha ^a | Grande |
| | | Industrial ^{a, b} | |
| IV | Muito forte | Industrial ^{a, c} | Elevado |
| | | Respingos de maré | |
| ^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura). | | | |
| ^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove. | | | |
| ^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas. | | | |

➤ Cobrimento de acordo com a Classe de Agressividade Ambiental NBR6118:2014

| Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm | | | | | |
|---|--|--|----|-----|-----------------|
| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1) | | | |
| | | I | II | III | IV ^c |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje ^b | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo ^d | 30 | | 40 | 50 |
| Concreto protendido ^a | Laje | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Viga/pilar | 30 | 35 | 45 | 55 |
| ^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado. ^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm. ^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV. ^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm. | | | | | |

- Limite de Abertura de Fissuras de acordo com a Classe de Agressividade Ambiental NBR6118:2014

| Tabela 13.4 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental | | | |
|---|---|------------------------------------|---|
| Tipo de concreto estrutural | Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão | Exigências relativas à fissuração | Combinação de ações em serviço a utilizar |
| Concreto simples | CAA I a CAA IV | Não há | – |
| Concreto armado | CAA I | ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm | Combinação frequente |
| | CAA II e CAA III | ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm | |
| | CAA IV | ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm | |
| Concreto protendido nível 1 (protensão parcial) | Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II | ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm | Combinação frequente |
| Concreto protendido nível 2 (protensão limitada) | Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV | Verificar as duas condições abaixo | |
| | | ELS-F | Combinação frequente |
| | | ELS-D ^a | Combinação quase permanente |
| Concreto protendido nível 3 (protensão completa) | Pré-tração com CAA III e IV | Verificar as duas condições abaixo | |
| | | ELS-F | Combinação rara |
| | | ELS-D ^a | Combinação frequente |
| ^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1). | | | |
| NOTAS | | | |
| 1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2. | | | |
| 2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens. | | | |
| 3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental. | | | |

- Fator Água-Cimento de acordo com a Classe de Agressividade Ambiental NBR6118:2014

| Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Concreto ^a | Tipo ^{b, c} | Classe de agressividade (Tabela 6.1) | | | |
| | | I | II | III | IV |
| Relação água/cimento em massa | CA | $\leq 0,65$ | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,45$ |
| | CP | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,50$ | $\leq 0,45$ |
| Classe de concreto (ABNT NBR 8953) | CA | $\geq C20$ | $\geq C25$ | $\geq C30$ | $\geq C40$ |
| | CP | $\geq C25$ | $\geq C30$ | $\geq C35$ | $\geq C40$ |
| ^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido. | | | | | |

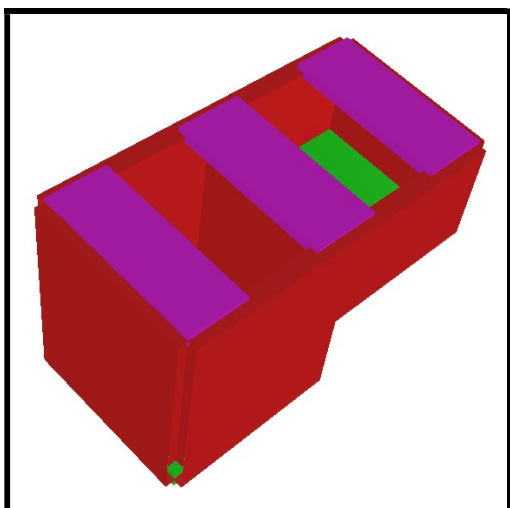
- Dimensão máxima do agregado graúdo - NBR6118:2014

7.4.7.6 A dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20 % a espessura nominal do cobrimento, ou seja:

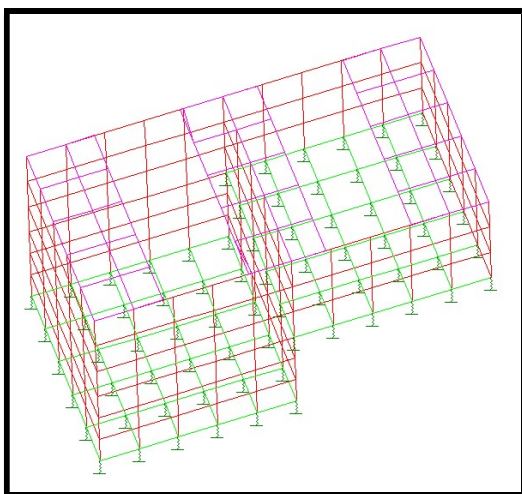
$$d_{\text{máx}} \leq 1,2 c_{\text{nom}}$$

2.0 MODELO DE CÁLCULO

Laje de piso do reservatório apoiado sobre base elástica. O campo de deslocamentos e tensões foi calculada adotando-se a metodologia implementada pelo software comercial STRAP VERSÃO 2011.



PERSPECTIVA 3D - Estação Elevatória de Água Tratada Apoiada sobre Base Elástica



PERSPECTIVA 3D NÓS - Estação Elevatória de Água Tratada Apoiada sobre Base Elástica

CARGAS E COMBINAÇÕES

Ações Permanentes:

- g1 - Peso próprio do concreto (permanente direta)
- g2 - Empuxo de terra (permanente direta)
- q1 - Água

Ações Variáveis Acidentais:

- q2 - Sobrecarga

Coeficientes de ponderação (γ_g , γ_q), fatores de combinação (ψ_q), e fatores de redução (ψ_1 , ψ_2) para:

- Combinação Normal (CN) em Estado Limite de Utilização (ELU);
- Combinação Quase Permanente (CQP) em Estado Limite de Serviço (ELS);
- Combinação Freqüente (CF) em Estado Limite de Serviço (ELS).

| | CN-ELU | CQP-ELS | CF-ELS |
|--------------------------------|------------|------------|------------|
| Ações Permanentes: | γ_g | γ_g | γ_g |
| Cargas permanentes | 1,4 | 1 | 1 |
| Retração | 1,2 | 1 | 1 |
| Ações Variáveis (qdo. princ.): | γ_q | γ_q | γ_q |
| Sobrecarga | 1,4 | 1 | 1 |
| Empuxo hidrostático | 1,4 | 1 | 1 |
| Gradiente térmico | 1,2 | 1 | 1 |
| Ações Variáveis (qdo. secnd.): | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
| Sobrecarga | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| Empuxo hidrostático | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| Gradiente térmico | 0,6 | 0,5 | 0,3 |

Grandezas Físicas das Ações:

- g1 - Peso próprio do concreto = Volume dos elementos multiplicado pelo peso específico do concreto armado. Unidades: peso em tf e o volume em m³.
- g2 - Empuxo de terra

Argila com areia fina cor variegada

$\gamma_t = 18,00 \text{ kN/m}^3$ Godoy, 1972

$\phi = 0^\circ$ $K_0 = 1,00$ $K_0 = 1 - \tan \phi$

$p = K_0 \cdot \gamma_t \cdot h$

- g3 - Enchimentos = Volume do elemento multiplicado pelo peso específico do material. Unidades: peso em tf e volume em m³.
- g4 - Retração: Não Consideramos uma retração em toda a estrutura
- q1 - Empuxo Hidrostático interno: Em todas as faces internas estão sendo aplicada uma pressão de base ao topo. O peso específico utilizado no cálculo destas pressões é o da água, igual a 1tf/m³ multiplicado pela altura da lamina d'água.
- q2 - Sobrecarga: Nas lajes de tampa e escadas foram consideradas sobrecargas de utilização iguais a 0,3 tf/m².
- q3 - gradiente térmico: Não foi considerado, as estruturas estão enterradas e as partes expostas tem pequenas dimensões e em consequência as deformações devido ao gradiente térmico são insignificantes.

