ELC® Engenharia

LAUDO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Ginásios C, D e E da Escola de Educação Física e Desportos

Contrato nº 17/2025

Rio de Janeiro, 03 de junho de 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO,

Rua Antônio Barros de Castro, 119, Parque Tecnológico, Cidade Universitária, CEP 21.941-853, na cidade do Rio de Janeiro/RJ.

A ELC ENGENHARIA LTDA, inscrita no CNPJ 29.796.882/0001-25, contratada pelo UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO para elaboração de Laudo de Integridade Estrutural dos Ginásios C, D e E da Escola de Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por intermédio de seus responsáveis técnicos Lucas Staciarini Martins, Engenheiro Civil inscrito no CREA-GO sob o n° 1017184429/D, Eduardo Alves Lima inscrito no CREA – GO sob o nº 1017150869/D e Celson Lopes Sales Junior inscrito no CREA – GO sob o n° 1018193618/D, tendo realizado as diligências e os exames necessários, vem pelo presente documento apresentar Laudo de Integridade Estrutural.

CONTROLE DE REVISÕES

01	REVISÃO DE APONTAMENTOS	03/06/2025	EDUARDO A. LIMA
00	EMISSÃO INICIAL	01/06/2025	EDUARDO A. LIMA
REV	**DESCRIÇÃO**	**DATA**	**RESPONSÁVEL**

SUMÁRIO

1 OBJETIVO 6

2 METODOLOGIA 6

2.1 VISTORIA “IN LOCO” 6

2.2 ENSAIOS 6

3 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO 7

4 HISTÓRICO 9

5 RELATÓRIO TÉCNICO 9

5.1 VISTORIA 9

5.2 DIAGNÓSTICO 11

5.2.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS 11

5.2.2 ANÁLISES ESTRUTURAIS 14

5.2.3 CONCLUSÕES DE DIAGNÓSTICO 49

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 51

7 ENCERRAMENTO 52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem de satélite retirada do google maps no dia (08/05/2025) com marcação da locação das edificações objeto do presente trabalho. 7
Figura 2 – Imagem obtida por meio de drone que mostra o posicionamento dos blocos em análise no escopo do presente trabalho. 7
Figura 3 - Cobertura externo 8
Figura 4 - Cobertura interno 8
Figura 5 - Vista de pontos com lajotas cerâmicas fragmentadas. 10
Figura 6 - Vista das telas de proteção instaladas. 10
Figura 7 – Vista dos cabos e nata de injeção dos tirantes 11
Figura 8 - Vista 3D do modelo elaborado no software SAP 2000 15
Figura 9 - Vista 3D do modelo elaborado no software SAP 2000 15
Figura 10 - Vista 3D do modelo elaborado no software TQS 16
Figura 11 - Vista 3D do modelo elaborado no software TQS 16
Figura 12 - Deslocamentos verticais da cobertura 48
Figura 13 – (i) Vista da fissura existente na bainha de PVC do tirante inspecionado; (ii) Vista do tirante após recomposição da nata removida para inspeção. 50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resumo de ensaios 11
Tabela 2 - Resultado do ensaio de Pacometria 12
Tabela 3 - Resultado do ensaio de Carbonatação 12
Tabela 4 - Resultado do ensaio de Rompimento de Testemunhos 13
Tabela 5 - Resultado do ensaio de Ultrassom 13

1 OBJETIVO

- Elaborar e apresentar análise de integridade da estrutura em concreto armado e protendido dos Ginásios C, D e E da Escola de Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Determinar a necessidade ou não de intervenções via reforço e/ou recuperação estrutural tomando como base a análise e diagnóstico das manifestações patológicas constatadas.

2 METODOLOGIA

2.1 VISTORIA “IN LOCO”

Os exames realizados consistiram na análise por verificação direta “in loco”, na observação acompanhada de registro documental e fotográfico dos elementos evidentes das estruturas.

Foi desenvolvida análise da situação estrutural atual despendendo especial atenção para as anomalias com potencial de contribuição para minimização da vida útil da estrutura analisada e/ou maximização de prejuízos à segurança dos usuários.

As técnicas construtivas utilizadas como parâmetros para a aferição das manifestações patológicas e anomalias, assim como para a elaboração das recomendações técnicas estão pautadas nos princípios normativos e bibliográficos visando o emprego da consagrada e boa técnica.

Conforme necessário foi realizada escarificações em elementos, e levantamentos detalhados a fim de se obter a melhor avaliação das regiões de interesse da estrutura.

2.2 ENSAIOS

Como elementos auxiliares à compreensão das reais condições da estrutura foram realizados ensaios de pacometria, carbonatação, ultrassom, rompimento de testemunhos e modelo computacional.

3 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

As edificações objeto do presente trabalho são os Ginásios C, D e E da Escola de Educação Física e Desportos da Universidade federal do Rio de Janeiro, localizada na Av. Carlos Chagas Filho, 540 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-599, conforme vista aérea da localização da edificação apresentada nas figuras 1 e 2.

Figura 1 – Imagem de satélite retirada do google maps no dia (08/05/2025) com marcação da locação das edificações objeto do presente trabalho.

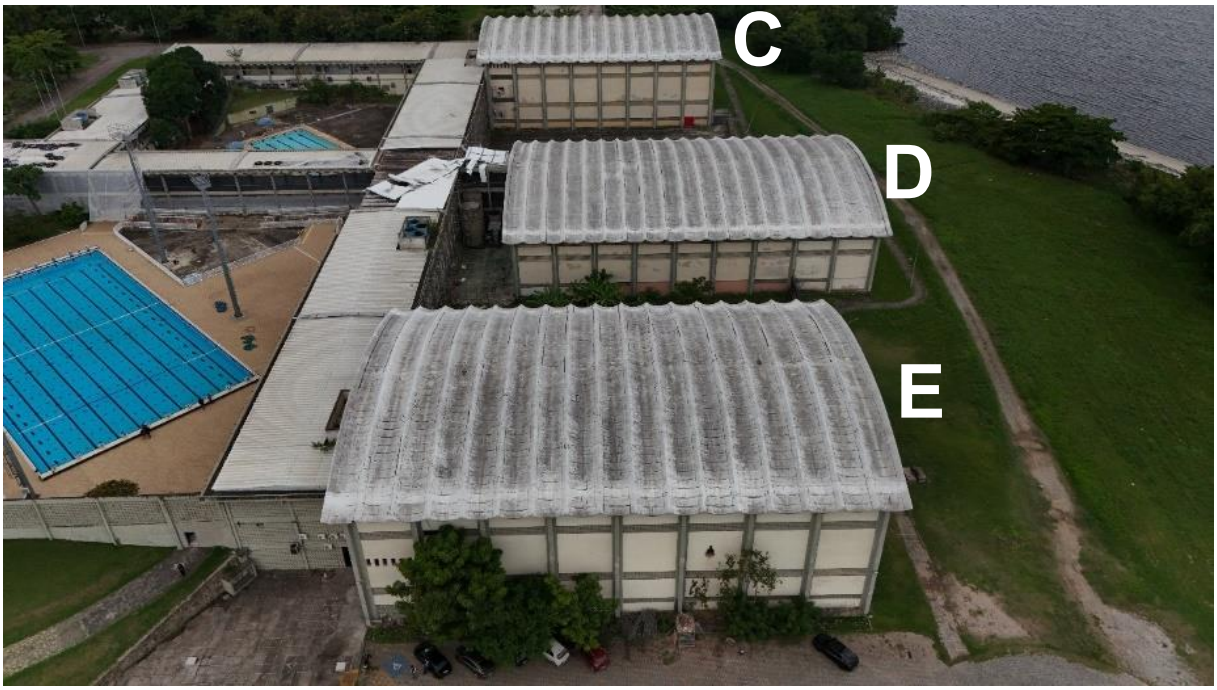


Figura 2 – Imagem obtida por meio de drone que mostra o posicionamento dos blocos em análise no escopo do presente trabalho.

As edificações possuem sistema estrutural em concreto armado e protendido. Os blocos C e E são idênticos e possuem o mesmo projeto. Ambos contam com pavimento térreo estruturado com vigas em concreto armado, pavimento intermediário com grelhas formadas por vigas protendidas e em concreto armado e cobertura formada por abóbodas autoportantes invertidas. No encontro entre duas abóbodas adjacentes existe uma viga em concreto armado com seção pentagonal. Entre as vigas arqueadas em seção pentagonal são apoiadas as lajes do tipo nervuradas com vigotas treliçadas em formato curvo. O enchimento da laje é feito com lajotas cerâmicas não revestidas na face inferior. Ligando as duas extremidades de apoio das vigas arqueadas da cobertura há tirantes protendidos.

Figura 3 - Cobertura externo

Figura 4 - Cobertura interno

4 HISTÓRICO

O presente trabalha se origina a partir da necessidade de inspecionar o atual estado das estruturas dos ginásios C, D e E, em virtude, principalmente, da ausência de registros de inspeções técnicas especializadas ao longo dos 50 anos de utilização das edificações.

Os registros dão conta de que a inauguração das edificações ocorreu em meados da década de 1970, totalizando aproximadamente 50 anos de existência das edificações.

Os autores do presente trabalho tiveram acesso a pranchas digitalizadas dos projetos estruturais das edificações.

5 RELATÓRIO TÉCNICO

5.1 VISTORIA

Os trabalhos de inspeção e realização de ensaios foram executados por meio de visitas de 14/04/2025 a 18/04/2025. Por meio das vistorias realizadas foi possível realizar as seguintes constatações:

a. Foi possível perceber a desintegração de alguns elementos de enchimento da laje (lajotas cerâmicas) resultando em queda de fragmentos. Ver figura 5;
b. Notou-se a adoção de medida paliativa com a instalação de telas para prevenir danos provocados pela queda dos fragmentos dos elementos de enchimento da laje. Ver figura 6;
c. Foi constatada a ausência de manifestações patológicas e deteriorações aparentes nos elementos estruturais;
d. A inspeção no tirante protendido adjacente a linha de pilar P13-P14 localizado entre as linhas de pilares P13-P14 e P11-P12 do bloco C revelou a ausência de deterioração do aço e da nata, revelando bom estado de conservação. Ver figura 7;

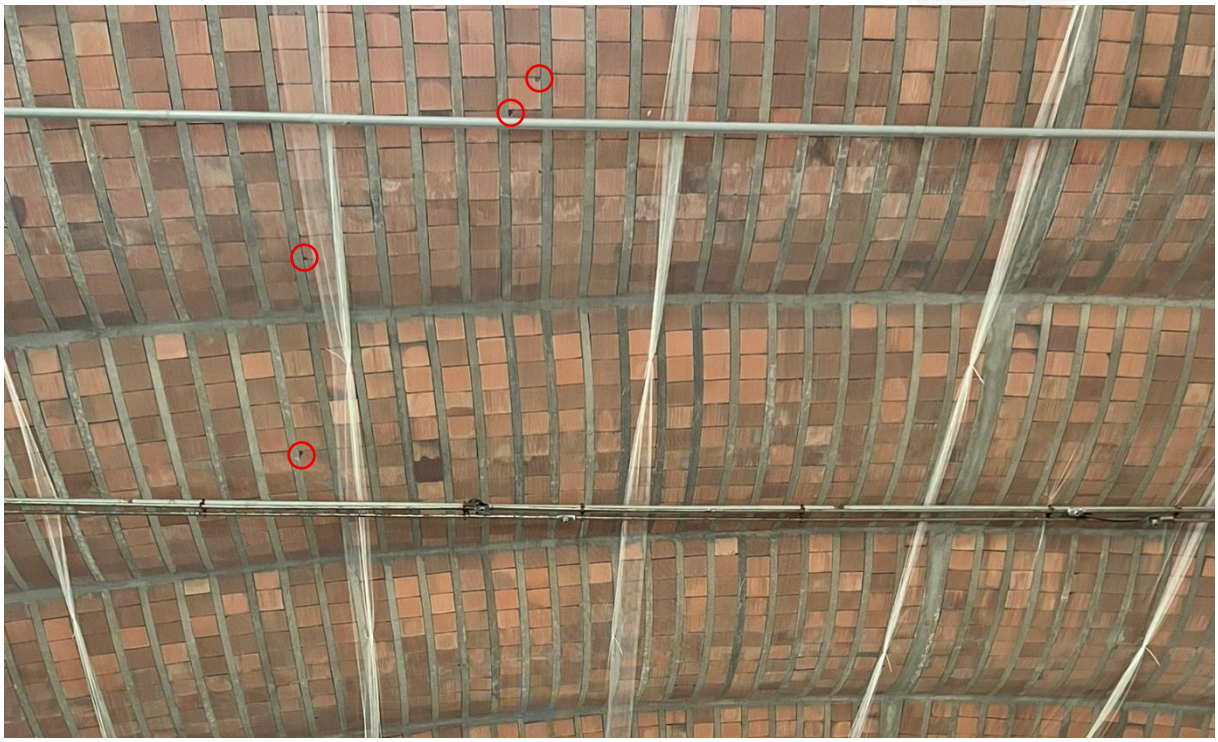


Figura 5 - Vista de pontos com lajotas cerâmicas fragmentadas.

Figura 6 - Vista das telas de proteção instaladas.

Figura 7 – Vista dos cabos e nata de injeção dos tirantes

5.2 DIAGNÓSTICO

5.2.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Foram realizados ensaios distribuídos ao longo da estrutura da edificação. A tabela abaixo apresenta o resumo dos ensaios realizados na estrutura.

Tabela 1: Resumo de ensaios

TIPO DE ENSAIO	QUANTIDADE
PACOMETRIA	10
CABONATAÇÃO	6
ROMPIMENTO DE TESTEMUNHOS	6
ULTRASSOM	6

5.2.1.1 Pacometria

Tabela 2 - Resultado do ensaio de Pacometria

DETALHAMENTO ARMADURAS									
CÓDIGO E Nº DO ENSAIO	ELEMENTO	PAVIMENTO / REFERÊNCIA	OBSERVAÇÕES	ENSAIO - PACOMETRIA					
				COBRIMENTO [mm]	BARRAS LONGITUDINAIS			BARRAS TRANSVERSAIS	
					BITOLA [mm]	QTD	As [cm²]	BITOLA [mm]	ESPAÇAMENTO [cm]
1	VIGA V9-D	BLOCO C	Interno	26,0	16,00	3,00	-		
2	VIGA V4-C	BLOCO C	Interno	32,0	12,00	5,00	-	-	
3	P22 – LANCE 1	BLOCO D	Externo - face 01	23,0	20,00	5,00	-	6,00	12,0
4	P22 – LANCE 1	BLOCO D	Externo - face 02	33,0	18,00	3,00	-	6,00	15,0
5	P23 – LANCE 1	BLOCO D	Externo - face 01	22,0	18,00	5,00		6,00	11,0
6	P23 - LANCE 1	BLOCO D	Externo - face 03	20,0	16,00	1,00		6,00	20,0
7	P19 – LANCE 1	BLOCO E	Externo - face 01	31,0	18,00	4,00		6,00	18,0
8	P19 – LANCE 1	BLOCO E	Externo - face 02	27,0	22,00	3,00		6,00	18,0
9	P24 – LANCE 1	BLOCO E	Externo - face 01	28,0	22,00	4,00		6,00	20,0
10	P24 – LANCE 1	BLOCO E	Externo - face 03	33,0	18,00	2,00		6,00	20,0

5.2.1.2 Carbonatação e verificação do cobrimento de armaduras

Tabela 3 - Resultado do ensaio de Carbonatação

ENSAIO	CÓDIGO E Nº DO ENSAIO	ELEMENTO	PAVIMENTO/ REFERÊNCIA	OBSERVAÇÕES	ESPESSURA CARBONATADA e1 (mm)	COBRIMENTO REAL e2 (mm)	SITUAÇÃO	CONDIÇÃO
1	C1	VIGA V9-D	BLOCO C		32	14	e1 > e2	PREJUDICIAL
2	C2	VIGA V4-C	BLOCO C		35	10	e1 > e2	PREJUDICIAL
3	C3	P22 – LANCE 1	BLOCO D		48	35	e1 > e2	PREJUDICIAL
4	C4	P23 – LANCE 1	BLOCO D		57	30	e1 > e2	PREJUDICIAL
5	C5	P19 – LANCE 1	BLOCO E		40	29	e1 > e2	PREJUDICIAL
6	C6	P24 – LANCE 1	BLOCO E		29	38	e1 < e2	NÃO PREJUDICIAL
7	C7	LAJE BLOCO C	BLOCO C		0	35	e1 < e2	NÃO PREJUDICIAL
8	C8	LAJE BLOCO D	BLOCO D		23	15	e1 > e2	PREJUDICIAL
9	C9	NATA DO TIRANTE INSPECIONADO	BLOCO C	ADJACENTE A LINHA DE PILAR P13-P14 – VÃO ENTRE AS LINHAS P11-P12 E P13-P14	0	5	e1 < e2	NÃO PREJUDICIAL
Espessura de Carbonatação Média - e_{mc} [mm]					**29**			
Espessura de Cobrimento Médio Real - e_{mr} [mm]					**23**			

O ensaio de carbonatação foi realizado nos corpos de prova extraídos especificamente para a realização dos ensaios de carbonatação e rompimento em laboratório.

