

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Vinícius Felzmann**

**ESTUDO DE PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO**

Porto Alegre

Maio, 2023

**VINÍCIUS FELZMANN**

**ESTUDO DE PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Paula Manica Lazzari**

Porto Alegre

Maio, 2023

**VINÍCIUS FELZMANN**

**ESTUDO DE PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, maio de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Paula Manica Lazzari (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientadora

**Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco (UFRGS)**  
Dr. pela The Pennsylvania State University

**Prof. Victor Eduardo Kraeski (UFRGS)**  
Eng. Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos aqueles que me apoiaram durante o processo de elaboração do meu trabalho de conclusão de curso.

Primeiramente, agradeço à professora Paula Manica Lazzari, que dedicou seu tempo e conhecimento para me orientar durante todo o período, me incentivando a ir além e aprimorando minhas habilidades acadêmicas.

Também quero agradecer aos meus amigos e familiares, que me deram todo o suporte emocional e incentivo necessário para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Por fim, expresso minha gratidão aos professores e colegas que contribuíram com sua experiência e conhecimento que me ajudaram a aprofundar meus estudos e a alcançar um trabalho bem sucedido.



A educação é a arma mais poderosa que você pode usar  
para mudar o mundo.

*Nelson Mandela*

## RESUMO

Este trabalho consiste num estudo para elaboração de um projeto estrutural de um edifício residencial localizado na cidade de Estrela, Rio Grande do Sul. O prédio é constituído por 15 andares, sendo 1 térreo, 2 garagens, 1 de transição e outros 10 tipo. Toda a parte principal será executada em concreto armado além de blocos cerâmicos e de concreto para as vedações verticais de acordo com as normas vigentes. A partir do projeto arquitetônico disponibilizado pelos arquitetos responsáveis, foi feito o pré-dimensionamento de pilares e vigas, respeitando a planta arquitetônica dos apartamentos, buscando a melhor concepção visando conforto aos usuários e maior economia. Depois de realizadas todas as verificações de comportamento global, estado limite de serviço, estado limite último, além de serem feitos comparativos entre as soluções adotadas pelo TQS e cálculos feitos de forma manual foram emitidas as pranchas com todo dimensionamento e detalhamento dos principais componentes que compõe o edifício seguindo os parâmetros de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Palavras-chave: NBR 6118. Concreto armado. TQS. Projeto estrutural

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo.....	20
Figura 2 – Planta baixa do 3º pavimento.....	20
Figura 3 – Fachada da edificação.....	21
Figura 4 – Vista 3D da parte estrutural.....	22
Figura 5 – Vista da execução da obra.....	22
Figura 6 – Esquema de modelagem TQS.....	24
Figura 7 – Fluxograma de um projeto estrutural.....	25
Figura 8 – Fluxograma das cargas.....	26
Figura 9 – Cargas do pavimento tipo.....	28
Figura 10 – Mapa das isopletras de vento no Brasil.....	30
Figura 11 – Área de interferência dos pilares.....	32
Figura 12 – Parâmetros de durabilidade da edificação.....	36
Figura 13 – Planta de formas do pavimento tipo da solução preliminar.....	37
Figura 14 – Planta de formas do pavimento de transição da solução preliminar.....	38
Figura 15 – Planta de formas do pavimento garagem da solução preliminar.....	38
Figura 16 – Deslocamentos máximos no pavimento tipo da solução otimizada.....	43
Figura 17 – Pilares reduzidos da solução otimizada.....	43
Figura 18 – Locação das lajes calculadas.....	45
Figura 19 – Dimensões da Laje 36.....	46
Figura 20 – Tabela de esforços para lajes armada em uma direção.....	47
Figura 21 – Diagrama de momentos da laje 36 do TQS.....	48
Figura 22 – Dimensões da Laje 39.....	51
Figura 23 – Diagrama de momentos horizontais da laje 39 do TQS.....	53
Figura 24 – Diagrama de momentos verticais da laje 39 do TQS.....	54
Figura 25 – Vista 3D da viga 403.....	56
Figura 26 – Vista em planta da viga 403.....	57
Figura 27 – Diagramas de esforços do tramo 4 da V403.....	57
Figura 28 – Detalhamento da viga 403 pelo TQS.....	61
Figura 29 – Esforços do pilar 62 no TQS.....	61
Figura 30 – Verificação do pilar 62 no Pcalc.....	62
Figura 31 – Detalhamento do pilar 62 no TQS.....	62
Figura 32 – Planta baixa da cobertura metálica.....	63
Figura 33 – Área de intervenção das terças.....	65