Combinações:

Estado Limite Último - ELU-CN (cheio):

$$C01 = 1,40.(g1+g3)+g2+1,40.q1+1,20.q2$$

$$C02 = 1,40.(g1+g3)+g2+1,40.q2+1,20.q1$$

Estado Limite Último - ELU-CN (vazio):

$$C03 = 1,40.(g1+g2+g3)+1,40.q2$$

Estado Limite de Serviço ELS-CF (cheio)

$$C05 = 1,00.(g1+g2+g3)+0,70.q1+0,60.q2$$

$$C06 = 1,00.(g1+g2+g3)+0,70.q2+0,60.q1$$

Estado Limite de Serviço ELS-CF (vazio)

$$C07 = 1,00.(g1+g2+g3)+0,70.q2$$

Especial, para verificação da flutuação

$$C08 = 1,00.(g1+g3)+1,00.q4$$

2.1 DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES

Os cálculos de paredes e lajes de fundo e tampas foram considerados um elemento estrutural de 100 cm de largura e altura h , para o dimensionamento a flexo-tração com a força da envoltória máxima nas direções x e y e momentos da envoltória máxima e mínima nas direções x e y . A compressão aqui foi desprezada por entender que a solicitação máxima acontece quando o elemento estrutural em questão é tracionado junto com a flexão.

Após a verificação da flexo-tração o elemento foi verificado com relação à formação de fissuras.

Momento mínimo para a dispensa de análise de fissuração (ESTÁDIO I e II):

$$M_R = \alpha f_{ct} I_o / y_t [tf \cdot m] \quad (1)$$

Calculando teremos, M_r para um $f_{ck} = 40$ MPa e h variado igual à:

- $h=15\text{cm}$; $M_r = 3,45tf \cdot m$
- $h=20\text{cm}$; $M_r = 4,60tf \cdot m$
- $h=25\text{cm}$; $M_r = 5,75tf \cdot m$
- $h=30\text{cm}$; $M_r = 6,90tf \cdot m$
- $h=40\text{cm}$; $M_r = 9,20tf \cdot m$

Armadura mínima prevista em norma:

$$A_{s,min} = \rho_{min} 100h \left[\frac{cm^2}{m} \right] \quad (2)$$

Sendo ρ_{min} taxa de armadura mínima conforme a NBR 6118.

| Tabela 17.3 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas | | | | | | | | | |
|--|---|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Forma da seção | Valores de $\rho_{\min}^{1)}$ ($A_{s,\min}/A_c$) % | | | | | | | | |
| | ω_{\min} | f_{ck} | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| Retangular | 0,035 | | 0,150 | 0,150 | 0,173 | 0,201 | 0,230 | 0,259 | 0,288 |
| T (mesa comprimida) | 0,024 | | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,158 | 0,177 | 0,197 |
| T (mesa tracionada) | 0,031 | | 0,150 | 0,150 | 0,153 | 0,178 | 0,204 | 0,229 | 0,255 |
| Circular | 0,070 | | 0,230 | 0,288 | 0,345 | 0,403 | 0,460 | 0,518 | 0,575 |

1) Os valores de ρ_{\min} estabelecidos nesta tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{\min} deve ser recalculado com base no valor de ω_{\min} dado.

NOTA - Nas seções tipo T, a área da seção a ser considerada deve ser caracterizada pela alma acrescida da mesa colaborante.

Calculando teremos, $A_{s,min}$ para um $f_{ck} = 40\text{MPa}$, $b=100\text{cm}$, seção retangular e h variado igual à:

- $h=15\text{cm}$; $A_{s,min} = 3,45\text{cm}^2/\text{m}$ $\varnothing 8 \text{ C}/12$ ou $\varnothing 10 \text{ C}/20$
- $h=20\text{cm}$; $A_{s,min} = 4,60\text{cm}^2/\text{m}$ $\varnothing 10 \text{ C}/15$
- $h=25\text{cm}$; $A_{s,min} = 5,75\text{cm}^2/\text{m}$ $\varnothing 10 \text{ C}/12$ ou $\varnothing 12,5 \text{ C}/20$
- $h=30\text{cm}$; $A_{s,min} = 6,90\text{cm}^2/\text{m}$ $\varnothing 12,5 \text{ C}/15$ ou $\varnothing 10 \text{ C}/10$
- $h=40\text{cm}$; $A_{s,min} = 9,20\text{cm}^2/\text{m}$ $\varnothing 12,5 \text{ C}/12$ ou $\varnothing 16 \text{ C}/20$

Todas as paredes, fundo e tampas foram armados com armadura mínima.

2.2 SEÇÕES DE CONCRETO UTILIZADAS

Foram utilizadas as seguintes seções de concreto para as respectivas estruturas:

- Estação Elevatória de Água Recuperadas:

Paredes: 25cm

Fundo: 25cm

Tampa: 15cm

2.3 FUNDAÇÃO

Para a estrutura do Reservatório utilizamos a laje de fundo apoiada diretamente sobre o solo. Como modelo de cálculo adotamos um sistema de molas de resposta linear. Para obter a tensão média admissível a partir desse ensaio, utiliza-se o número médio de golpes aplicando a seguinte fórmula:

$$s = 0,20 * \text{SPT Médio (kgf/m}^2\text{)}$$

A partir dos valores de tensão média admissível é possível obter o valor de K_v por correlação, utilizando a tabela abaixo:

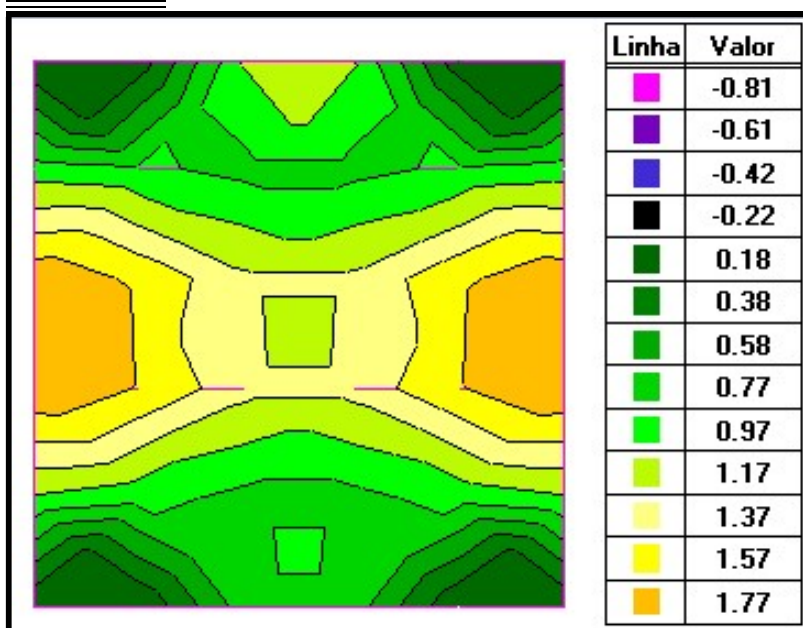
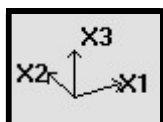
| Tensão admissível (kgf/cm ²) | Kv (kgf/cm ³) | Tensão admissível (kgf/cm ²) | Kv (kgf/cm ³) |
|---|---------------------------|---|---------------------------|
| 0,25 | 0,65 | 2,15 | 4,30 |
| 0,30 | 0,78 | 2,20 | 4,40 |
| 0,35 | 0,91 | 2,25 | 4,50 |
| 0,40 | 1,04 | 2,30 | 4,60 |
| 0,45 | 1,17 | 2,35 | 4,70 |
| 0,50 | 1,30 | 2,40 | 4,80 |
| 0,55 | 1,39 | 2,45 | 4,90 |
| 0,60 | 1,48 | 2,50 | 5,00 |
| 0,65 | 1,57 | 2,55 | 5,10 |
| 0,70 | 1,66 | 2,60 | 5,20 |
| 0,75 | 1,75 | 2,65 | 5,30 |
| 0,80 | 1,84 | 2,70 | 5,40 |
| 0,85 | 1,93 | 2,75 | 5,50 |
| 0,90 | 2,02 | 2,80 | 5,60 |
| 0,95 | 2,11 | 2,85 | 5,70 |
| 1,00 | 2,20 | 2,90 | 5,80 |
| 1,05 | 2,29 | 2,95 | 5,90 |
| 1,10 | 2,38 | 3,00 | 6,00 |
| 1,15 | 2,47 | 3,05 | 6,10 |
| 1,20 | 2,56 | 3,10 | 6,20 |
| 1,25 | 2,65 | 3,15 | 6,30 |
| 1,30 | 2,74 | 3,20 | 6,40 |
| 1,35 | 2,83 | 3,25 | 6,50 |
| 1,40 | 2,92 | 3,30 | 6,60 |
| 1,45 | 3,01 | 3,35 | 6,70 |
| 1,50 | 3,10 | 3,40 | 6,80 |
| 1,55 | 3,19 | 3,45 | 6,90 |
| 1,60 | 3,28 | 3,50 | 7,00 |
| 1,65 | 3,37 | 3,55 | 7,10 |
| 1,70 | 3,46 | 3,60 | 7,20 |
| 1,75 | 3,55 | 3,65 | 7,30 |
| 1,80 | 3,64 | 3,70 | 7,40 |
| 1,85 | 3,73 | 3,75 | 7,50 |
| 1,90 | 3,82 | 3,80 | 7,60 |
| 1,95 | 3,91 | 3,85 | 7,70 |
| 2,00 | 4,00 | 3,90 | 7,80 |
| 2,05 | 4,10 | 3,95 | 7,90 |
| 2,10 | 4,20 | 4,00 | 8,00 |