A maior parte dos pontos analisados apresentam profundidade da frente de carbonatação maiores do que a profundidade de cobrimento das armaduras. Dessa forma, pode-se considerar a ocorrência de despassivação da armadura, indicando suscetibilidade das armaduras ao processo de corrosão.

5.2.1.3 Rompimento de Testemunhos

Tabela 4 - Resultado do ensaio de Rompimento de Testemunhos

ENSAIO	TÍTULO CP	ELEMENTO	LANCE/VÃO	LOCAL	Fck (projeto)	fci,ext (MPa)	CONDIÇÃO
1	C1	V9	D	BLOCO C	15	17,55	CONFORME
2	C2	V4	C	BLOCO C	15	10,92	NÃO CONFORME
3	C3	P22	1	BLOCO D	15	12,16	NÃO CONFORME
4	C4	P23	1	BLOCO D	15	17,79	CONFORME
5	C5	P19	1	BLOCO E	15	12,16	NÃO CONFORME
6	C6	P24	1	BLOCO E	15	17,48	CONFORME

5.2.1.4 Ultrassom

Tabela 5 - Resultado do ensaio de Ultrassom

ENSAIO	CÓDIGO E Nº DO ENSAIO	ELEMENTO	PAVIMENTO /REFERÊNCIA	MÉTODO DE LEITURA	LEITURAS					
					1	2	3	4	5	6
1	C1	VIGA V9-D	BLOCO C	DIRETO	4054	4298	4399	4172	4539	4425
2	C2	VIGA V4-C	BLOCO C	DIRETO	4172	4127	4178	4000	3989	4121
3	C3	P22-LANCE 1	BLOCO D	DIRETO	4317	4049	4367	4231	4196	3947
4	C4	P23-LANCE 1	BLOCO D	DIRETO	4237	4267	4127	4115	4255	4231
5	C5	P19-LANCE 1	BLOCO E	DIRETO	4172	3974	4071	4005	4219	3947
6	C6	P24-LANCE 1	BLOCO E	DIRETO	4202	3942	4121	3989	4121	4098

A totalidade dos elementos ensaiados apresentam velocidades de pulso adequadas.

5.2.2 ANÁLISES ESTRUTURAIS

5.2.2.1 APRESENTAÇÃO DOS MODELOS ESTRUTURAIS

Com o objetivo de realizar a análise estrutural com consequente obtenção de esforços nos elementos estruturais das edificações foram elaborados modelos estruturais dos blocos C, D e E no software SAP 2000. O modelo do software SAP 2000 contemplou, além dos elementos reticulados da estrutura, a cobertura em abóboda invertida arqueada da edificação.

No SAP 2000 a edificação foi modelada de maneira a representar de maneira fiel a geometria da estrutura. Foram utilizados elementos de barras para pilares e vigas e elementos do tipo shell (membrana) para as lajes.

Com o objetivo de validação dos esforços obtidos no software SAP 2000 e verificação das seções foi elaborado modelo estrutural com o auxílio do software TQS. O modelo do software TQS não contemplou a modelagem da cobertura da edificação. De modo que os esforços devido a cobertura foram obtidos por meio do modelo do SAP 2000 e lançados no topo dos pilares do modelo do TQS.

Por meio das pranchas de projeto não foi possível a obtenção de informação que revelasse qual foi a deformação de pré-alongamento de protensão aplicada aos tirantes da cobertura. Desta maneira adotou-se como premissa para a presente análise que os tirantes foram submetidos a uma deformação de pré-alongamento igual 5 ‰.

Considerando que não foi possível extrair das pranchas a informação sobre qual aço foi utilizado para a protensão haja vista que a especificação do aço é dada apenas pelo termo “Aço Duro”, consideramos a utilização do aço CP125 com base em pesquisas realizadas sobre os aços predominantemente utilizadas na época em obras semelhantes com o mesmo sistema de protensão.

Os dados do levantamento cadastral de topografia foram utilizados para validação da conformidade das principais dimensões da edificação com os projetos estruturais existentes. De maneira a tornar possível a modelagem por meio dos projetos existentes.

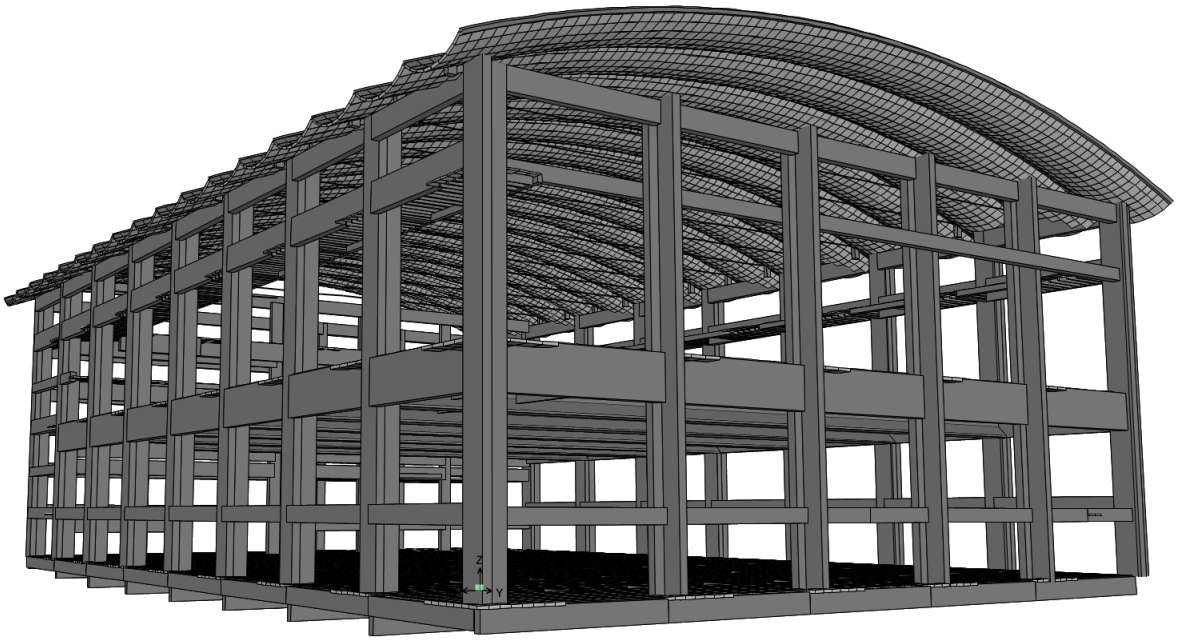


Figura 8 - Vista 3D do modelo elaborado no software SAP 2000

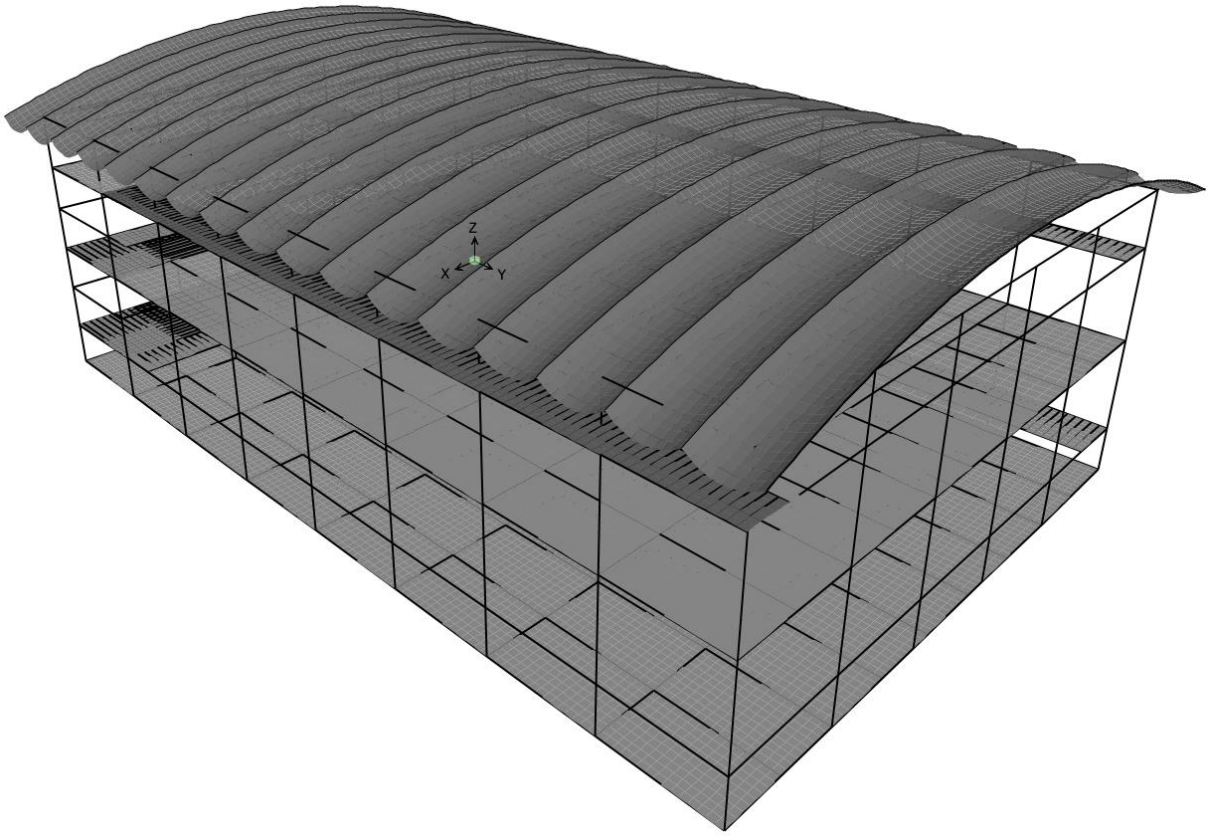


Figura 9 - Vista 3D do modelo elaborado no software SAP 2000

Figura 10 - Vista 3D do modelo elaborado no software TQS

Figura 11 - Vista 3D do modelo elaborado no software TQS

5.2.2.2 MATERIAIS

Concreto (fck) = 15 MPa e 22MPa

Aço = CA50, CA60 e CP125

Módulo de Elasticidade (Armadura Passiva) = 210 GPa

Módulo de Elasticidade (Armadura Ativa) = 200 GPa

Dados do tirante considerado para verificação:

Ø = 12 Ø 7 mm

Aço = CP125, tensão de escoamento característica (fpyk) = 1125 MPa

5.2.2.3 AÇÕES

Pavimento Cobertura = 150 kgf/m² (Carga Permanente de Impermeabilização) + 100 kgf/m² (Carga Variável de Utilização)

Pavimento nível +18,15 = 100 kgf/m² (Carga Variável de Cobertura com acesso para inspeção e manutenção)

Pavimentos níveis: +15,20; +12,75; + 7,85; + 5,40; +2,95 = 300 kgf/m² (Carga Variável de Utilização prevista nas pranchas)

Pavimento nível +10,30 – região das quadras = 500 kgf/m² (Carga Variável de Utilização prevista nas pranchas)

Pavimento nível +10,30 – região de ambientes = 300 kgf/m² (Carga Variável de Utilização prevista nas pranchas)

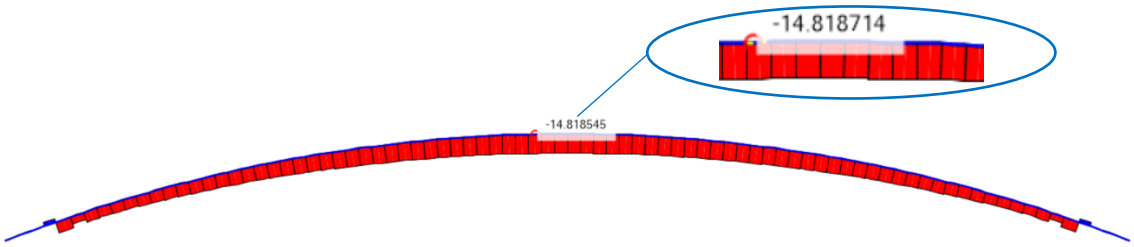
Para as alvenarias considerou se a carga de 250 kgf/m²

5.2.2.4 VERIFICAÇÕES DE ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)

A seguir são apresentadas algumas das verificações realizadas acerca da capacidade resistente dos principais elementos das edificações.

5.2.2.4.1 Verificação das vigas de seção pentagonal na ligação entre as Abóbodas de cobertura

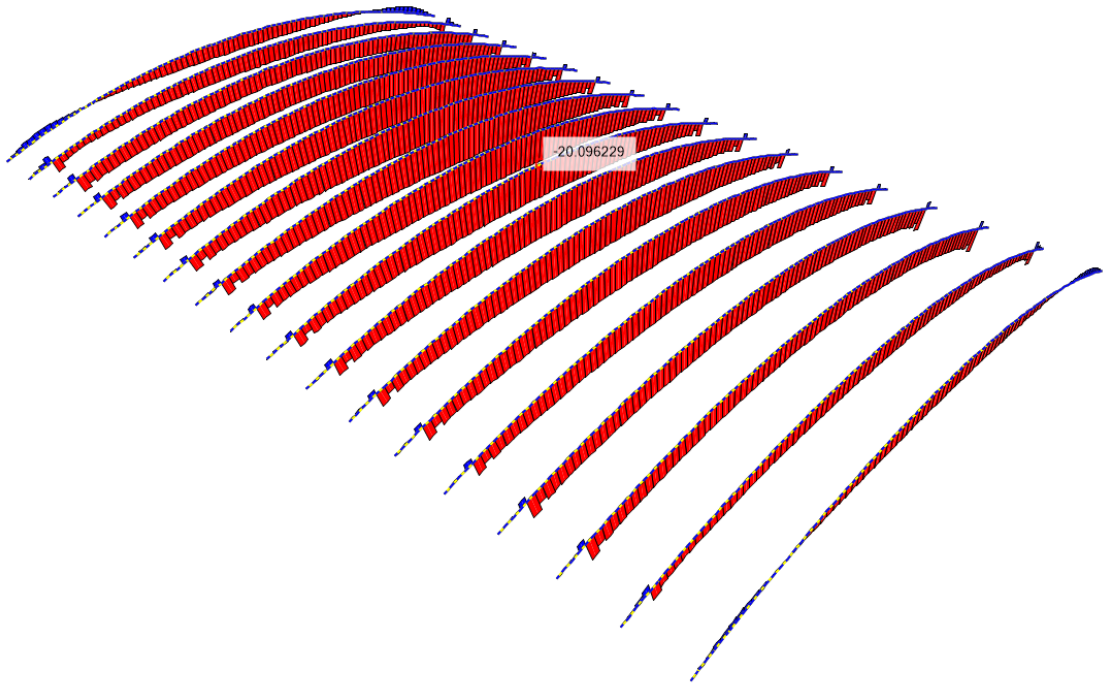
- Esforços no ato da Protensão - (PP + PROTENSÃO)



Nsk = 14,82 tf

Msk = 0,06 tf.m

- Esforços carregamento Final - (PP+PERM+UTILIZAÇÃO+PROTENSÃO)