Figura 34 – Diagrama de momentos fletor das terças.....	66
Figura 35 – Cálculo das terças com o DimPerfil.....	67
Figura 36 – Detalhe de fixação entre os perfis.....	68
Figura 37 – Detalhe de fixação do pilar metálico na cobertura.....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cargas variáveis distribuídas por área.....	27
Quadro 2 – Cargas permanentes distribuídas na edificação.....	27
Quadro 3 – Quadro 3 –Parâmetros do vento.....	31
Quadro 4 – Pré-dimensionamento dos pilares.....	31
Quadro 5 – Critério para o dimensionamento de vigas.....	34
Quadro 6 – Pré-dimensionamento de vigas.....	34
Quadro 7 – Critério para o dimensionamento de escadas.....	35
Quadro 8 – Parâmetros de estabilidade da solução preliminar.....	39
Quadro 9 – Deslocamentos horizontais da solução preliminar.....	39
Quadro 10 – Quantitativo de material da solução preliminar.....	40
Quadro 11 – Parâmetros de estabilidade da solução otimizada.....	41
Quadro 12 – Deslocamentos horizontais da solução otimizada.....	41
Quadro 13 – Quantitativo de material da solução otimizada.....	41
Quadro 14 – Flechas máximas no pavimento da solução otimizada.....	42
Quadro 15 – Preço dos elementos estruturais da obra.....	44
Quadro 16 – Comparativo entre as soluções.....	44
Quadro 17 – Tabela de cálculo da laje 36.....	50
Quadro 18 – Tabela de cálculo da laje 39.....	55
Quadro 19 – Comparativo entre o cálculo manual e o TQS.....	56
Quadro 20 – Tabela de cálculo do Cortante da V403.....	59
Quadro 21 – Tabela de cálculo do Momento fletor da V403.....	60
Quadro 22 – Sobrecargas da Telha trapezoidal 40.....	64
Quadro 23 – Quantitativo de material para cobertura metálica.....	69

## **LISTA DE SIGLAS**

ELS – Estado Limite de Serviço

ELU – Estado Limite Último

NBR – Norma Brasileira

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Insumos da Caixa Econômica Federal

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_c$ : área da seção transversal de concreto;

$\alpha_c$ : parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão;

$A_s$ : área da seção transversal da armadura longitudinal de tração;

$b$ : largura da seção transversal;

cm – centímetro;

$d$ : distância entre a fibra mais comprimida da seção e o baricentro da armadura tracionada;

$f_{ck}$ : resistência característica à compressão do concreto;

$f_{cd}$ : resistência de cálculo à compressão do concreto;

$f_{yd}$ : valor de cálculo da resistência ao escoamento do aço;

$h$ : altura da seção transversal;

kg – kilograma;

kN – kilonewton;

m – metro;

MPa - Mega Pascal;

$\rho$ : taxa geométrica de armadura longitudinal de tração;

$s$ : espaçamento entre barras de armadura;

$S_1, S_2, S_3$  – fatores de ajuste da velocidade básica;

$V_{c0}$ : parcela de força cortante resistida por mecanismos complementares ao modelo em treliça, quando o ângulo da biela é igual a  $45^\circ$ ;

$VR_{d2}$ : força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto;

$V_{sw}$ : parcela de força cortante resistida pela armadura transversal;

$V_0$ : velocidade básica do vento;

$x$ : altura da linha neutra da seção transversal;

$\gamma_f$ : coeficiente de ponderação das ações;

$\gamma_z$ : coeficiente de avaliação da importância dos esforços de segunda ordem;