Fonte: Safe, Morrison (1993)

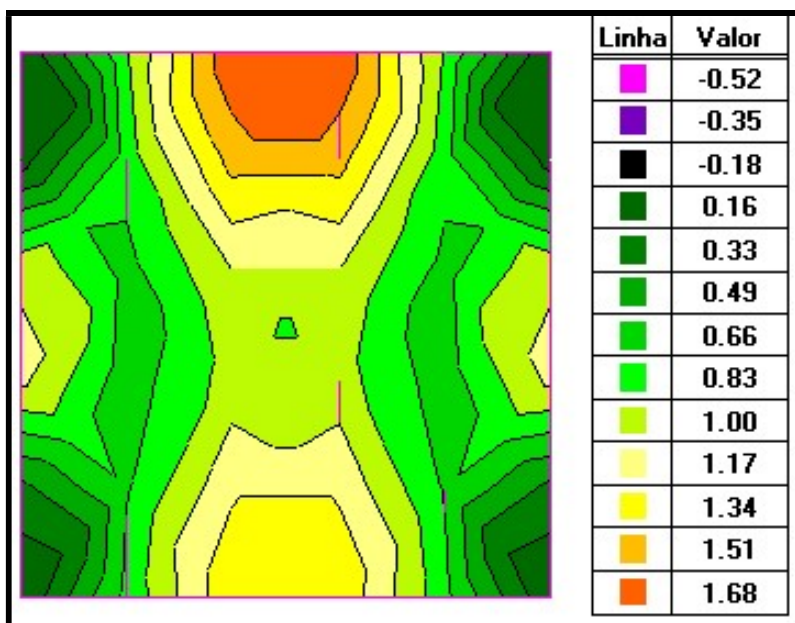
Adotamos uma taxa de solo de 4Kgf/cm², conforme sondagem fornecida. Com coeficiente de mola de $x_3=2000\text{tf/m}$

3.0 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA RECUPERADAS

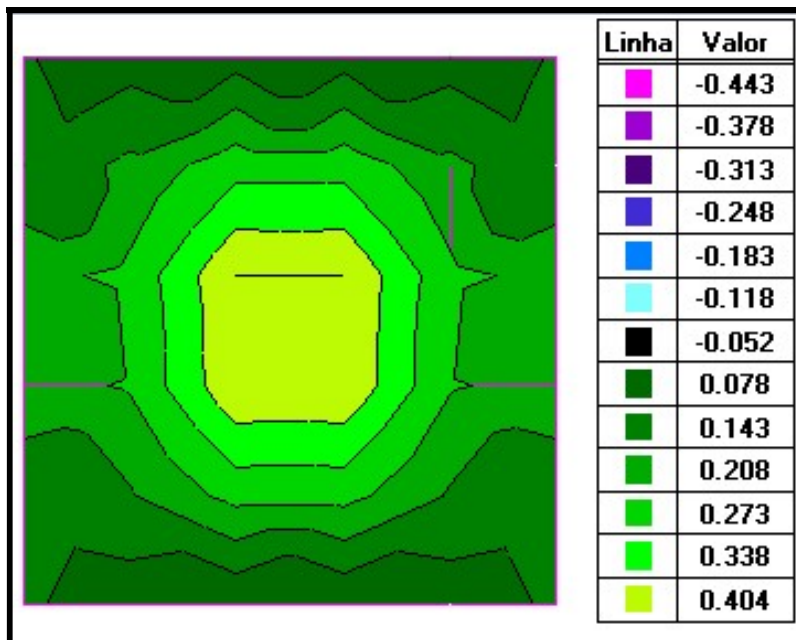
3.1 FUNDO



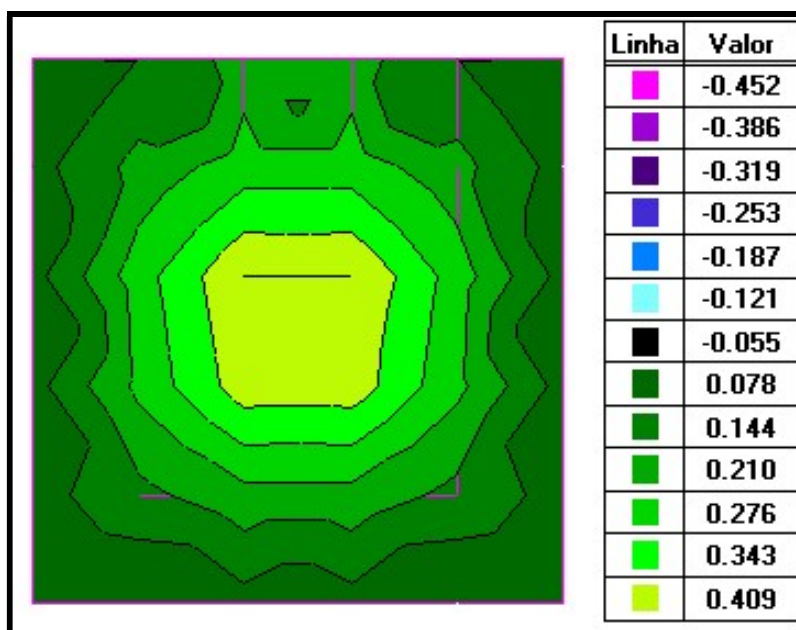
FUNDO - ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE X (tf/m)



FUNDO - ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE Y (tf/m)



FUNDO - ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE X (tf.m/m)



FUNDO – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE Y (tf.m/m)

| Lajes Maciças em Concreto Armado | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-------------|-----------|--------|---------|-------|----------------|------|------|------|---------------|
| Materiais | | | Esforços | | Seção | | SEGURANÇA | | | | |
| Aço (fyk) | fck (Mpa) | Mk (tf.m/m) | Nk (tf/m) | h (cm) | d' (cm) | ξmáx. | As,min (cm²/m) | γc | γs | γf | Classe Agres. |
| 500 | 40 | 0,41 | 1,77 | 25 | 5,0 | 0,4 | 5,75 | 1,40 | 1,15 | 1,40 | Classe IV |

| ELU - Flexão Composta - Arm. Assimétrica | | | | |
|--|------|---------|-----------|----------------|
| Armadura necessária | | Arranjo | | |
| | | Φ (mm) | Esp. (cm) | As,tot (cm²/m) |
| As1 (cm²/m) | - | 10 | 12,0 | 6,54 |
| As2 (cm²/m) | 0,31 | 10 | 12,0 | 6,54 |