Nsk = 20 tf

Msk = 0,1 tf.m

- Verificação da Capacidade Resistente da seção

Seção/Armaduras

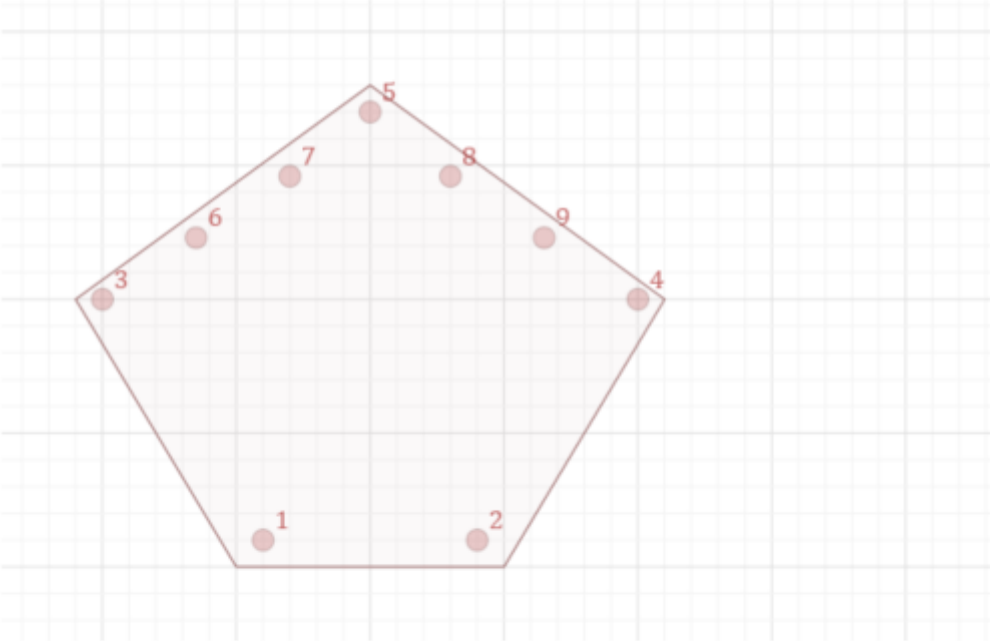
Seção Transversal

Características Geométricas

S = 248.00 cm2
I_x = 4399 cm4
I_y = 5668 cm4
r_x = 4.2 cm
r_y = 4.8 cm

Armaduras

A_{sl} = 4.52 cm2



Materiais

Concreto

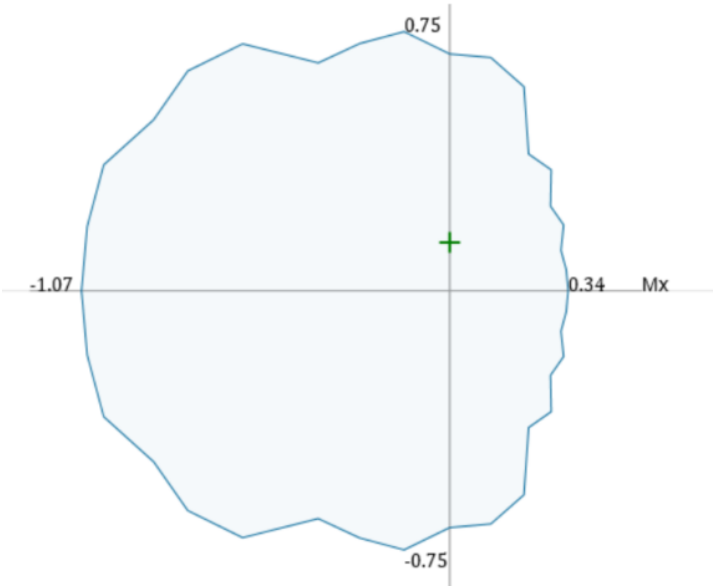
f_{ck} = 15 MPa
γ_c = 1.4

Aço

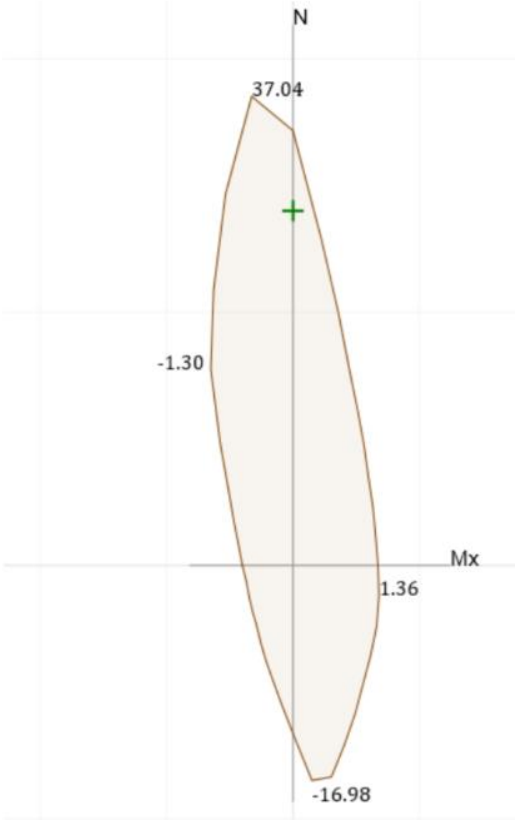
f_{yk} = 500 MPa
γ_s = 1.15
E_s = 210000 MPa

Curvas Resistentes (R_d)

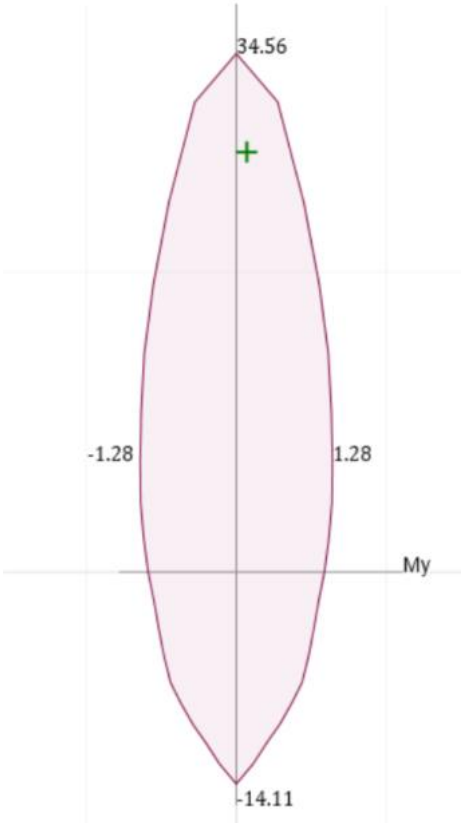
($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 28.00 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = 0.14 tfm



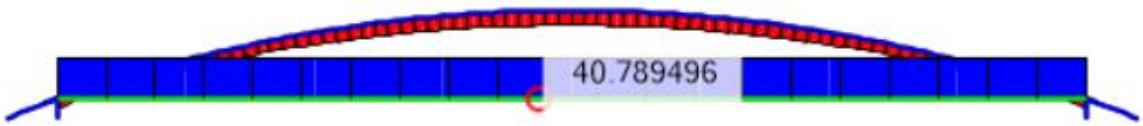
(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = 0.00 tfm



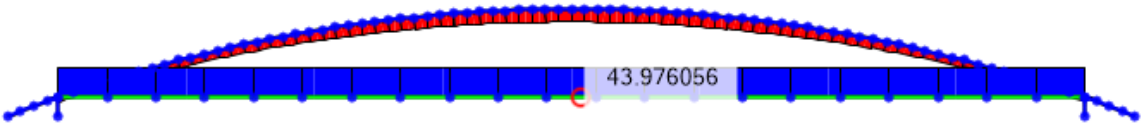
Logo, é possível concluir que a viga possui capacidade resistente suficiente para resistir aos esforços solicitantes a que está submetida.

5.2.2.4.2 Verificação dos tirantes protendidos das coberturas

- Esforço no ato da Protensão - (PP + PROTENSÃO)



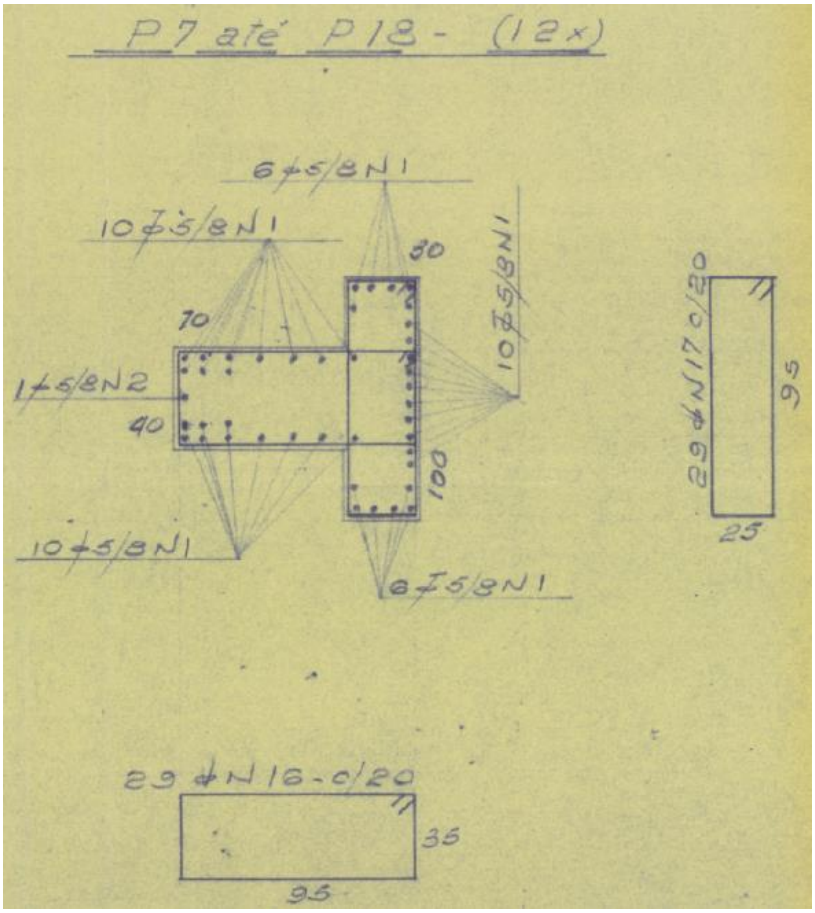
- Esforço carregamento Final - (PP+PERM+UTILIZAÇÃO+PROTENSÃO)



Nota-se, portanto, que o esforço final de tração no tirante é de cerca de 44 tf. O que significa dizer que o tirante está submetido a uma tensão atuante de 954,45 MPa menor que a tensão de escoamento do aço de cerca de 978 MPa. Dessa maneira é possível concluir que o tirante apresenta capacidade resistente suficiente para resistir aos esforços a que está submetido.

5.2.2.4.3 Verificação dos pilares principais P7 a P18

- LANCE 1 (+2,95 A +10,30)
    - Detalhamento de Projeto



- Esforços solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
18: ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4	Topo	288.29	-12.97	144.96
	Meio	288.29	-12.97	82.83
	Base	288.29	12.97	-23.33

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

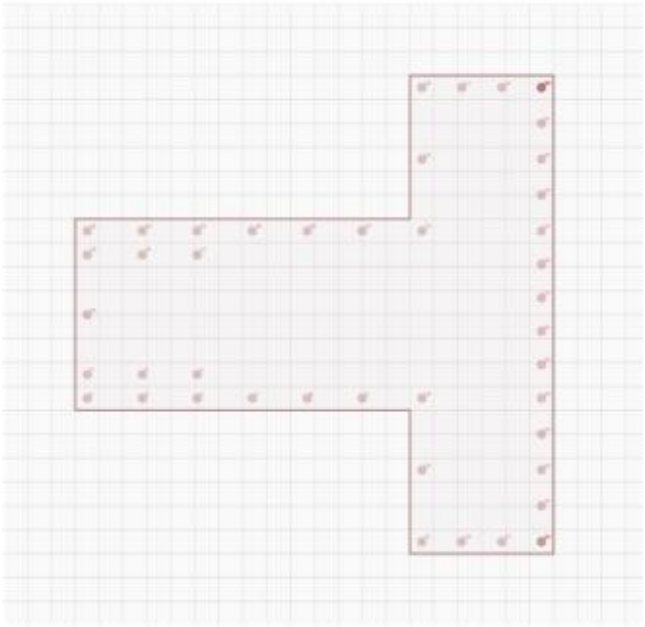
Seção Transversal

Características Geométricas

S = 5800.00 cm2
I_x = 2873333 cm4
I_y = 4989023 cm4
r_x = 22.3 cm
r_y = 29.3 cm

Armaduras

A_{sl} = 92.49 cm2



Materiais

Concreto

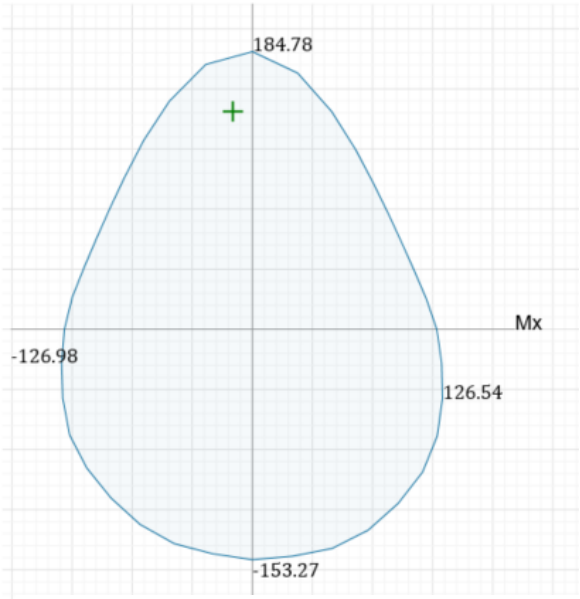
f_{ck} = 15 MPa
γ_c = 1.4

Aço

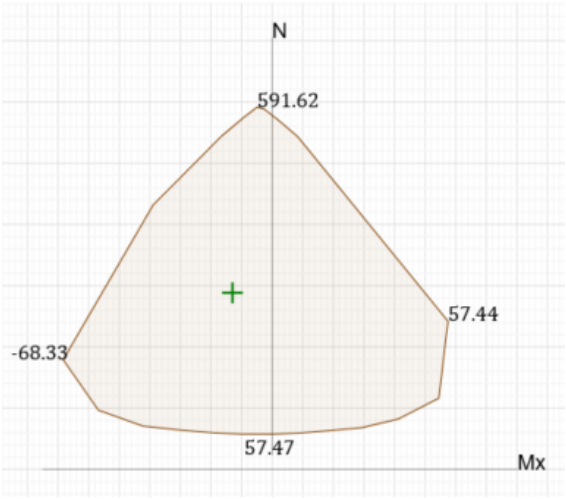
f_{yk} = 500 MPa
γ_s = 1.15
E_s = 210000 MPa

Curvas Resistentes (R_d)

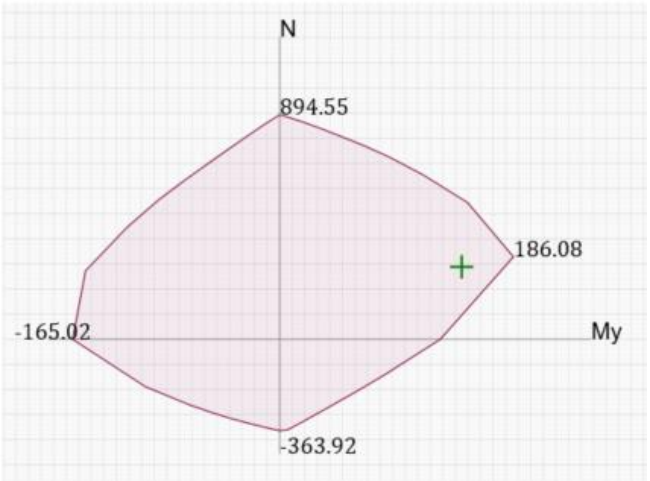
($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 288.29 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = 144.96 tfm



(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = -12.97 tfm

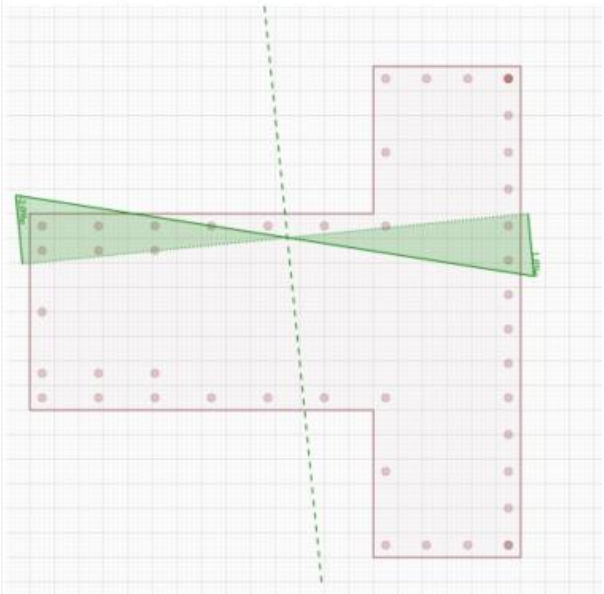


Verificação (S_d X R_d)

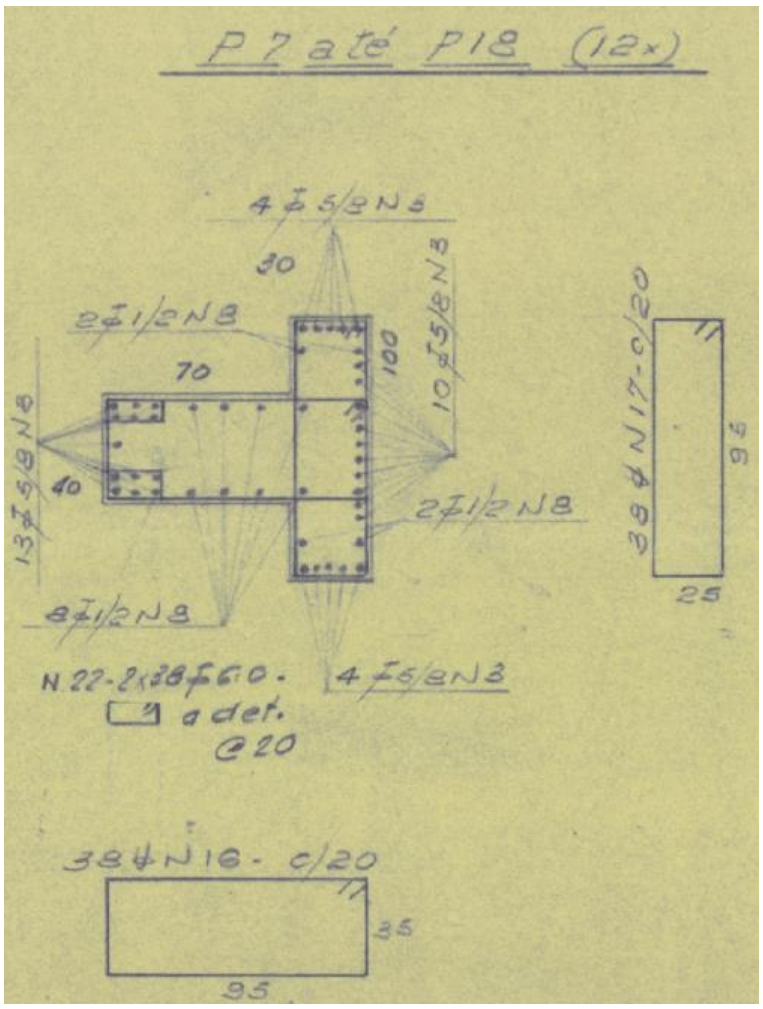
N_{Sd} = 288.29 tf
$M_{Sd,x}$ = -12.97 tfm
$M_{Sd,y}$ = 144.96 tfm
S_d/R_d = 0.79

Passou, OK!