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 DIRETRIZES DO TRABALHO.....</b>	<b>16</b>
2.1 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo principal.....	16
2.1 Objetivo secundário.....	16
2.2 PRESUPOSTOS .....	17
2.3 LIMITAÇÕES.....	17
2.4 ETAPAS DO PROJETO.....	18
<b>3 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....</b>	<b>19</b>
<b>4 DEFINIÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>23</b>
4.1 DEFINIÇÃO DE CARREGAMENTOS.....	26
4.1.1 Carregamentos verticais.....	27
4.1.2 Carregamentos horizontais .....	29
4.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	31
4.2.1 Pré-dimensionamento de pilares.....	32
4.2.2 Pré-dimensionamento das vigas.....	34
4.2.3 Pré-dimensionamento das lajes.....	35
<b>5 ANÁLISE ESTRUTURAL.....</b>	<b>36</b>
5.1 SOLUÇÃO PRELIMINAR.....	37
5.2 SOLUÇÃO OTIMIZADA.....	41
5.3 COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES.....	44
<b>6 DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO.....</b>	<b>45</b>
6.1 LAJES.....	45
6.1.2 Laje armada em uma direção.....	46
6.1.3 Laje armada em duas direções.....	51
6.2 VIGAS .....	56
6.2.1 Viga 403.....	56
6.3 PILAR .....	61
6.4 COBERTURA METÁLICA .....	63
6.4.1 Dimensionamento .....	63
6.4.2 Detalhamento .....	68
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
REFERÊNCIAS.....	71

APÊNDICE A – Lista de combinações e ações.....	72
APÊNDICE B – Plantas arquitetônicas.....	77
APÊNDICE C – Plantas de formas.....	84
APÊNDICE D – Detalhamento de lajes e escada.....	93
APÊNDICE E – Detalhamento de vigas tipo.....	97
APÊNDICE F – Detalhamento de vigas de transição.....	103
APÊNDICE G – Detalhamento de pilares.....	105
APÊNDICE H – Detalhamento da cobertura metálica.....	121

## 1 INTRODUÇÃO

Ao se pensar na profissão de engenheiro civil e no seu trabalho real, é natural que venham à mente as inúmeras construções que fazem parte da paisagem urbana, tais como prédios, casas, estádios, pontes e outras obras. No entanto, por trás de cada uma dessas estruturas, há um estudo minucioso que envolve o desenvolvimento de um projeto arquitetônico adequado à cultura da região, bem como um projeto estrutural que visa ao melhor dimensionamento da obra, considerando aspectos econômicos, sociais e técnicos.

Com o aumento da urbanização nas grandes, médias e pequenas cidades do Brasil, a população busca cada vez mais melhores condições de vida e moradia, optando por se estabelecer mais próximo aos centros urbanos. Como resultado, a verticalização das cidades se tornou uma necessidade, com um aumento significativo no número de prédios e edifícios residenciais. Diante desse cenário, é importante que o profissional da área, o engenheiro civil, esteja preparado para elaborar e executar esses tipos de obras que se tornam cada vez mais comuns na paisagem brasileira.

O trabalho do projetista é fundamental na elaboração de uma estrutura estável e segura que atenda às normas de desempenho da edificação. É responsabilidade do projetista buscar soluções que ofereçam economia para a obra, tanto em termos de materiais quanto de mão-de-obra, sem comprometer a qualidade e a segurança dos usuários. Dessa forma, é necessário considerar cuidadosamente todas as opções disponíveis para garantir que a obra seja realizada de forma eficiente e segura, respeitando o orçamento disponível.

Neste trabalho, foi elaborado um projeto estrutural para um edifício residencial multifamiliar de 15 pavimentos na cidade de Estrela, no Rio Grande do Sul. Para tal, foram cuidadosamente estudados os principais fatores técnicos e econômicos, bem como as normas e regulamentações vigentes. O processo de projeto será descrito em detalhes, desde o estudo preliminar até a finalização do projeto executivo, incluindo informações sobre a estrutura dos pilares, lajes e vigas. Serão destacados os desafios encontrados durante o desenvolvimento do projeto, assim como as soluções propostas para que o projeto apresente máxima eficiência em sua execução.

## **2 DIRETRIZES DO TRABALHO**

A seguir estão descritos os itens que estabelecem as diretrizes para o desenvolvimento deste trabalho.