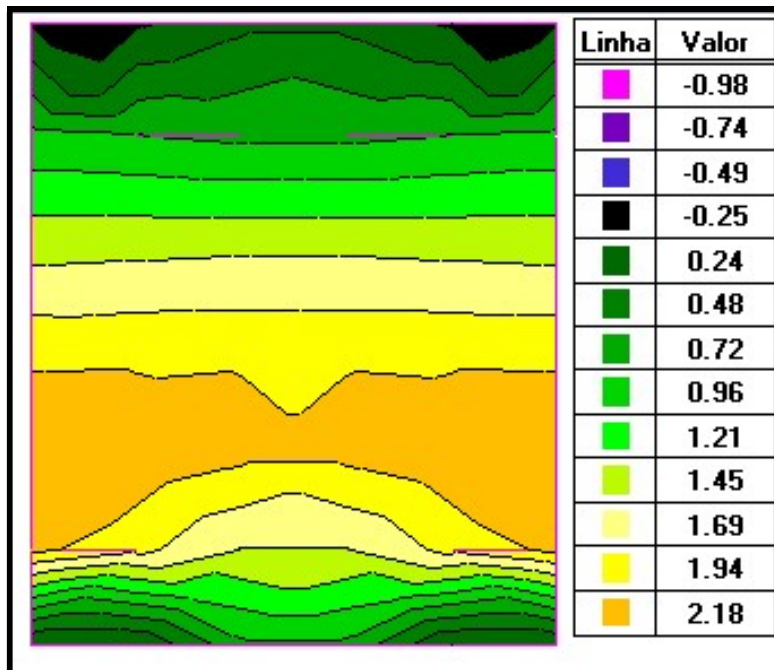
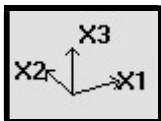
| Resumo - ELU | | | |
|--------------|-------|-------|-------|
| Zona | ξ | ω1 | ω2 |
| Zona D | 0,010 | 0,000 | 0,003 |

| Verificação Fissuras - LAJES - FLEXÃO COMPOSTA - ARM. SIMPLES- CONCRETO ARMADO | | | | | | | | | | |
|--|-------------|---------------|-------------|-----------|---------|------------|-------------|--|--|--|
| Materiais | | Esforços | | | Seção | | | | | |
| Aço (fyk) | fck (Mpa) | Mfrr (tf.m/m) | Nfrr (tf/m) | h (cm) | d' (cm) | Bitola ø | Esp. (cm) | | | |
| 500 | 40 | 0,41 | 1,77 | 25 | 5 | 10 | 12,0 | | | |
| Cálculo | | | | | | | | | | |
| As (cm²/m) | Es (Mpa) | Ecs (Mpa) | fctm (Mpa) | η1 | hi (cm) | bi (cm) | Acri (cm²) | | | |
| 6,54 | 210.000 | 30.105 | 3,51 | 2,25 | 12,50 | 12,00 | 150,00 | | | |
| as | pri | ξ | x (cm) | σsi (Mpa) | Erro | Wk1 (mm) | Wk2 (mm) | | | |
| 6,98 | 0,005235988 | 0,283 | 5,66 | 18,74 | 0,00 | 0,00050814 | 0,025661044 | | | |

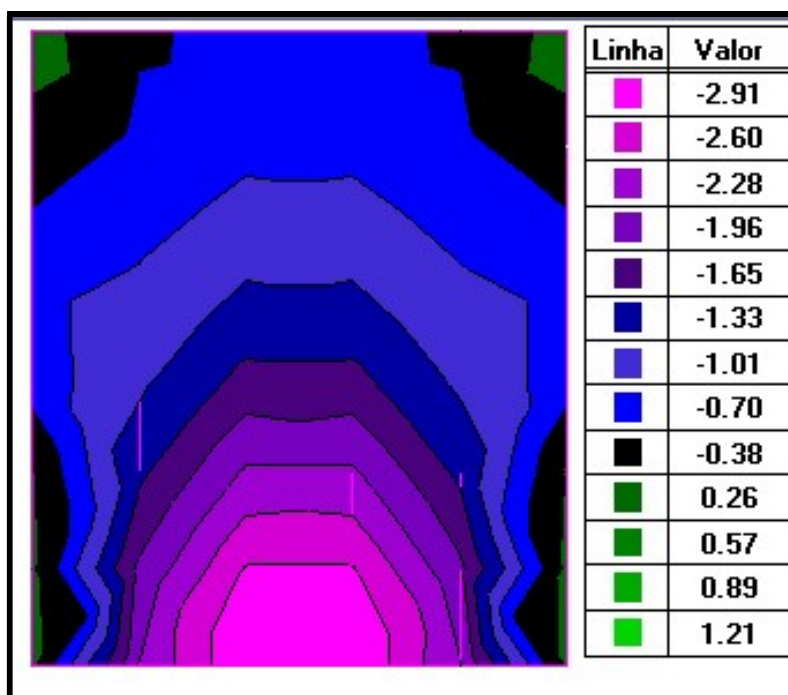
| Resumo - ELU | | | |
|--------------|-------|-------|-------|
| Zona | ξ | ω1 | ω2 |
| Zona D | 0,010 | 0,000 | 0,003 |

FUNDO – FORÇA E MOMENTO NA DIREÇÃO DE X

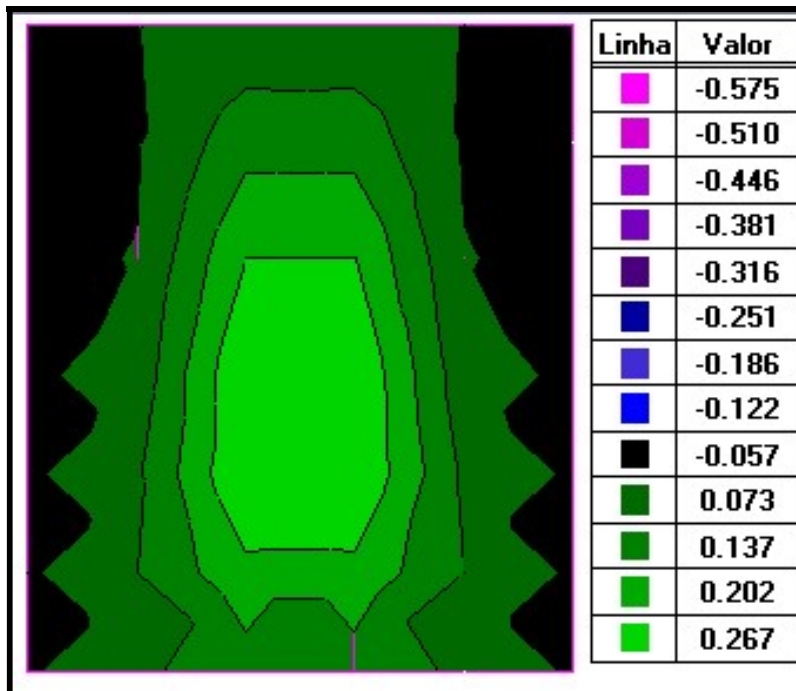
3.2 PAR 1



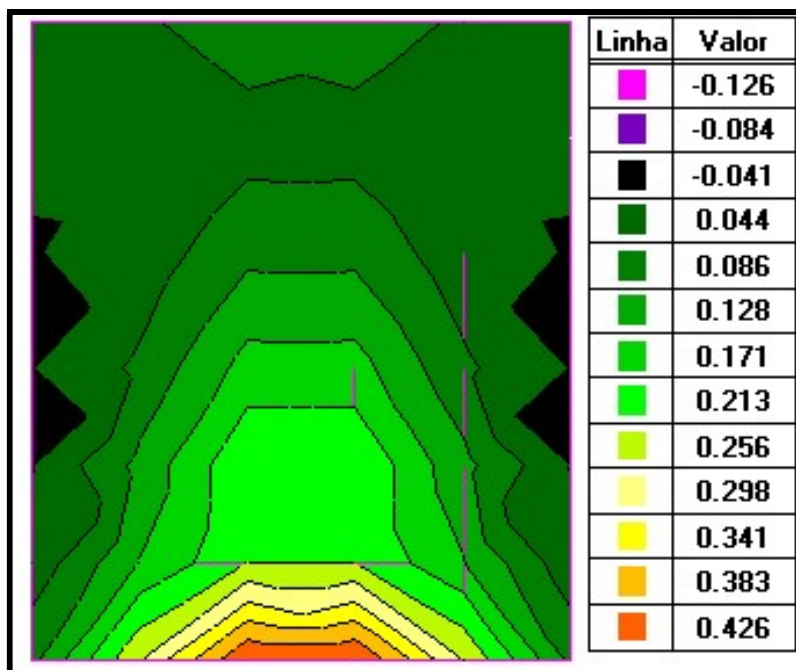
PAR1 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE X (tf/m)



PAR1 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MIN - FORÇAS NA DIREÇÃO DE Y (tf/m)