Deformações



- LANCE 2 (+10,30 A +18,00)
    - Detalhamento de projeto



- Esforços solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
18: ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4	Topo	120.68	5.43	-127.46
	Meio	120.68	-5.43	-146.69
	Base	120.68	-6.04	-159.51

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

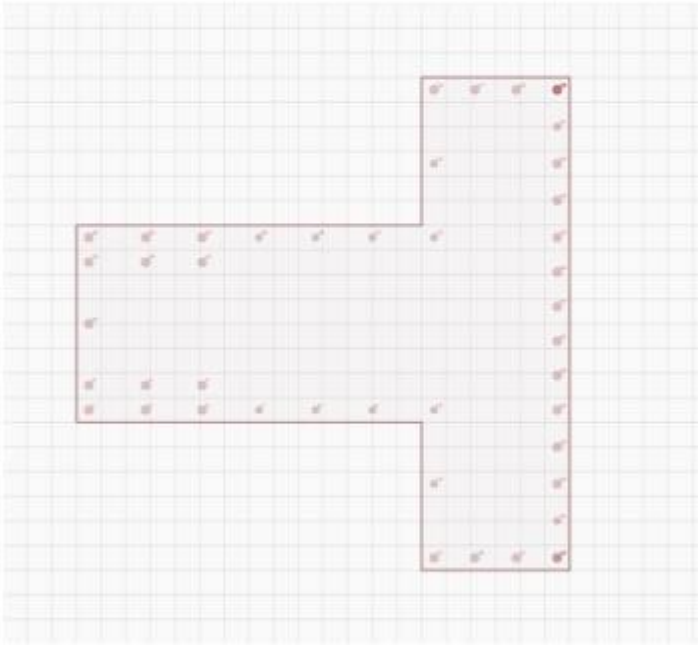
Seção Transversal

Características Geométricas

$S = 5800.00\ cm2$
$I_x = 2873333\ cm4$
$I_y = 4989023\ cm4$
$r_x = 22.3\ cm$
$r_y = 29.3\ cm$

Armaduras

$A_{sl} = 83.09\ cm2$



Materiais

Concreto

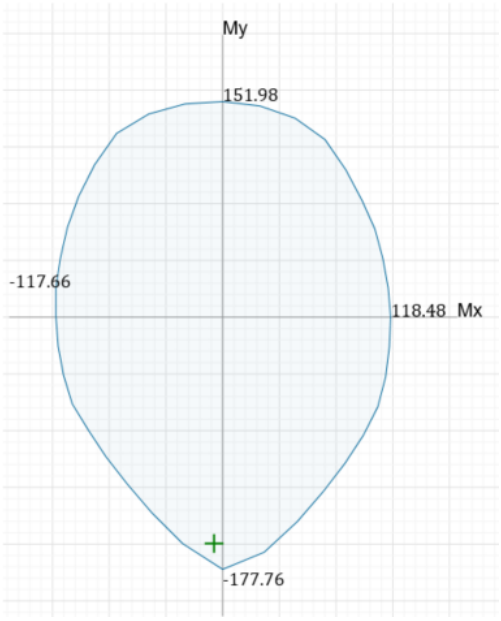
$f_{ck} = 15\ MPa$
$\gamma_c = 1.4$

Aço

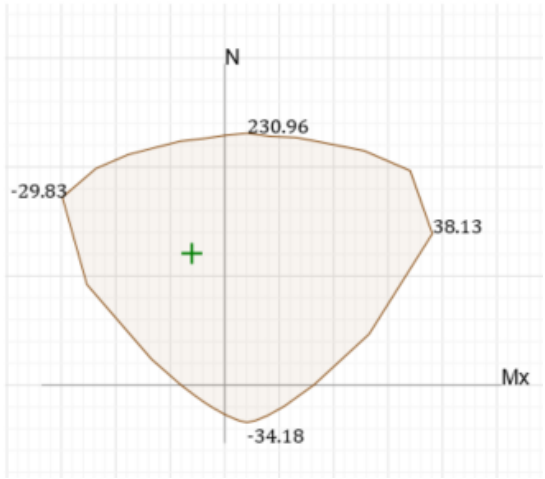
$f_{yk} = 500\ MPa$
$\gamma_s = 1.15$
$E_s = 210000\ MPa$

Curvas Resistentes (R_d)

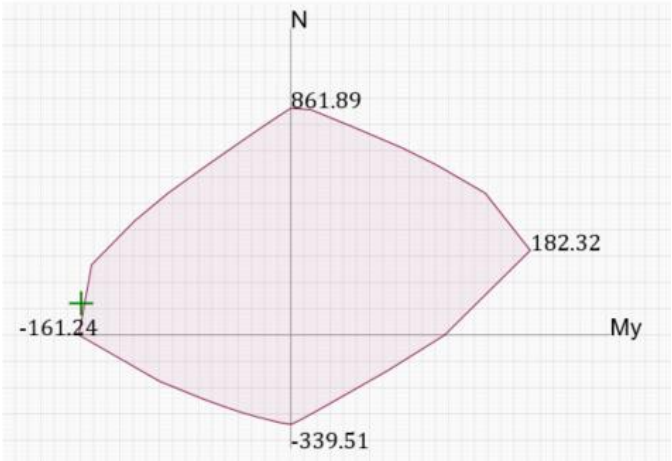
($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 120.68 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = -159.51 tfm



(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = -6.04 tfm

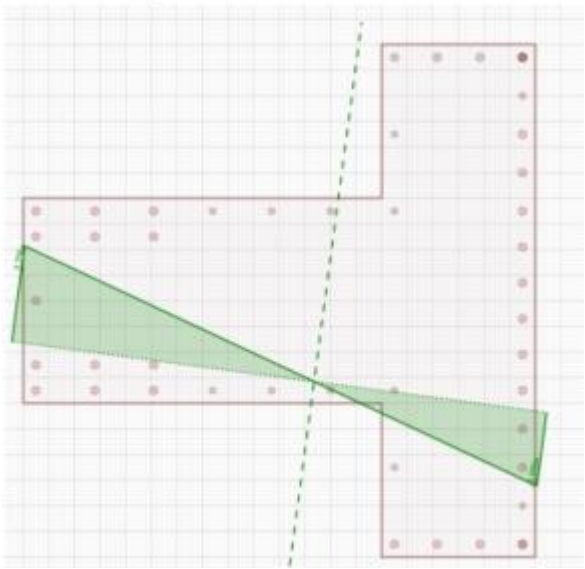


Verificação (S_d X R_d)

N_{Sd} = 120.68 tf
$M_{Sd,x}$ = -6.04 tfm
$M_{Sd,y}$ = -159.51 tfm
S_d/R_d = 0.92

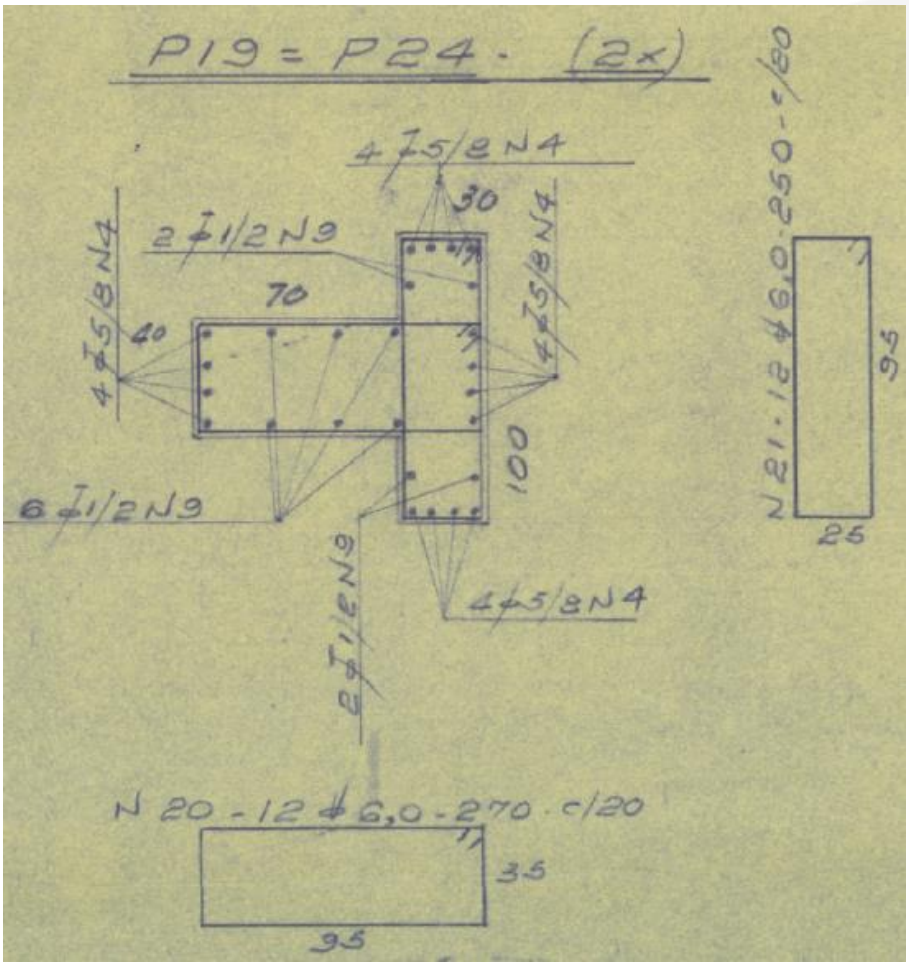
Passou, OK!

Deformações



5.2.2.4.4 Verificação do pilar P19 – (fck < fck de projeto)

- LANCE 1(+2,95 A +5,40)
  - Detalhamento de projeto



  - Esforços solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
28: ELU1/ACIDCOMB/PP V+PERM V+ACID V+0.6VENT2	Topo	233.18	-10.49	27.87
	Meio	233.18	11.17	13.97
	Base	233.18	15.06	-17.38

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

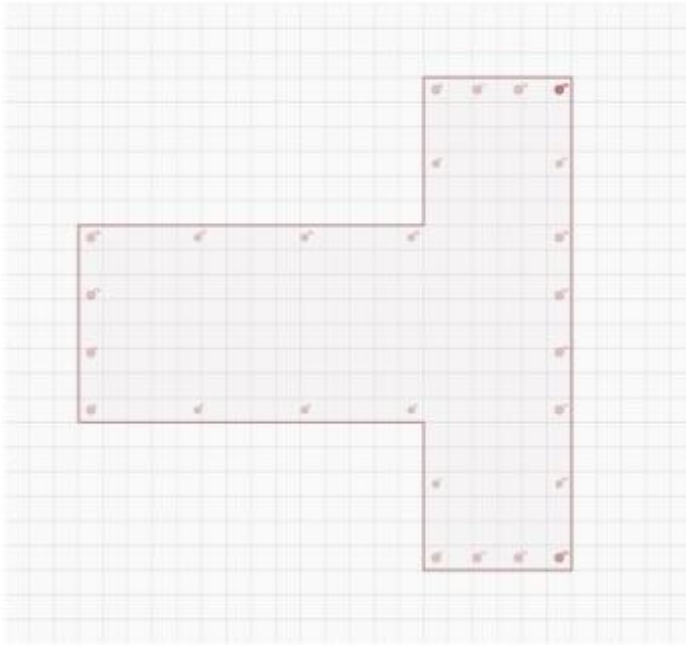
Seção Transversal

Características Geométricas

$S = 5800.00\ cm2$
$I_x = 2873333\ cm4$
$I_y = 4989023\ cm4$
$r_x = 22.3\ cm$
$r_y = 29.3\ cm$

Armaduras

$A_{sl} = 50.47\ cm2$



Materiais

Concreto

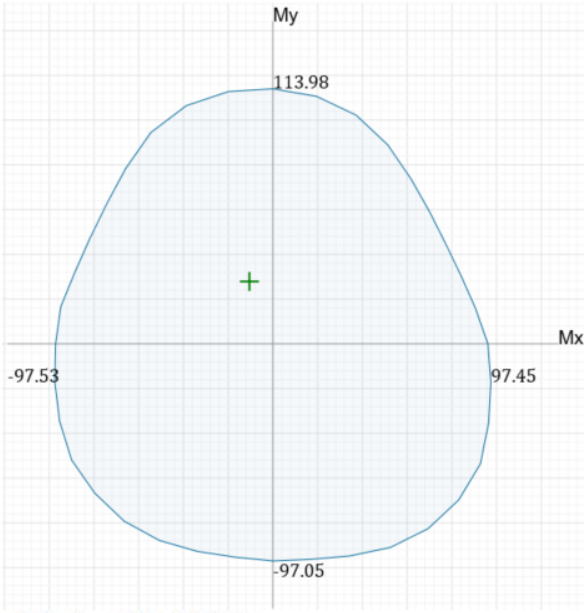
$f_{ck} = 12\ MPa$
$\gamma_c = 1.3$

Aço

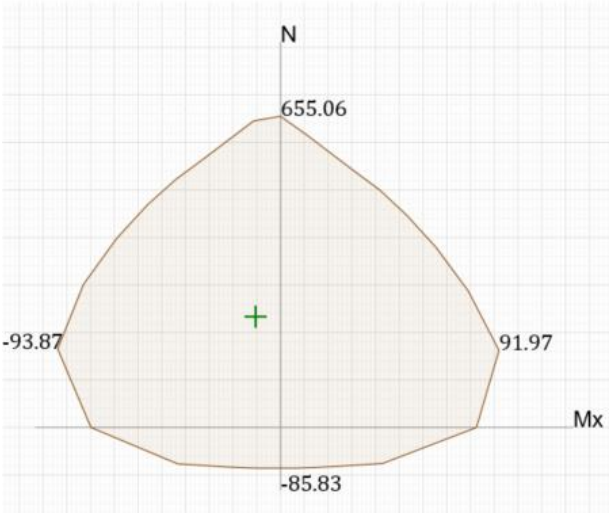
$f_{yk} = 500\ MPa$
$\gamma_s = 1.15$
$E_s = 210000\ MPa$

Curvas Resistentes (R_d)

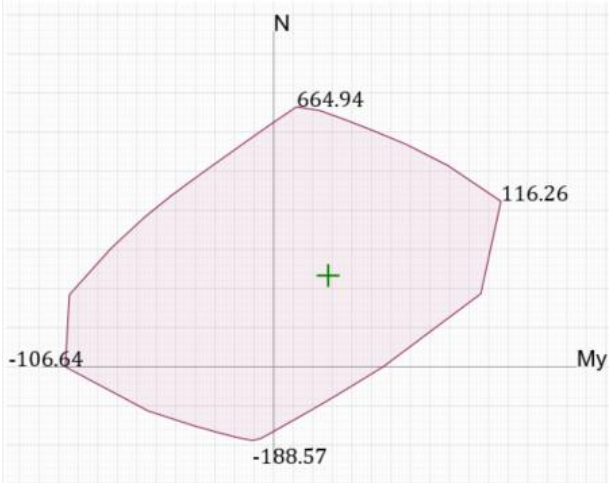
($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 233.18 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = 27.87 tfm



(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = -10.49 tfm

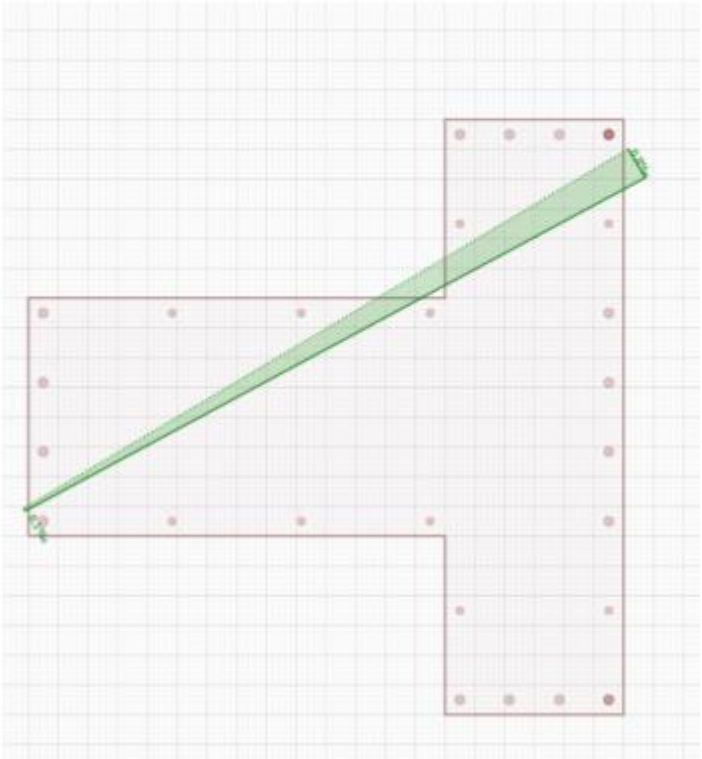


Verificação (S_d X R_d)

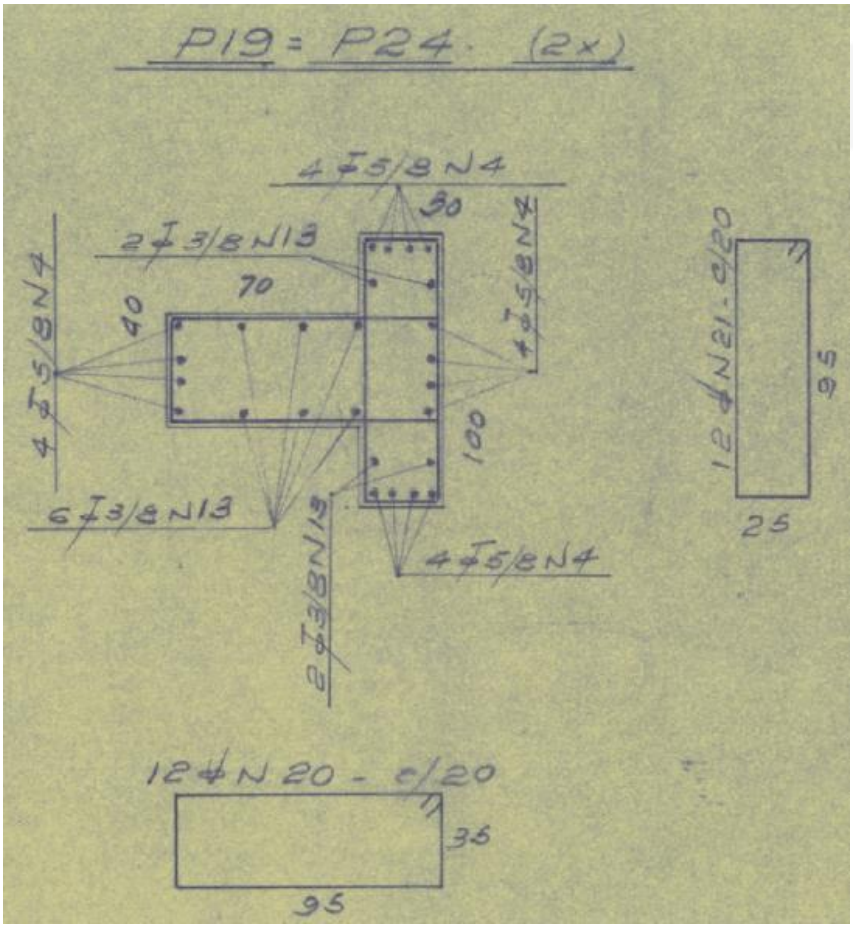
N_{Sd} = 233.18 tf
$M_{Sd,x}$ = -10.49 tfm
$M_{Sd,y}$ = 27.87 tfm
S_d/R_d = 0.44

Passou, OK!

Deformações



- LANCE 2 (+5,40 A +7,85)
    - Detalhamento de projeto



    - Esforços solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
32: ELU1/ACIDCOMB/PP V+PERM V+0.8ACID V+VENT2	Topo	203.50	-9.16	-9.16
	Meio	203.50	9.16	9.16
	Base	203.50	12.85	11.88

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

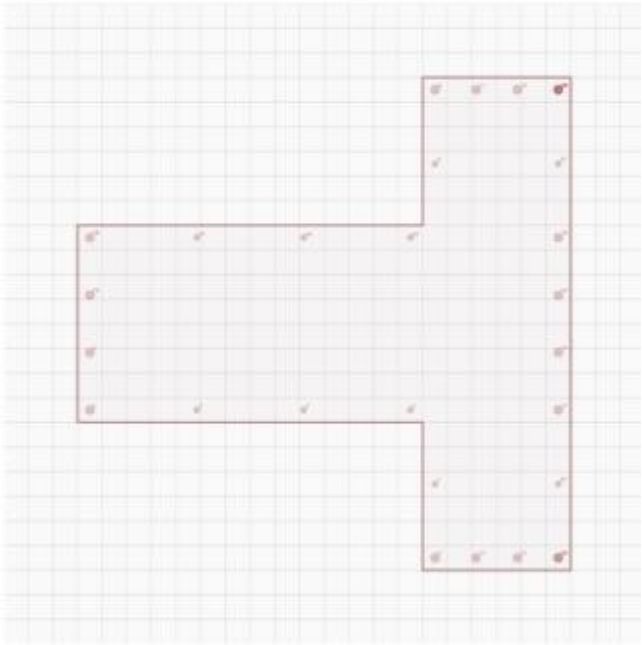
Seção Transversal

Características Geométricas

$S = 5800.00\ cm2$
$I_x = 2873333\ cm4$
$I_y = 4989023\ cm4$
$r_x = 22.3\ cm$
$r_y = 29.3\ cm$

Armaduras

$A_{sl} = 46.06\ cm2$



Materiais

Concreto

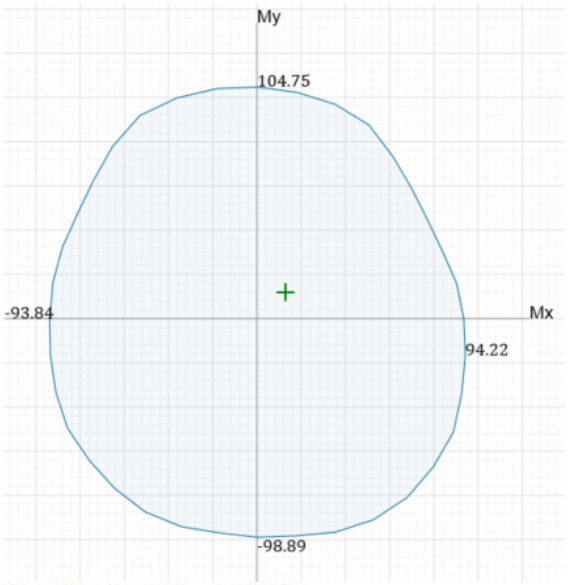
$f_{ck} = 12\ MPa$
$\gamma_c = 1.3$

Aço

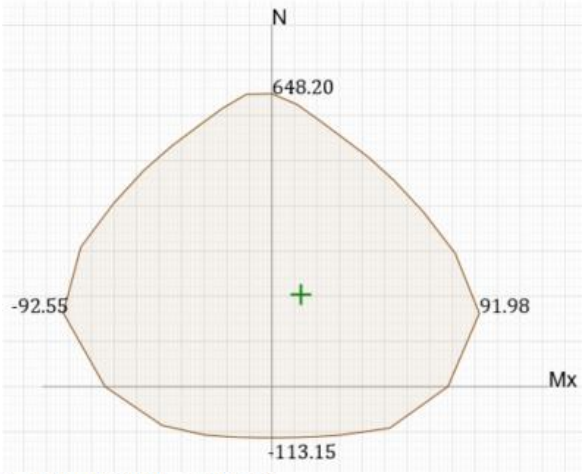
$f_{yk} = 500\ MPa$
$\gamma_s = 1.15$
$E_s = 210000\ MPa$

Curvas Resistentes (R_d)

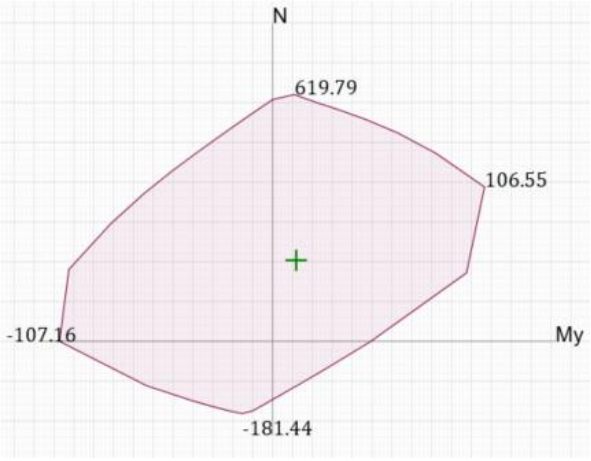
($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 203.50 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = 11.88 tfm



(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = 12.85 tfm

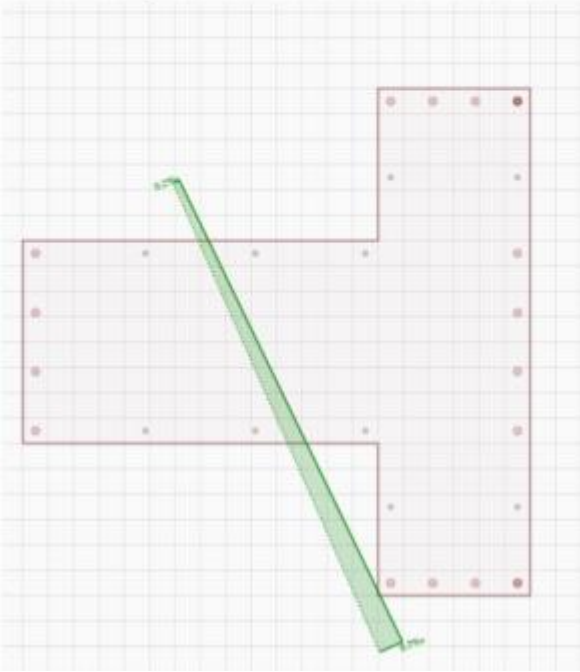


Verificação (S_d X R_d)

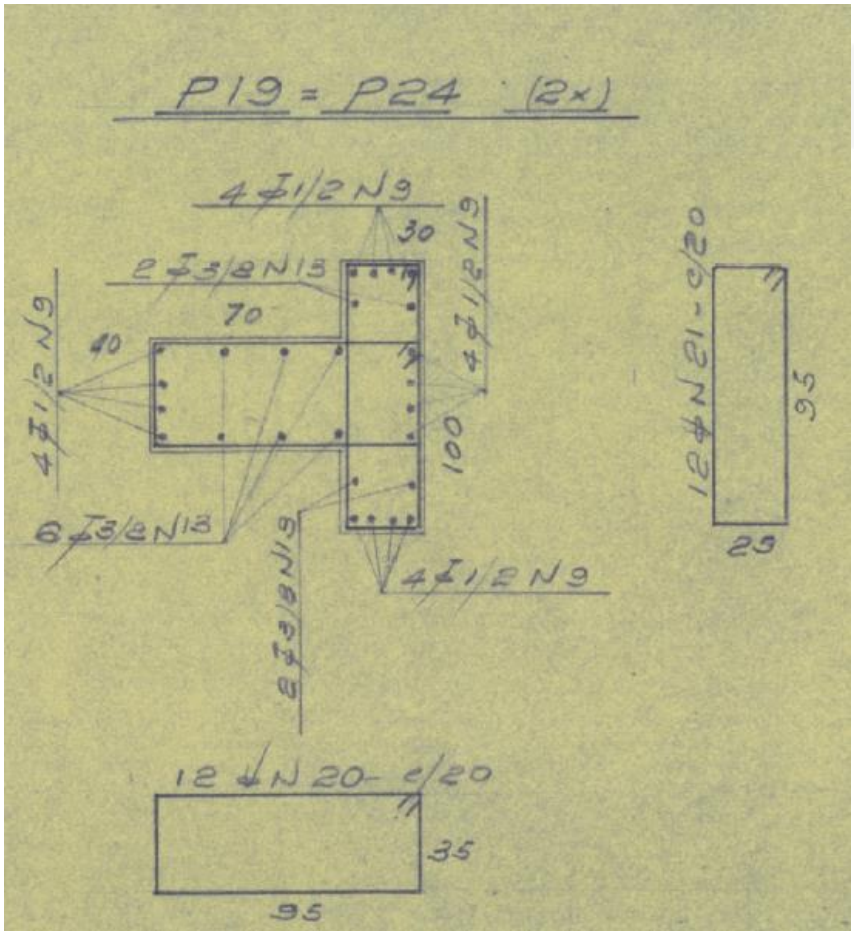
N_{Sd} = 203.50 tf
$M_{Sd,x}$ = 12.85 tfm
$M_{Sd,y}$ = 11.88 tfm
S_d/R_d = 0.40

Passou, OK!