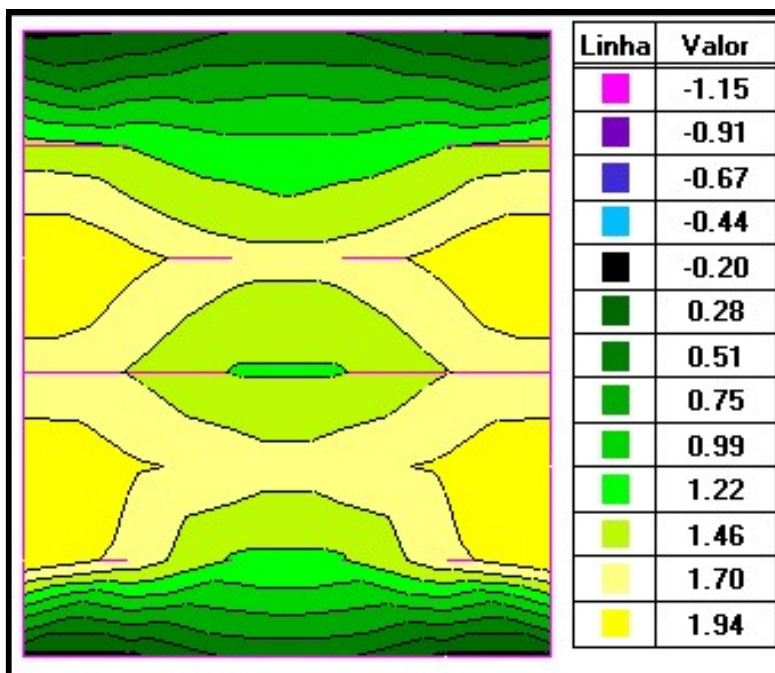
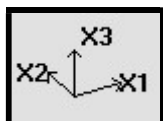


PAR1 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE X (tf.m/m)

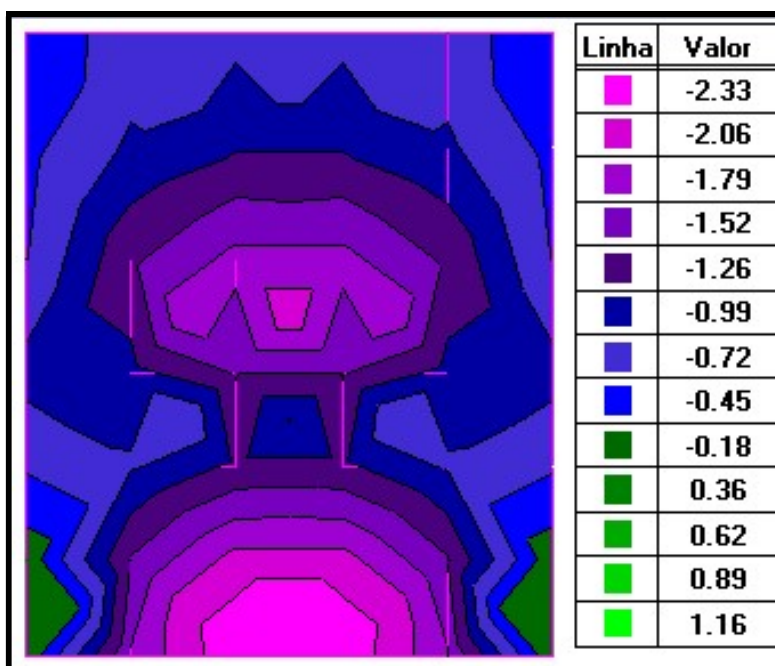


PAR1 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MIN - MOMENTO MAX NA DIREÇÃO DE Y (tf.m/m)

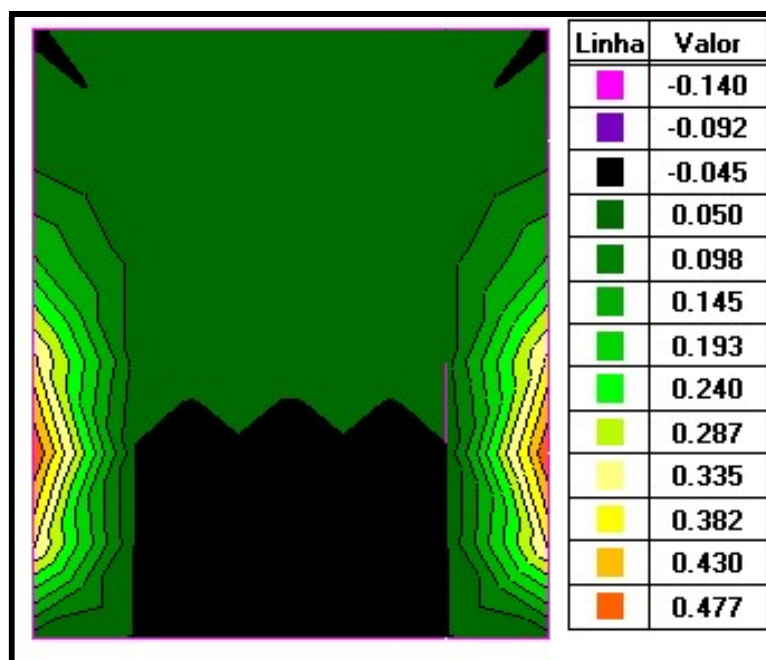
3.3 PAR 2



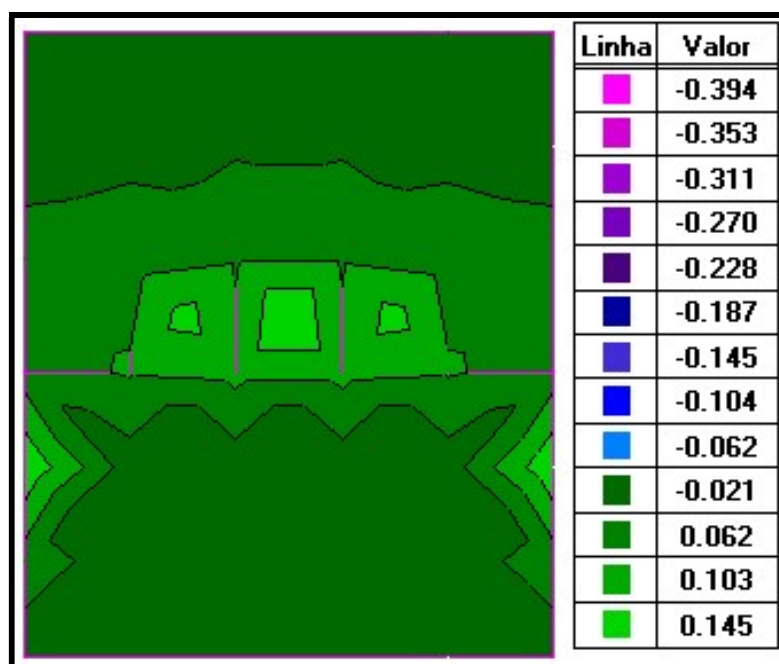
PAR2 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE X (tf/m)



PAR2 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MIN - FORÇAS NA DIREÇÃO DE Y (tf/m)

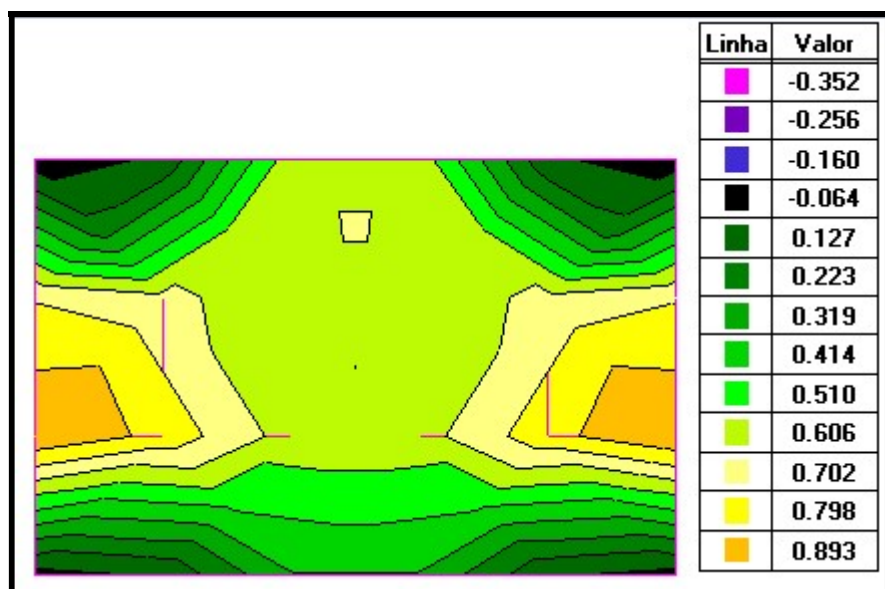
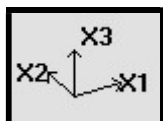


PAR2 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE X (tf.m/m)