Deformações



- LANCE 3 (+7,85 A +10,30)
    - Detalhamento de projeto



    - Esforços Solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
18: ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4	Topo	189.88	-10.19	8.54
	Meio	189.88	-10.83	-12.93
	Base	189.88	-11.27	-16.27

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

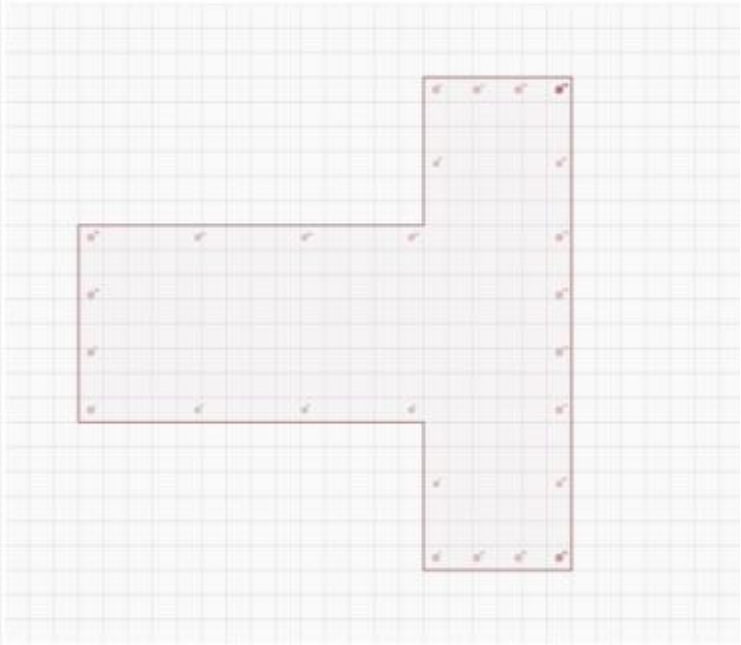
Seção Transversal

Características Geométricas

$S = 5800.00\ cm2$
$I_x = 2873333\ cm4$
$I_y = 4989023\ cm4$
$r_x = 22.3\ cm$
$r_y = 29.3\ cm$

Armaduras

$A_{sl} = 31.17\ cm2$



Materiais

Concreto

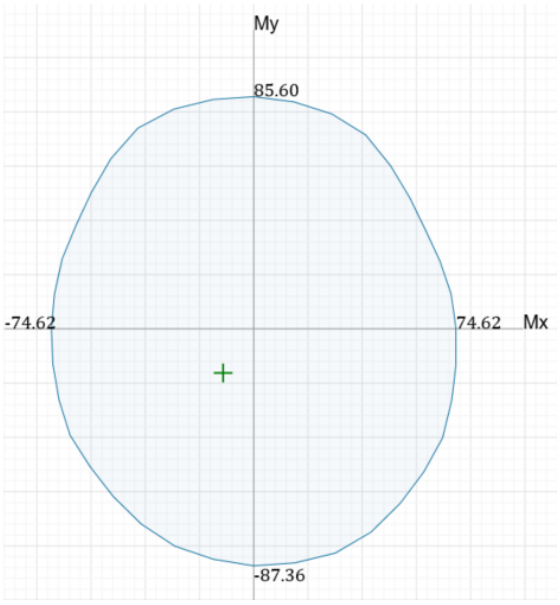
$f_{ck} = 12\ MPa$
$\gamma_c = 1.3$

Aço

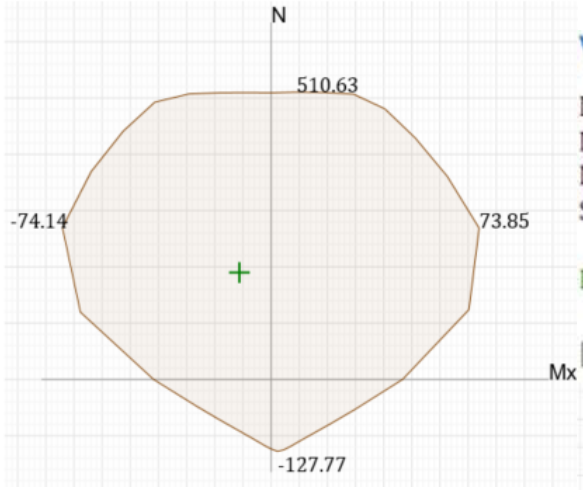
$f_{yk} = 500\ MPa$
$\gamma_s = 1.15$
$E_s = 210000\ MPa$

Curvas Resistentes (R_d)

($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 189.88 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = -16.27 tfm

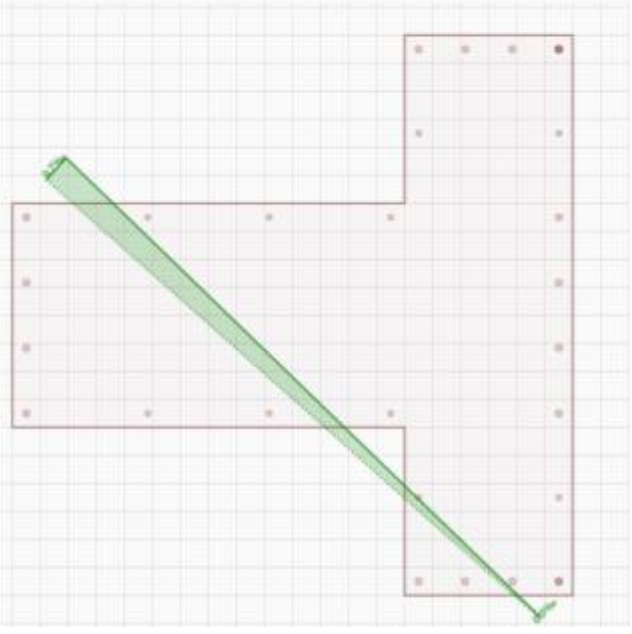


Verificação (S_d X R_d)

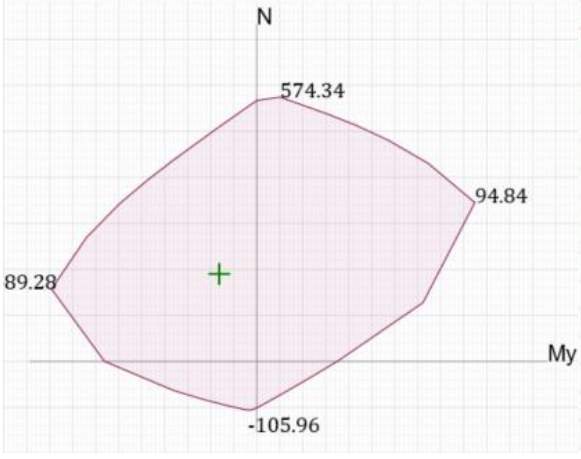
N_{Sd} = 189.88 tf
$M_{Sd,x}$ = -11.27 tfm
$M_{Sd,y}$ = -16.27 tfm
S_d/R_d = 0.44

Passou, OK!

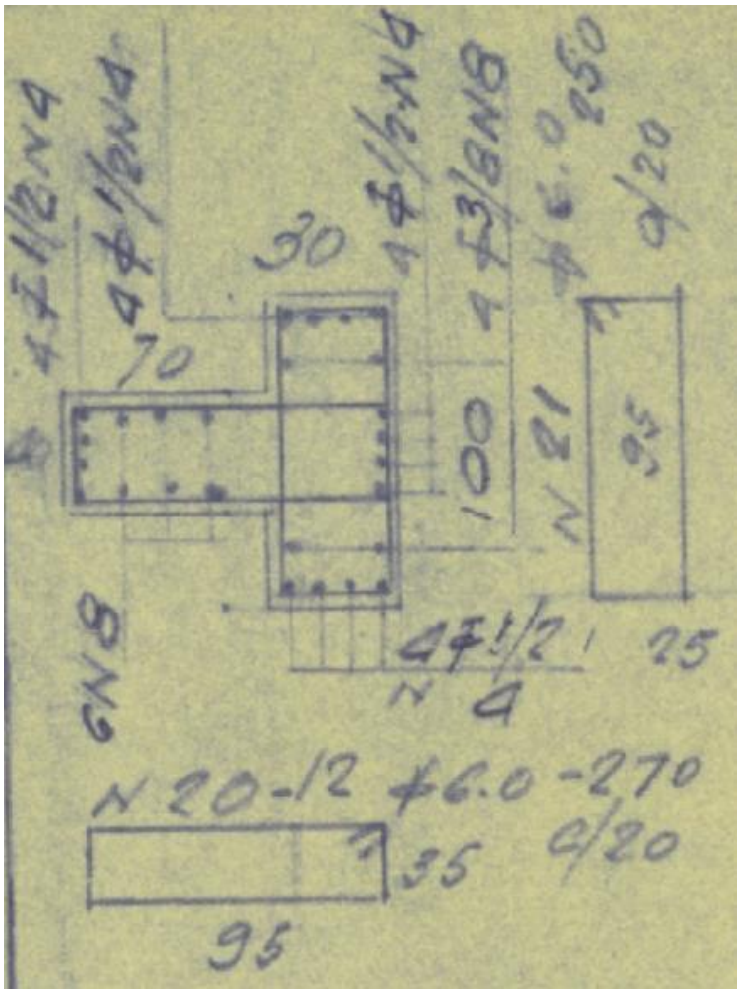
Deformações



(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = -11.27 tfm



- LANCE 4 (+10,30 A +12,75)
    - Detalhamento de projeto



    - Esforços solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
34: ELU1/ACIDCOMB/PP V+PERM V+0.8ACID V+VENT4	Topo	161.18	19.00	-7.25
	Meio	161.18	11.83	-18.07
	Base	161.18	-7.25	-25.28

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

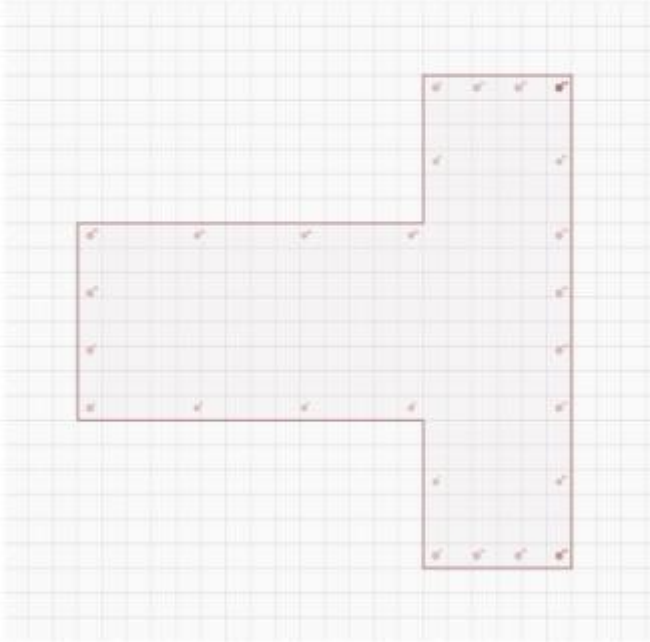
Seção Transversal

Características Geométricas

$S = 5800.00\ cm2$
$I_x = 2873333\ cm4$
$I_y = 4989023\ cm4$
$r_x = 22.3\ cm$
$r_y = 29.3\ cm$

Armaduras

$A_{sl} = 31.17\ cm2$



Materiais

Concreto

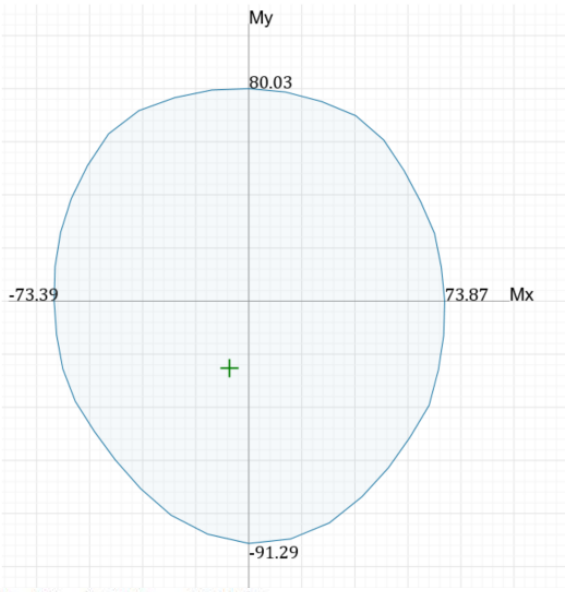
$f_{ck} = 12\ MPa$
$\gamma_c = 1.3$

Aço

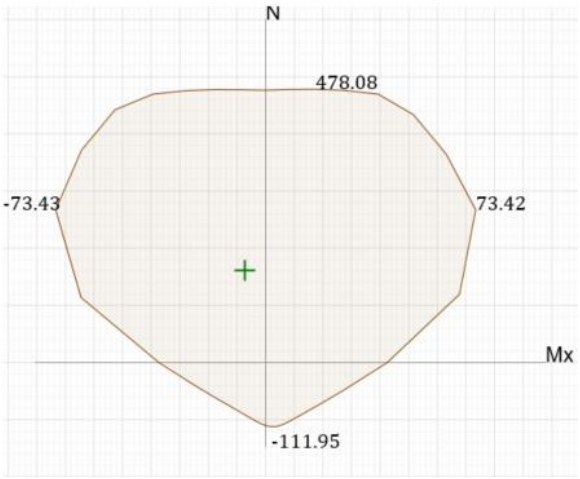
$f_{yk} = 500\ MPa$
$\gamma_s = 1.15$
$E_s = 210000\ MPa$

Curvas Resistentes (R_d)

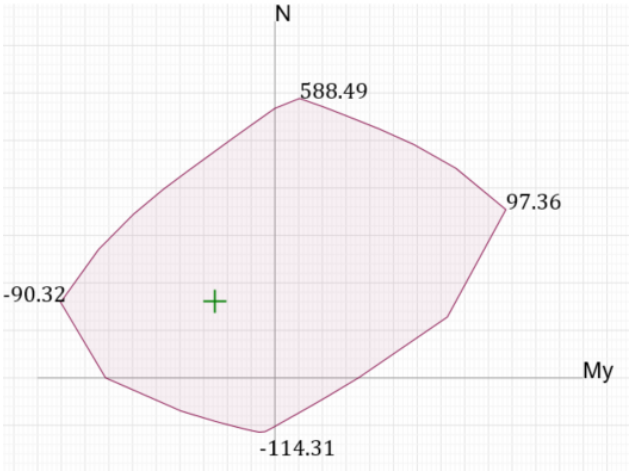
$(M_{Rd,x} \times M_{Rd,y})$ com N_d = 161.18 tf



$(N_{Rd} \times M_{Rd,x})$ com M_{dy} = -25.28 tfm



$(N_{Rd} \times M_{Rd,y})$ com M_{dx} = -7.27 tfm

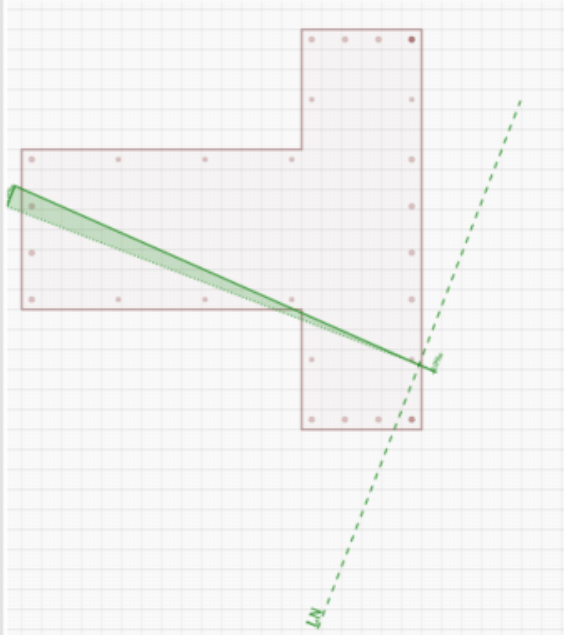


Verificação (S_d X R_d)

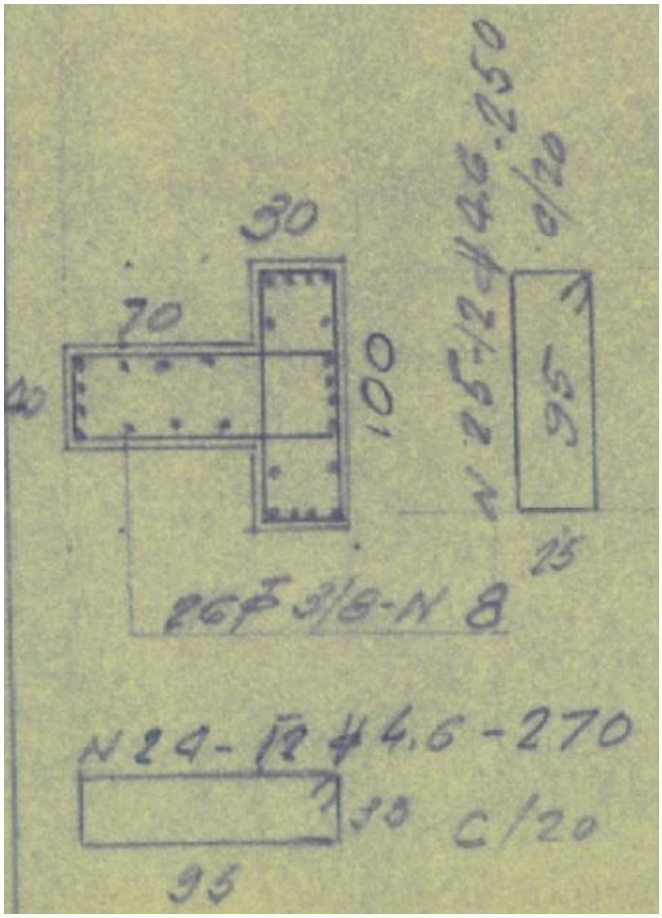
N_{Sd} = 161.18 tf
$M_{Sd,x}$ = -7.27 tfm
$M_{Sd,y}$ = -25.28 tfm
S_d/R_d = 0.45

Passou, OK!

Deformações



- LANCE 5 (+12,75 A +15,20)
    - Detalhamento de projeto



    - Esforços solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
25: ELU1/PERM/PP V+PERM V	Topo	127.17	-10.76	55.20
	Meio	127.17	5.72	22.08
	Base	127.17	10.98	-38.05

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

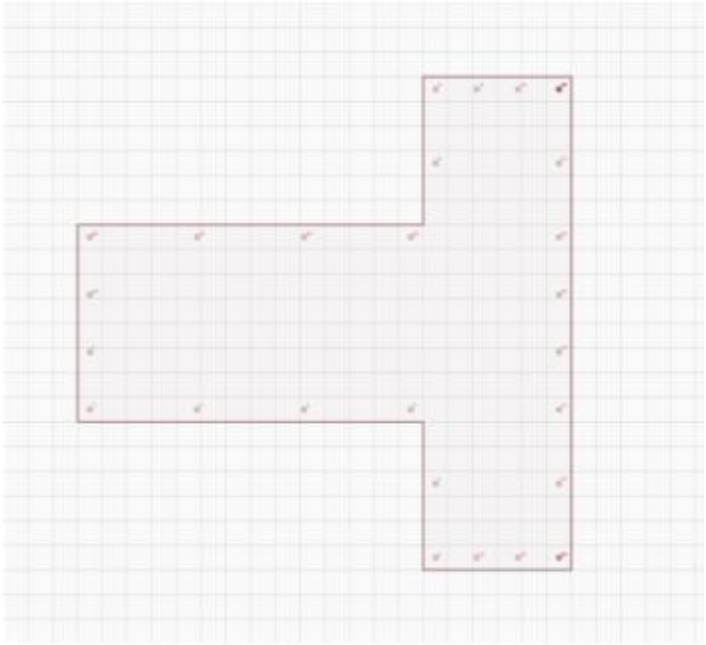
Seção Transversal

Características Geométricas

S = 5800.00 cm2
I_x = 2873333 cm4
I_y = 4989023 cm4
r_x = 22.3 cm
r_y = 29.3 cm

Armaduras

A_{sl} = 22.78 cm2



Materiais

Concreto

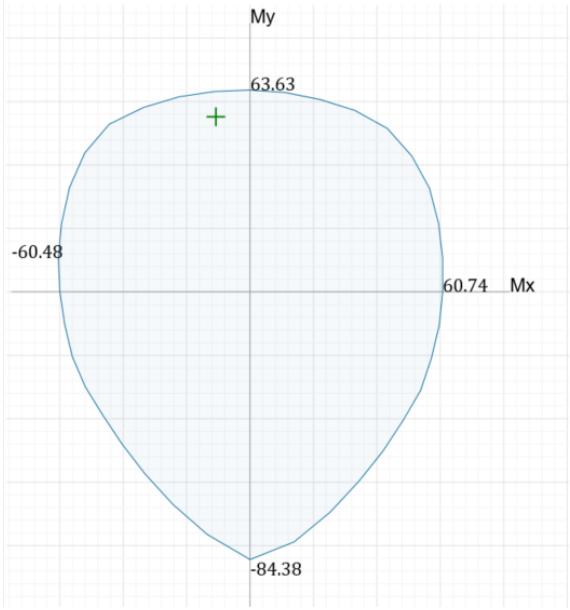
f_{ck} = 12 MPa
γ_c = 1.3

Aço

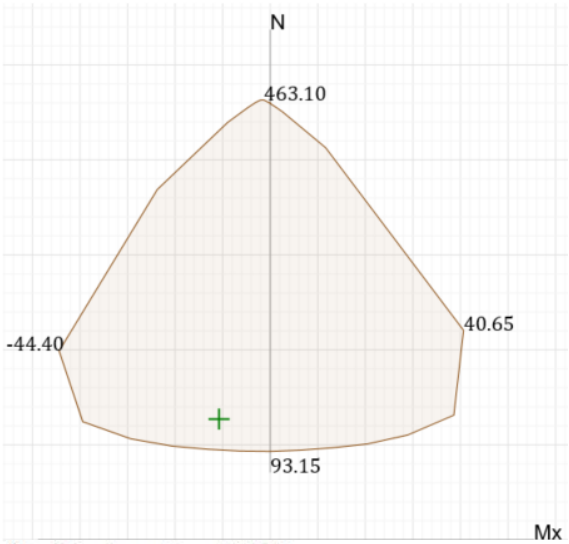
f_{yk} = 500 MPa
γ_s = 1.15
E_s = 210000 MPa

Curvas Resistentes (R_d)

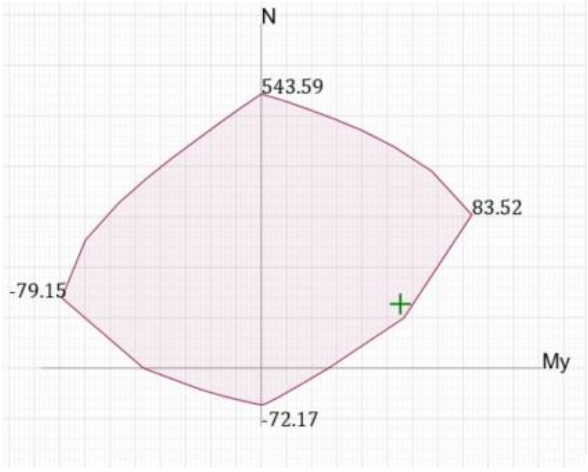
($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 127.17 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = 55.20 tfm



(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = -10.76 tfm

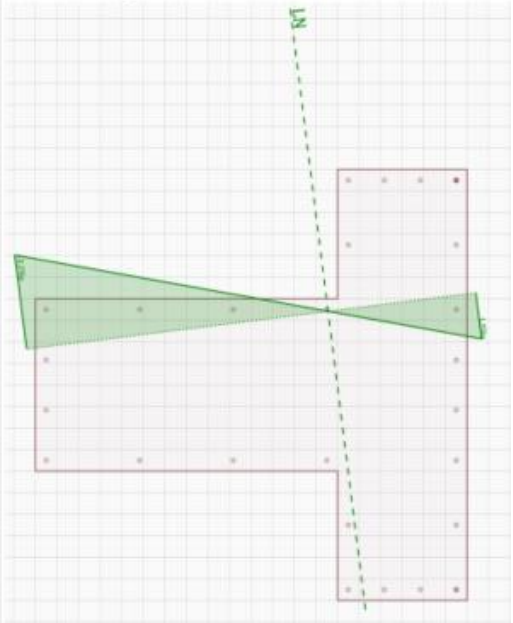


Verificação (S_d X R_d)

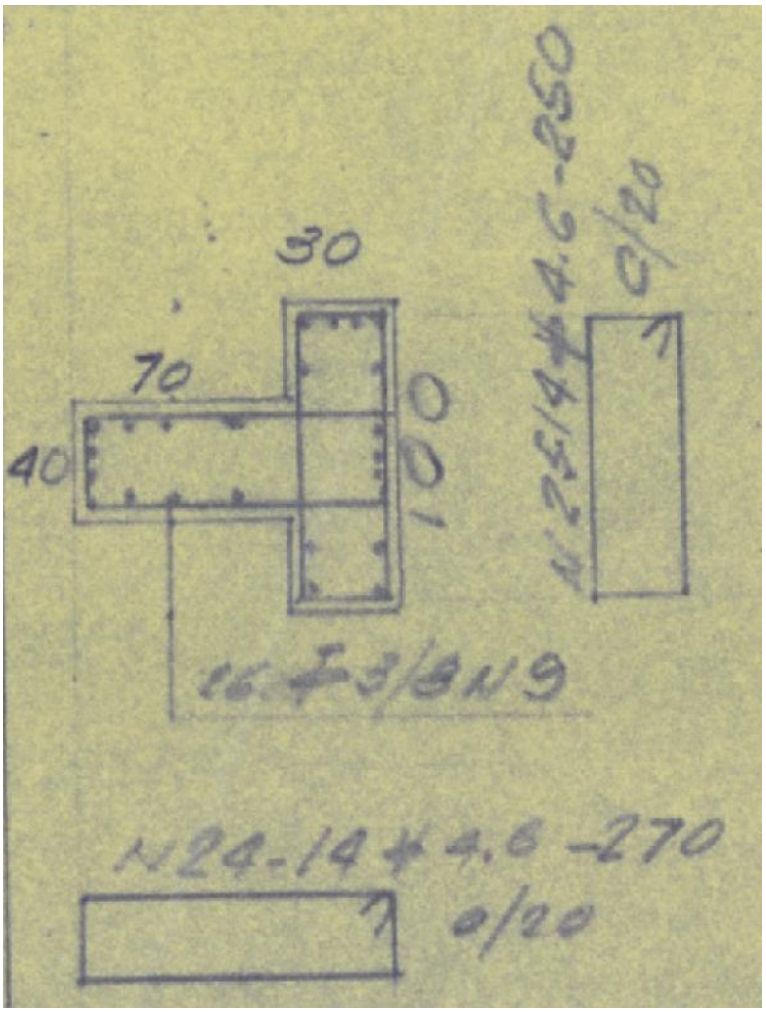
N_{Sd} = 127.17 tf
$M_{Sd,x}$ = -10.76 tfm
$M_{Sd,y}$ = 55.20 tfm
S_d/R_d = 0.79

Passou, OK!

Deformações



- LANCE 6 (+15,20 A +18,00)
    - Detalhamento de projeto



    - Esforços solicitantes

Combinação	Seção	N_{Sd} (tf)	M_{Sdx} (tfm)	M_{Sdy} (tfm)
13: ELU1/PERM/PP+PERM	Topo	102.49	4.61	4.61
	Meio	102.49	-4.61	23.84
	Base	102.49	-7.39	36.66

- Capacidade resistente da seção

Seção/Armaduras

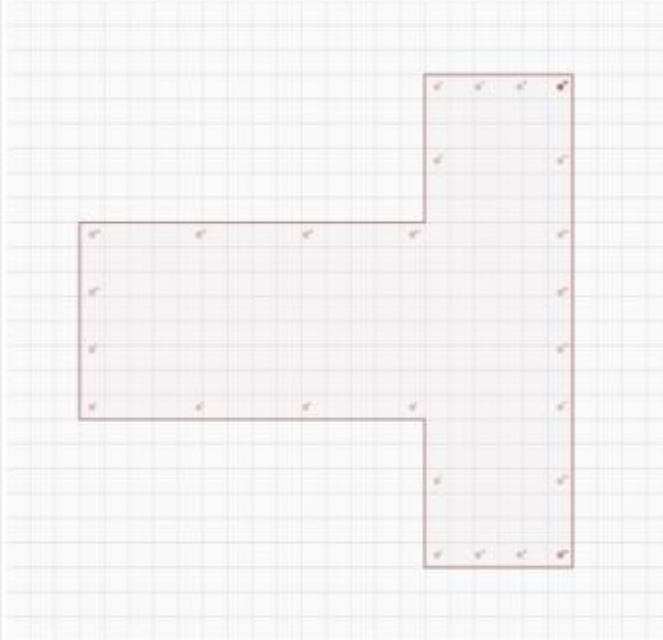
Seção Transversal

Características Geométricas

$S = 5800.00\ cm2$
$I_x = 2873333\ cm4$
$I_y = 4989023\ cm4$
$r_x = 22.3\ cm$
$r_y = 29.3\ cm$

Armaduras

$A_{sl} = 22.78\ cm2$



Materiais

Concreto

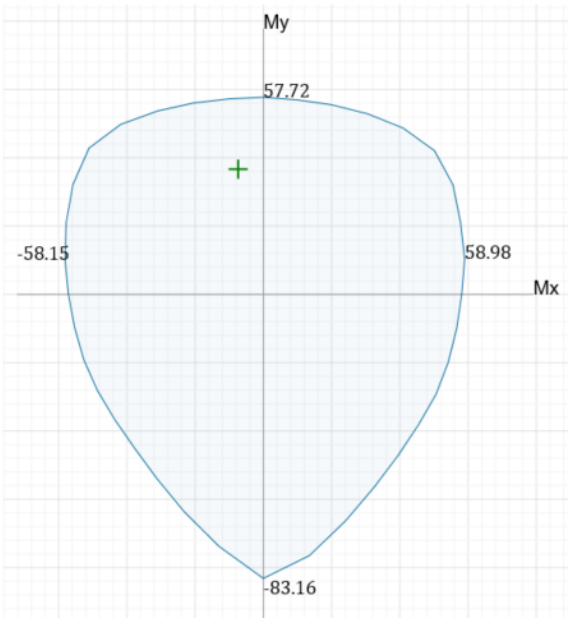
$f_{ck} = 12\ MPa$
$\gamma_c = 1.3$

Aço

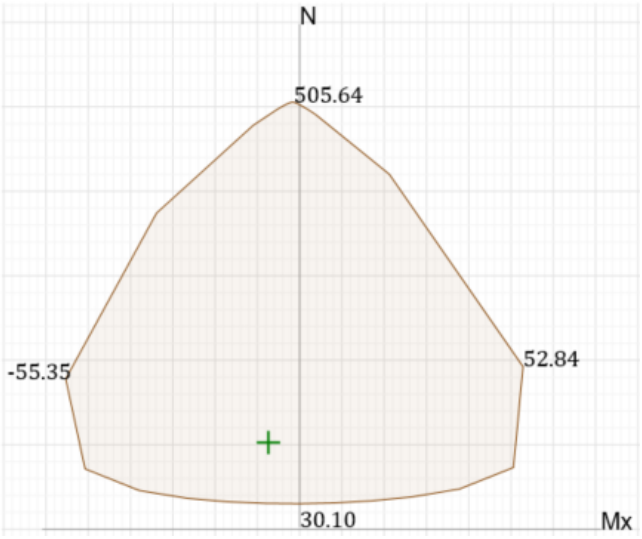
$f_{yk} = 500\ MPa$
$\gamma_s = 1.15$
$E_s = 210000\ MPa$

Curvas Resistentes (R_d)

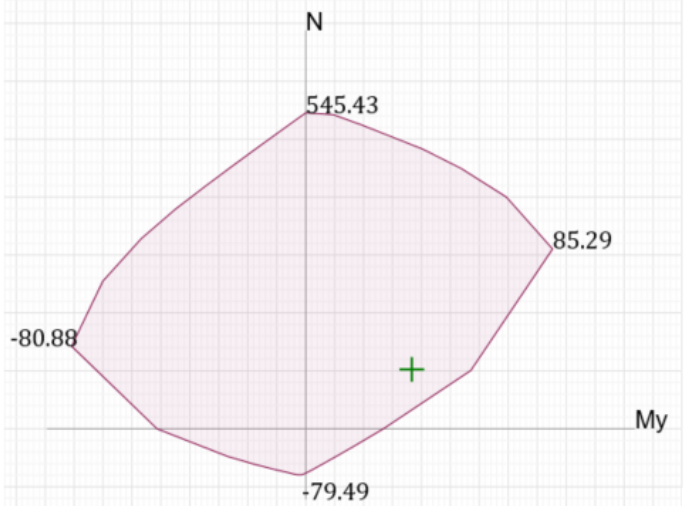
($M_{Rd,x}$ X $M_{Rd,y}$) com N_d = 102.49 tf



(N_{Rd} X $M_{Rd,x}$) com M_{dy} = 36.66 tfm



(N_{Rd} X $M_{Rd,y}$) com M_{dx} = -7.39 tfm

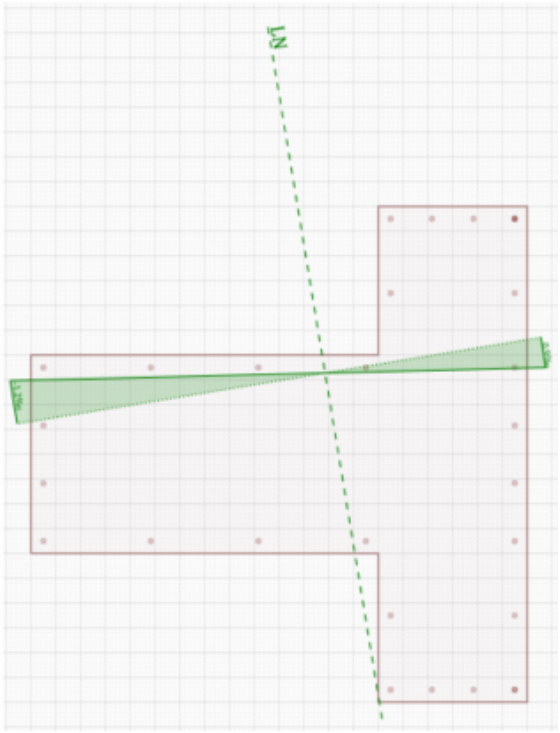


Verificação (S_d X R_d)