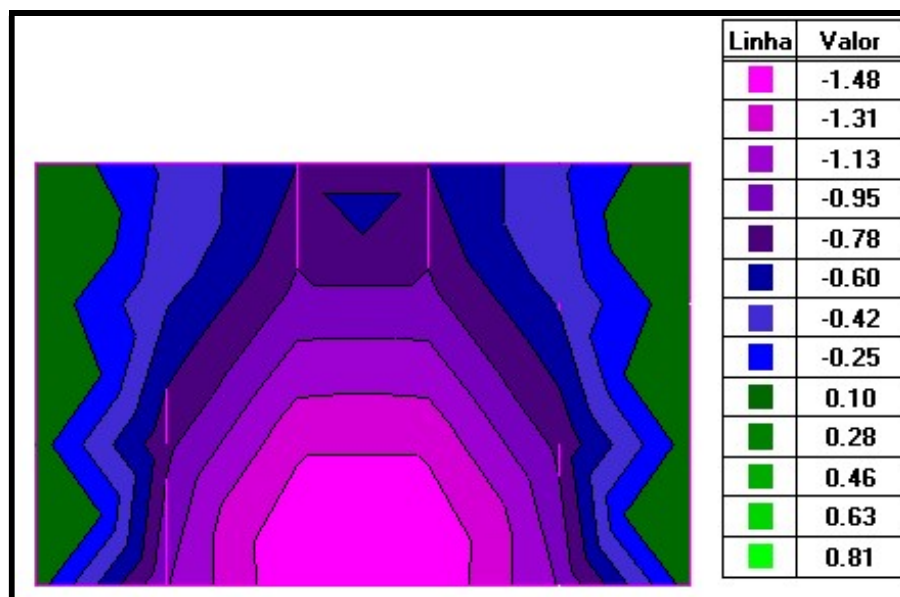


PAR2 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MIN- MOMENTO MAX NA DIREÇÃO DE Y (tf.m/m)

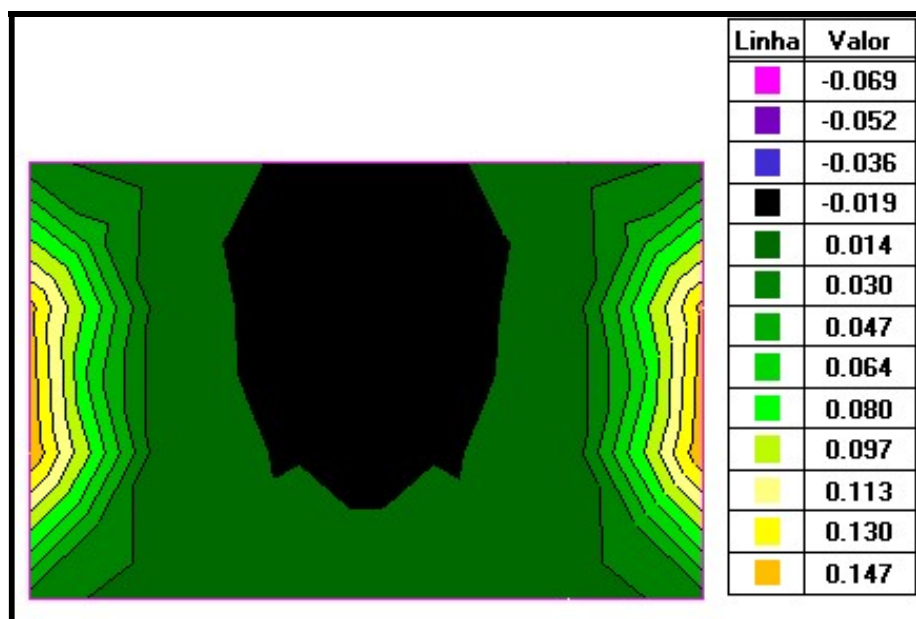
3.4 PAR 3



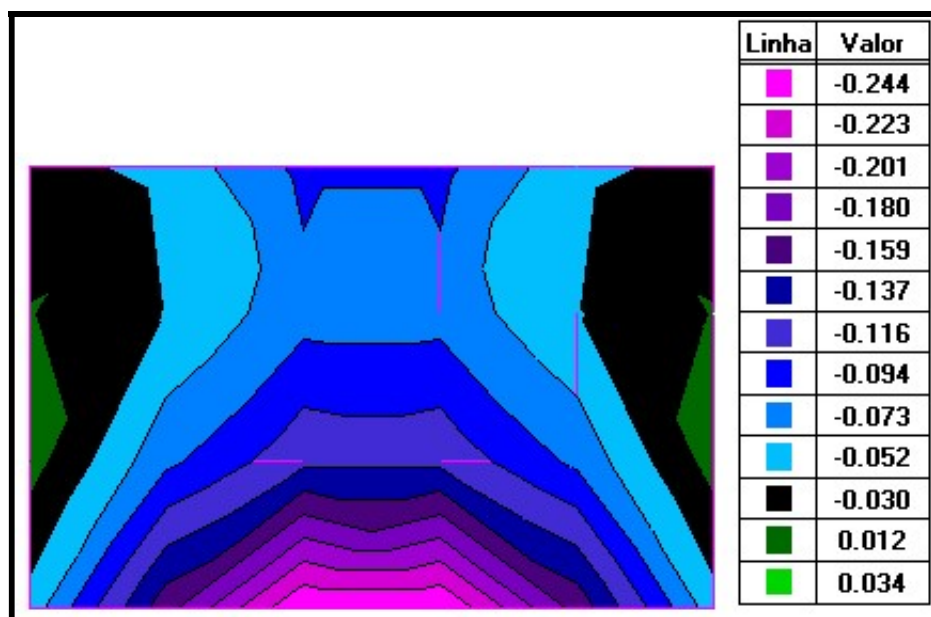
PAR 3 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE X (tf/m)



PAR 3 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MIN - FORÇAS NA DIREÇÃO DE Y (tf/m)



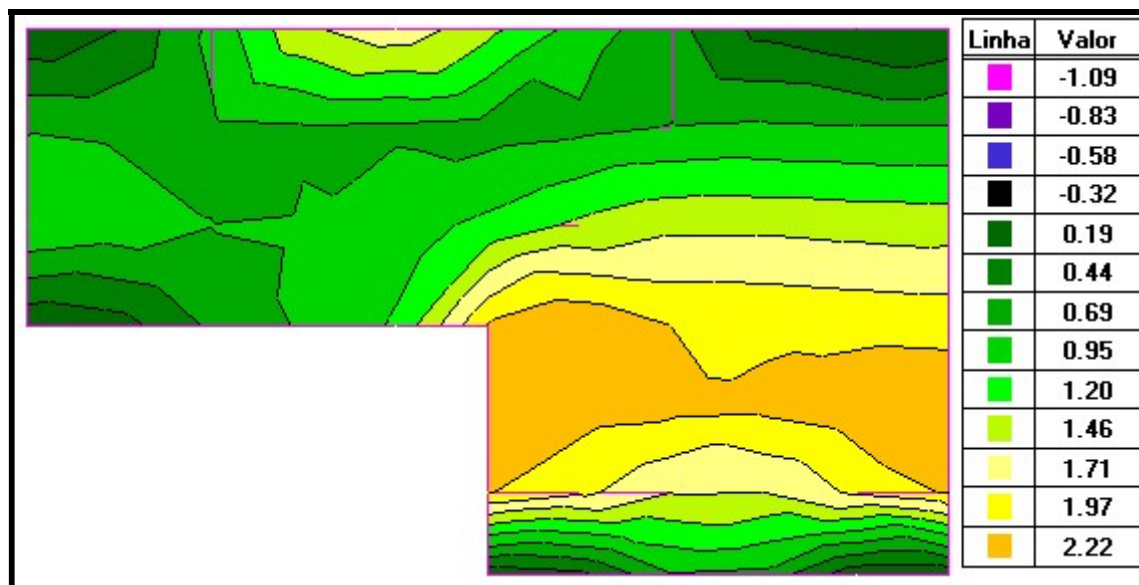
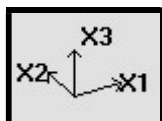
PAR 3 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE X (tf.m/m)