N_{Sd} = 102.49 tf
$M_{Sd,x}$ = -7.39 tfm
$M_{Sd,y}$ = 36.66 tfm
S_d/R_d = 0.47

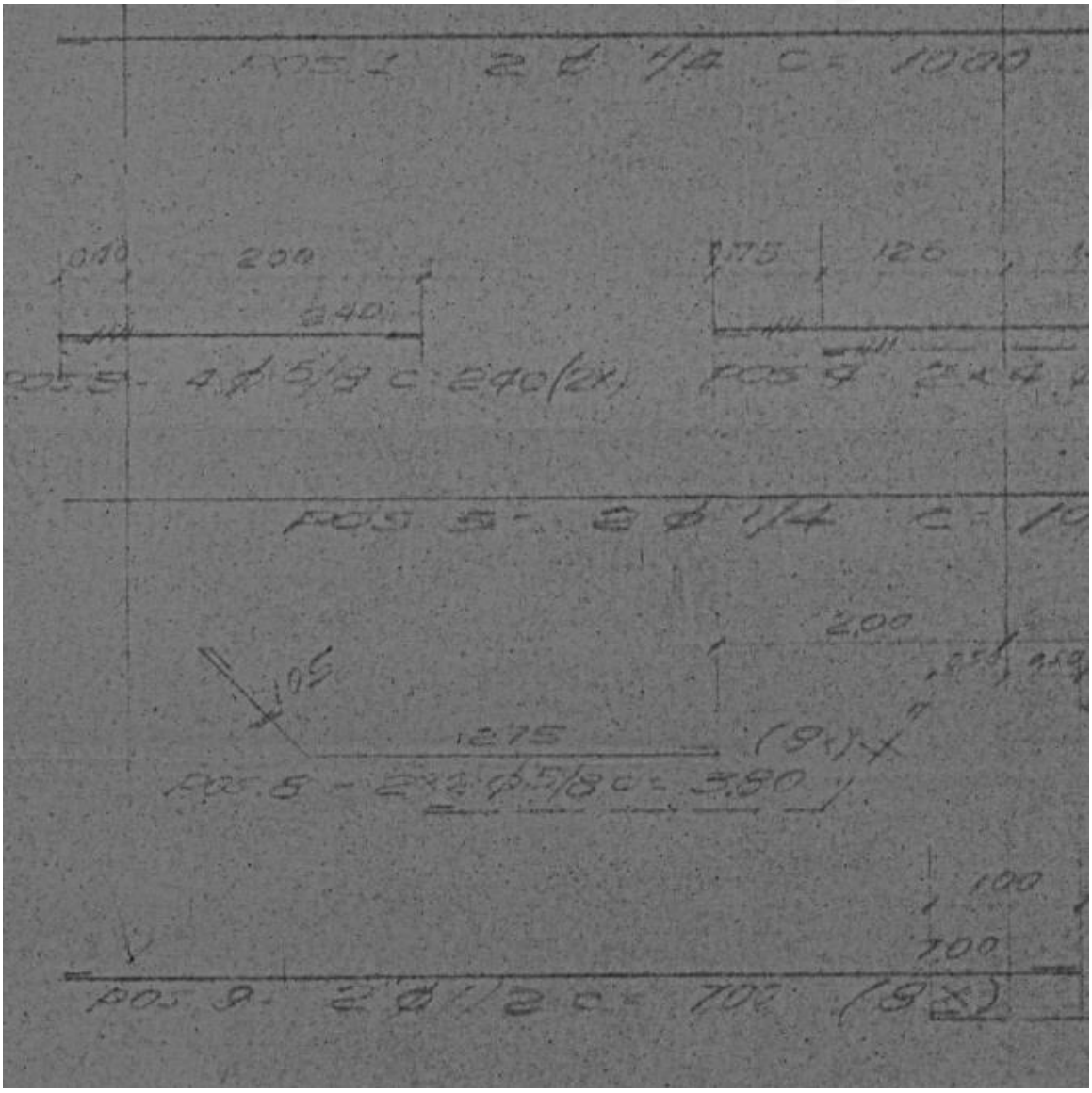
Passou, OK!

Deformações

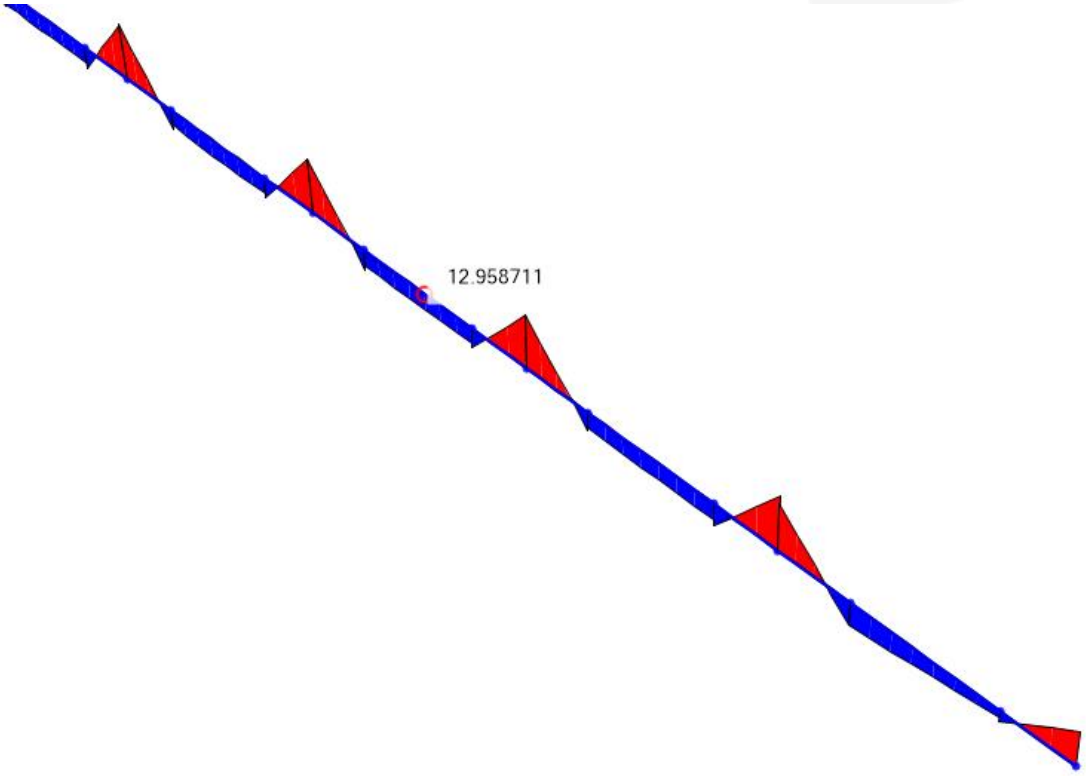


5.2.2.4.5 Verificação da viga V4 – viga de respaldo da cobertura – (fck < fck de projeto)

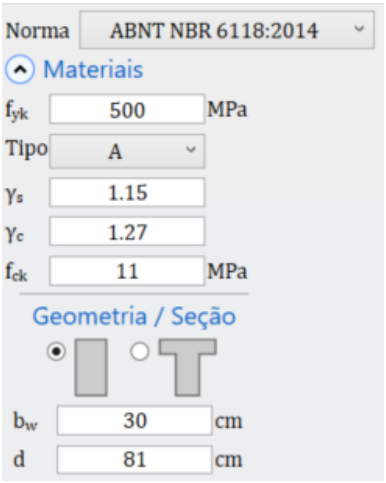
- Detalhamento de projeto



- Esforços solicitantes



- Capacidade resistente da seção



O momento resistente de cálculo da seção é igual a 19,67 tf.m, portanto, maior do que o momento solicitante de cálculo de 13 tf.m. Em que pese o fck constatado ser menor que o de projeto, é possível concluir que a seção possui capacidade resistente suficiente para resistir aos esforços solicitantes.

5.2.2.5 VERIFICAÇÕES DE ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

A verificação dos deslocamentos verticais máximos da cobertura resultou em valores aceitáveis. Considerando os limites impostos pela NBR 6118:2023 o deslocamento máximo vertical admitido seria de 125 mm. Como é possível visualizar pela imagem abaixo o deslocamento máximo obtido pelo modelo elaborado no âmbito do presente trabalho foi de 66 mm.

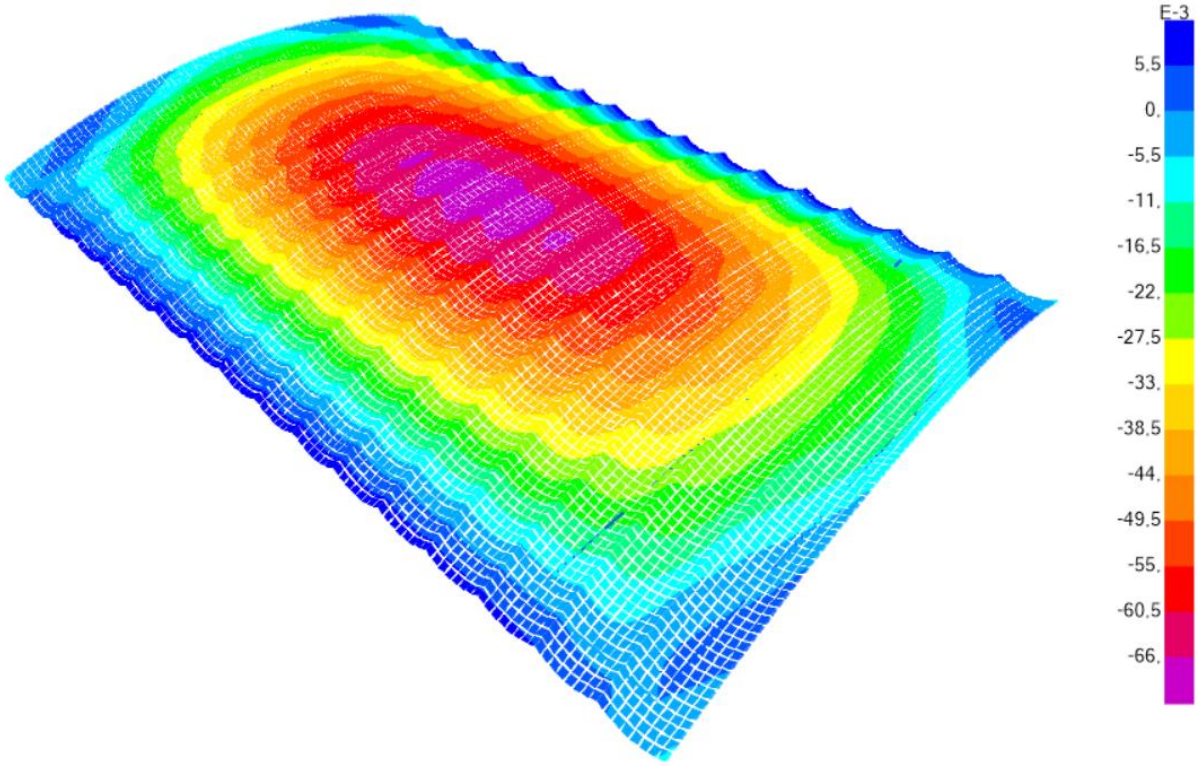


Figura 12 - Deslocamentos verticais da cobertura

5.2.3 CONCLUSÕES DE DIAGNÓSTICO

Tomando como base os resultados da vistoria, dos ensaios e das análises estruturais realizadas, é possível conceber uma investigação que permita chegar ao entendimento dos mecanismos de desenvolvimento das principais anomalias e manifestações patológicas observadas na estrutura.

Abaixo são apresentadas as considerações e conclusões de diagnóstico com base nas constatações apresentadas nos subitens do item A até o D.

5.2.3.1 ITENS A e B

Considerando que o material cerâmico empregado nas lajotas possui característica mecânica de baixa dutilidade, eventuais fissuras podem ocorrer desde o processo de execução. As desintegrações percebidas são, ao que tudo indica, a materialização de rupturas locais dos elementos cerâmicos devido a fissuras formadas em processo anterior.

É importante ressaltar que os elementos de enchimento das lajes que estão sendo afetados por desintegrações pontuais e pouco representativas são elementos que não contribuem para a capacidade resistente das lajes e constituem tão somente elementos inertes que possuem a função de diminuir o peso próprio do sistema estrutural.

De modo que a segurança dos usuários da edificação não resta prejudicada no que diz respeito à capacidade resistente das lajes. Fator que prejudica a segurança dos usuários da edificação é o risco de serem atingidos por fragmentos dos elementos de enchimento. Contudo, foi possível perceber que a medida paliativa adotada com a instalação de telas de proteção consegue restabelecer o nível de segurança adequado.

5.2.3.2 ITEM C e D

Considerando que a inspeção dos tirantes constitui atividade que emprega certo risco à integridade estrutural do elemento, optou-se por fazer a inspeção de um dos tirantes, extrapolando a condição encontrada para os demais. Tendo em vista que comportamentos relacionados à deterioração não tendem a sofrer grandes variações para elementos idênticos em condições ambientais semelhantes, pode se considerar

que a inspeção da integridade da armadura e da nata de um tirante pode representar com segurança a condição dos demais tirantes existentes.

A escolha do tirante protendido adjacente a linha de pilar P13-P14 localizado entre as linhas de pilares P13-P14 e P11-P12 para inspeção foi motivada pela existência de uma fissura em sua bainha de PVC. As figuras abaixo mostram a fissura que motivou a inspeção no tirante bem como a recomposição da nata do tirante inspecionado.

Figura 13 – (i) Vista da fissura existente na bainha de PVC do tirante inspecionado; (ii) Vista do tirante após recomposição da nata removida para inspeção.

Da inspeção realizada no tirante pode se concluir que o aço não possui qualquer indício de processo de corrosão ativo. A nata de cimento está íntegra, ausente de qualquer tipo de fissura ou fragmentação.

Ademais, as verificações realizadas durante a vistoria permitiram constatar o baixo nível de deterioração dos elementos estruturais das edificações. Por meio das observações notou-se que:

a. Não há indícios de distensionamento ou perdas de protensão de grande magnitude dos tirantes da cobertura e vigas protendidas do nível +10,30;

b. Não há anomalias que possam estar relacionadas a mal comportamento do sistema de ancoragens dos elementos protendidos;
c. Existe conformidade de diâmetro e forma dos cabos dos tirantes executados e os projetados (12Ø 7 mm);
d. Não existem sinais ou desplacamentos de elementos de concreto que indiquem corrosão das armaduras;
e. Não existe movimentação ou deslocamento excessivo da estrutura;
f. Não existem sinais de recalques ou movimentação de fundações da estrutura.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apoiando no amplo estudo realizado sobre possíveis manifestações patológicas evidentes na estrutura, nos resultados dos ensaios executados que aferiram parâmetros diretamente ligados à durabilidade, nas análises relacionadas ao comportamento estrutural apresentadas por este trabalho e nos fatos históricos que foram relatados, é possível concluir que a estrutura não apresenta, no momento, para as configurações atuais de carregamento e uso, risco de colapso global. Contudo, para que a estrutura ofereça condições adequadas de durabilidade e vida útil, faz-se necessária a execução de intervenções que visem prevenir manifestações patológicas.

Dessa maneira, como repercussão do presente trabalho, recomenda-se o que segue:

- Manutenção da rede de proteção contra quedas de fragmentos das lajotas cerâmicas;

- Desinterdição e plena utilização das edificações para os fins que foram projetadas, haja vista a constatação de ausência de risco de natureza estrutural;

- Elaboração de inspeções anuais da estrutura que contemplem a avaliação de variação das dimensões dos tirantes das coberturas tomando como base o levantamento cadastral topográfico realizado no escopo do presente trabalho;

- Elaboração de projeto que contemple soluções de proteção da estrutura, especialmente contra corrosões das armaduras. Recomenda-se que o projeto contemple solução de tratamento superficial com aplicação de produto realcalinizador, inibidor de corrosão por impregnação e hidrofugante. Entende-se que a execução das medidas de tratamento superficial deve ser executada em até 1 ano. É desejável que seja prevista aplicação dos seguintes produtos ou equivalentes técnicos:

  Realcalinizador – MCRealc da fabricante MC Bauchemie ou equivalente.
  Inibidor de Corrosão – FerroGard 903 da fabricante Sika ou equivalente.
  Hidrofugante – Sikagard 705L da fabricante Sika ou equivalente.

- Elaboração de projeto que preveja a substituição do sistema de impermeabilização da cobertura. Entende-se que a execução de novo sistema de impermeabilização deva ser executado em até 1 ano.

7 ENCERRAMENTO

O presente laudo consta de 52 (cinquenta e duas) páginas, sendo esta última datada e assinada.

Rio de Janeiro, 03 de junho de 2025.

CELSON LOPES SALES JUNIOR:04354852101

Assinado de forma digital por CELSON LOPES SALES JUNIOR:04354852101
Dados: 2025.06.04 14:41:24 -03'00'

Celson Lopes Sales Júnior
Engenheiro Civil
CREA 1018193618/D-GO

EDUARDO ALVES LIMA:03537933100

Assinado de forma digital por EDUARDO ALVES LIMA:03537933100
Dados: 2025.06.04 14:34:23 -03'00'

Eduardo Alves Lima
Engenheiro Civil
CREA 1017150869/D-GO

Assinado de forma digital por LUCAS STACIARINI MARTINS:04411797119
Dados: 2025.06.04 14:44:53 -03'00'

Lucas Staciarini Martins
Engenheiro Civil
CREA 1017184429/D-GO