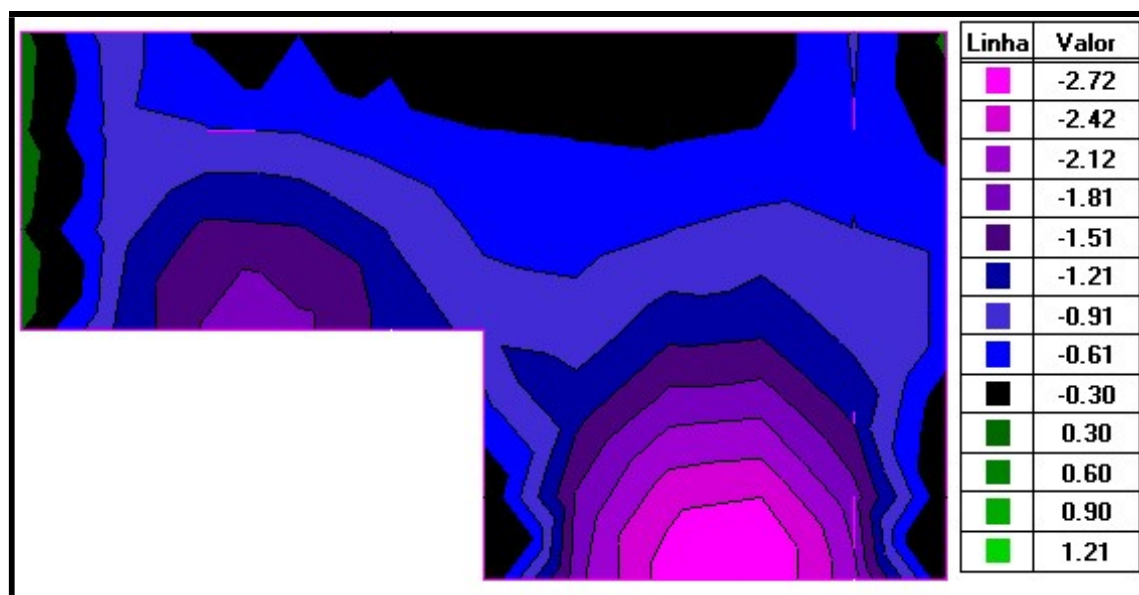
PAR 3 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE Y (tf.m/m)

3.5

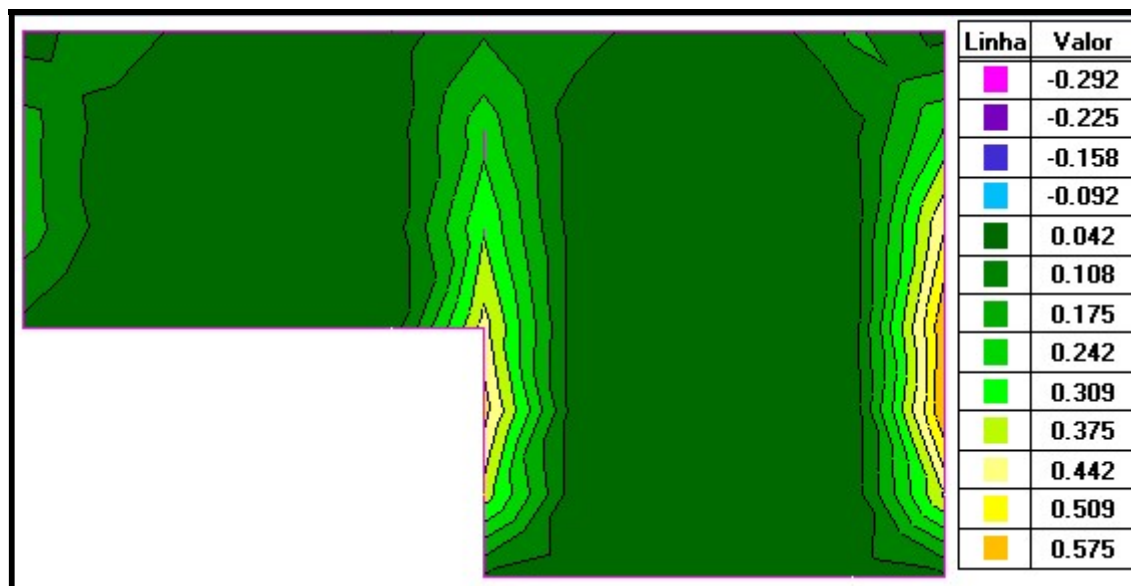
PAR 4=PAR 5



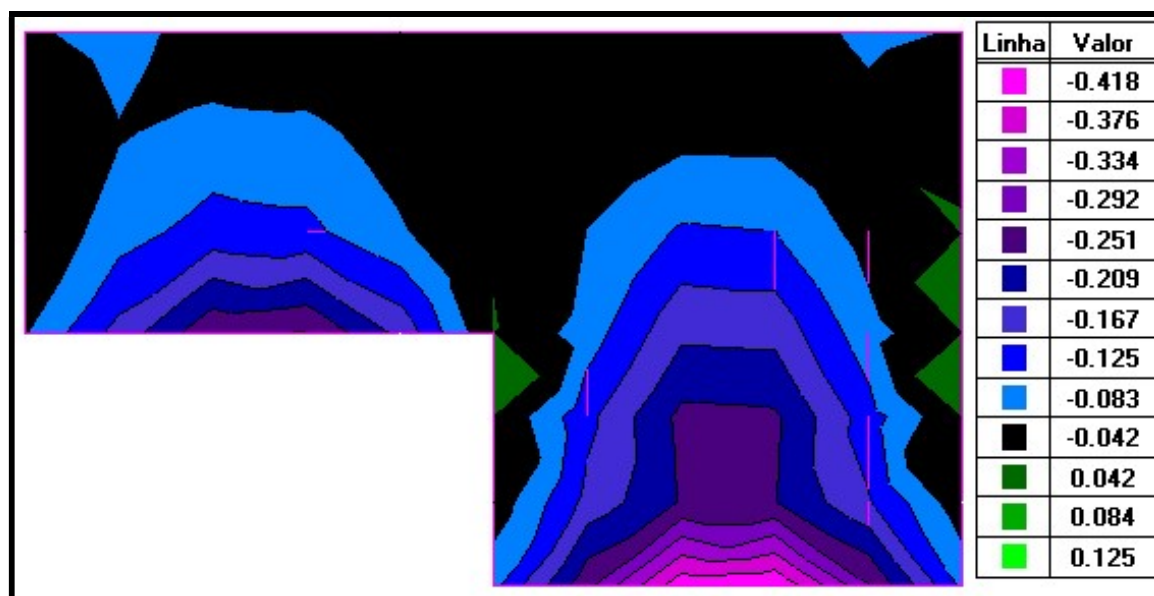
PAR 4=PAR 5 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE X (tf/m)



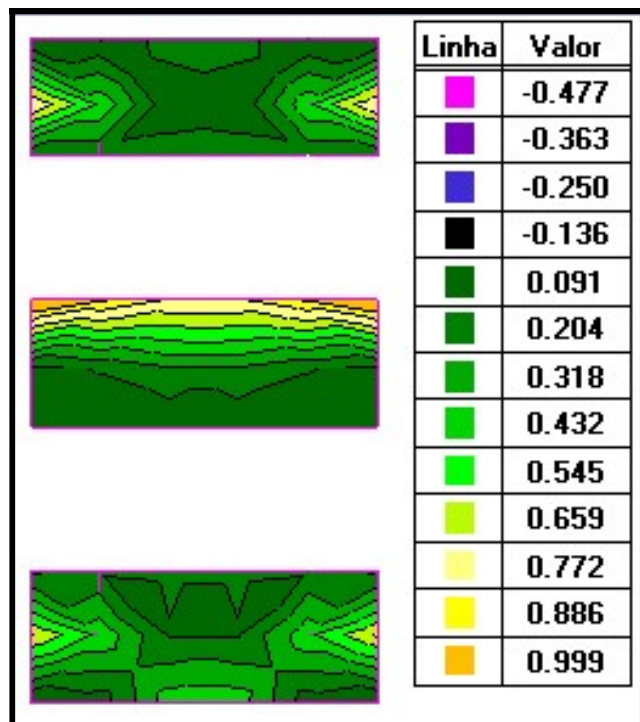
PAR 4=PAR 5 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MIN - FORÇAS NA DIREÇÃO DE Y (tf/m)



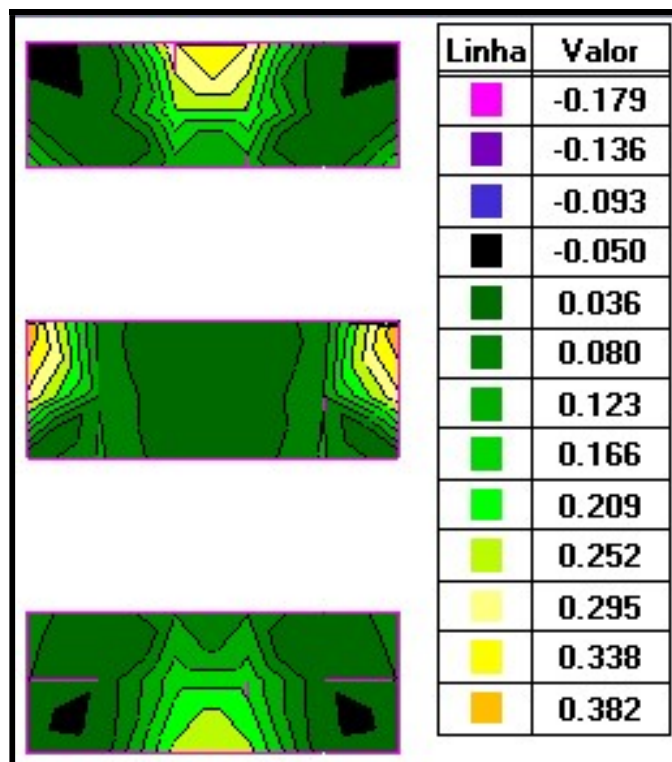
PAR 4=PAR 5 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE X (tf.m/m)



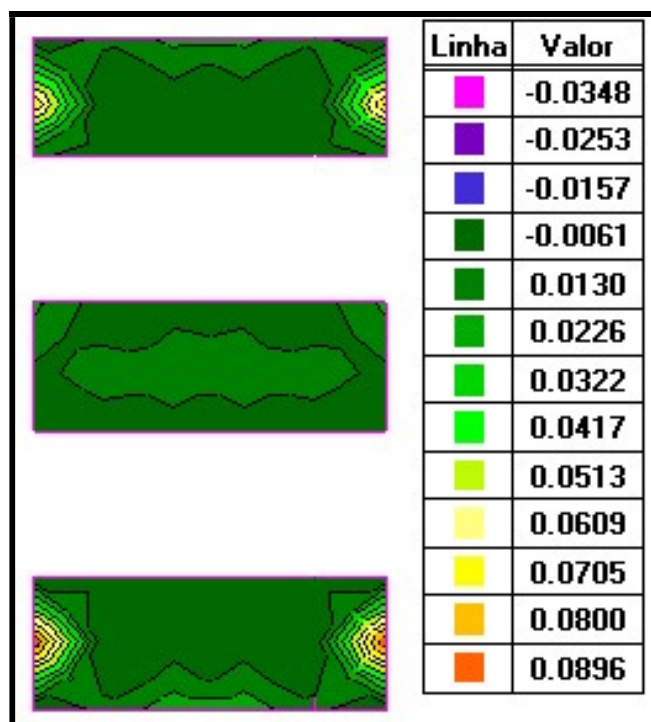
PAR 4=PAR 5 – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE Y (tf.m/m)



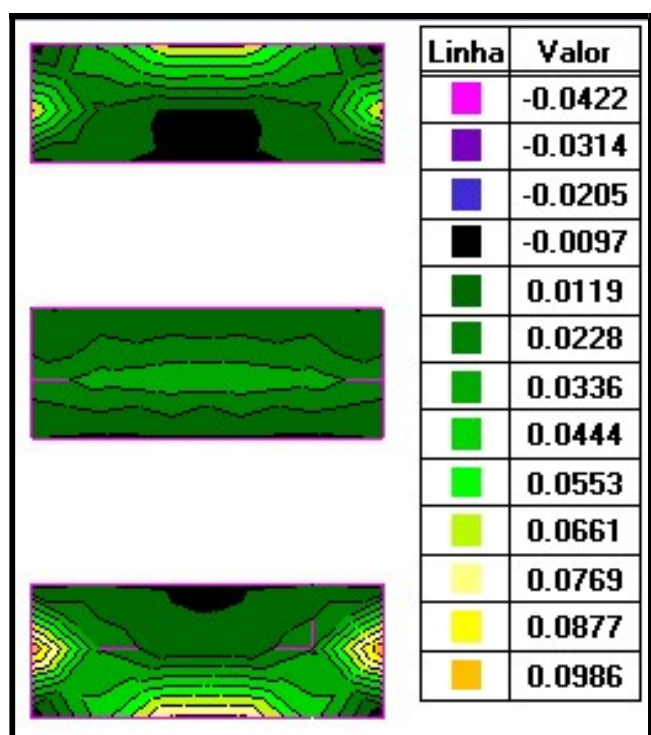
TAMPA – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE X (tf/m)



TAMPA – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - FORÇAS NA DIREÇÃO DE Y (tf/m)



TAMPA – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE X (tf.m/m)



TAMPA – ENVOLTÓRIA DE CARREGAMENTOS MAX - MOMENTO NA DIREÇÃO DE Y (tf.m/m)

| Lajes Maciças em Concreto Armado | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|--|-------------|-----------|--------|---------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Materiais | | | Esforços | | | Seção | | SEGURANÇA | | | |
| Aço (fyk) | fck (Mpa) | | Mk (tf.m/m) | Nk (tf/m) | h (cm) | d' (cm) | ξ _{máx.} | As,min (cm²/m) | γ _c | γ _s | γ _f |
| 500 | 40 | | 0,10 | 0,40 | 15 | 4,9 | 0,4 | 3,45 | 1,40 | 1,15 | 1,40 |
| Classe IV | | | | | | | | | | | |

| ELU - Flexão Composta - Arm. Assimétrica | | | | | | | | | | | |
|--|--------|-----------|---------|----------------|--------|---------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Armadura necessária | | | Arranjo | | | | | | | | |
| As1 (cm²/m) | Φ (mm) | Esp. (cm) | As (cm) | As,tot (cm²/m) | h (cm) | d' (cm) | ξ _{máx.} | As,min (cm²/m) | γ _c | γ _s | γ _f |
| As1 (cm²/m) | 8 | 12,0 | 4,19 | 4,19 | 15 | 4,9 | 0,4 | 3,45 | 1,40 | 1,15 | 1,40 |
| As2 (cm²/m) | 8 | 12,0 | 4,19 | 4,19 | 15 | 4,9 | 0,4 | 3,45 | 1,40 | 1,15 | 1,40 |

| Resumo - ELU | | | |
|--------------|-------|-------|-------|
| Zona | ξ | ω1 | ω2 |
| Zona D | 0,008 | 0,000 | 0,004 |

| Verificação Fissuras - LAJES - FLEXÃO COMPOSTA - ARM. SIMPLES- CONCRETO ARMADO | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|--------------|------------|---------|------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| Materiais | | | Esforços | | | Seção | | | | | |
| Aço (fyk) | fck (Mpa) | | Mfr (tf.m/m) | Nfr (tf/m) | h (cm) | d' (cm) | Bitola Ø | Esp. (cm) | γ _c | γ _s | γ _f |
| 500 | 40 | | 0,1 | 0,4 | 15 | 4,9 | 8 | 12,0 | 1,40 | 1,15 | 1,40 |
| Cálculo | | | | | | | | | | | |
| As (cm²/m) | Es (Mpa) | Ecs (Mpa) | fctm (Mpa) | η1 | hi (cm) | bi (cm) | Acri (cm²) | Wk2 (mm) | γ _c | γ _s | γ _f |
| 4,19 | 210.000 | 30.105 | 3,51 | 2,25 | 10,90 | 12,00 | 130,80 | Wk1 (mm) | 1,40 | 1,15 | 1,40 |
| as | pri | ξ | x (cm) | σsi (Mpa) | Erro | Wk1 (mm) | Wk2 (mm) | Wk2 (mm) | γ _c | γ _s | γ _f |
| 6,98 | 0,003842927 | 0,255 | 2,57 | 18,97 | 0,00 | 0,00041658 | 0,027895709 | 0,027895709 | 1,40 | 1,15 | 1,40 |

TAMPA – FORÇA E MOMENTO NA DIREÇÃO DE X



CARLOS RAPHAEL MONTEIRO DE LEMOS
CREA-ES 011840/D