### **2.1 OBJETIVOS**

Foram estabelecidos dois tipos de objetivos para este trabalho: principal e secundário.

#### **2.1.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho consiste na elaboração de um projeto estrutural em concreto armado de um edifício de 15 pavimentos, realizando sua análise estrutural, dimensionamento e detalhamento com o auxílio do TQS e comparando os resultados com verificações manuais para validação dos resultados obtidos dos principais elementos constituintes, sendo eles: lajes, vigas e pilares. Para atender ao objetivo principal, foram estudados dois modelos: original e otimizado.

#### **2.1.2 Objetivo secundário**

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) análise de diferentes concepções estruturais, tentando otimizar ao máximo a estrutura, reduzindo custos sempre respeitando as normas vigentes;
- b) realizar o estudo das vigas de transição comum em prédios onde possui pavimentos residenciais e de garagem;
- c) dimensionar e detalhar a cobertura metálica da edificação.

## 2.2 PRESUPOSTOS

Para a elaboração deste projeto assume-se que são válidas as informações presentes nas seguintes normas necessárias para atender as condições de uso no estado limite último e estado limite de serviço:

- a) NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto;
- b) NBR 6123/1988 - Forças devidas ao vento em edificações;
- c) NBR 6120/2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- d) NBR 14762/2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;

Também se assumem verdadeiras as informações extraídas do TQS pelo método de análise estrutural por grelhas para as cargas verticais de cada pavimento e de pórtico espacial com diafragmas rígidos para o estudo dos efeitos globais.

## 2.3 LIMITAÇÕES

Abaixo estão descritos os itens que estabelecem as limitações deste trabalho:

- a) não será desenvolvido o projeto de fundações da edificação;
- b) será detalhado somente vigas e lajes do pavimento tipo, pois este é o mais relevante para o projeto, além de todos os pilares e as vigas de transição do 4º andar;
- c) o método de comparação de preço entre as versões originais e otimizada é feito pelo consumo de concreto, aço e formas, não levando em conta outros fatores que possam intervir no custo final;
- d) os reservatórios no 2º e último pavimento não serão projetados, apenas será dada a carga de atuação nas respectivas lajes de acordo com a capacidade;

- e) as rampas de acesso da garagem não serão detalhadas.

## 2.4 ETAPAS DO PROJETO

Segue abaixo, de forma resumida, a descrição da sequência de desenvolvimento do trabalho, com ênfase nas etapas mais relevantes.

Na primeira etapa foi feito um estudo da planta baixa de todos os pavimentos disponibilizada pela equipe de arquitetura, como pé-direito, altura das vigas. Também observou-se a dificuldade em conciliar o pavimento tipo com os andares de garagem, por que estes possuem pilares que nascem em posições diferentes, necessitando de um pavimento de transição.

Com a posição dos pilares definidas pela arquiteta tentou-se realizar o lançamento de vigas e lajes de modo que acomodassem o melhor lançamento estrutural da edificação, sempre procurando formar pórticos e vãos adequados para este tipo de empreendimento.

A próxima etapa foi a verificação do comportamento da estrutura frente ao TQS, verificando se os limites mínimos estavam sendo atendidos, como deslocamento máximo horizontal do topo da edificação, flechas dentro dos padrões aceitáveis no ELS, além de procurar deixar a concepção estrutural de nós fixos, ou seja,  $\gamma_z \leq 1,10$ .

Atendidas todas as premissas anteriores, foi feito um novo modelo estrutural no TQS partindo do primeiro, tentando otimizar a estrutura, diminuindo altura das vigas, seções dos pilares e reduzindo espessuras de lajes com o objetivo de estar reduzindo custos, para viabilizar o empreendimento.

Depois de todo o processo feito, foi verificado o dimensionamento e detalhamento executado pelo TQS, comparando com os processos feitos de forma manual de algumas partes da edificação afim de conferir se os resultados estavam de acordo, além de verificar as vigas de transição que necessitavam de uma análise mais detalhada.

Por fim, foi feito o dimensionamento e detalhamento de forma simplificada da cobertura metálica sobre a laje, utilizando ferramentas comuns no mercado como Ftool e Dimperfil.

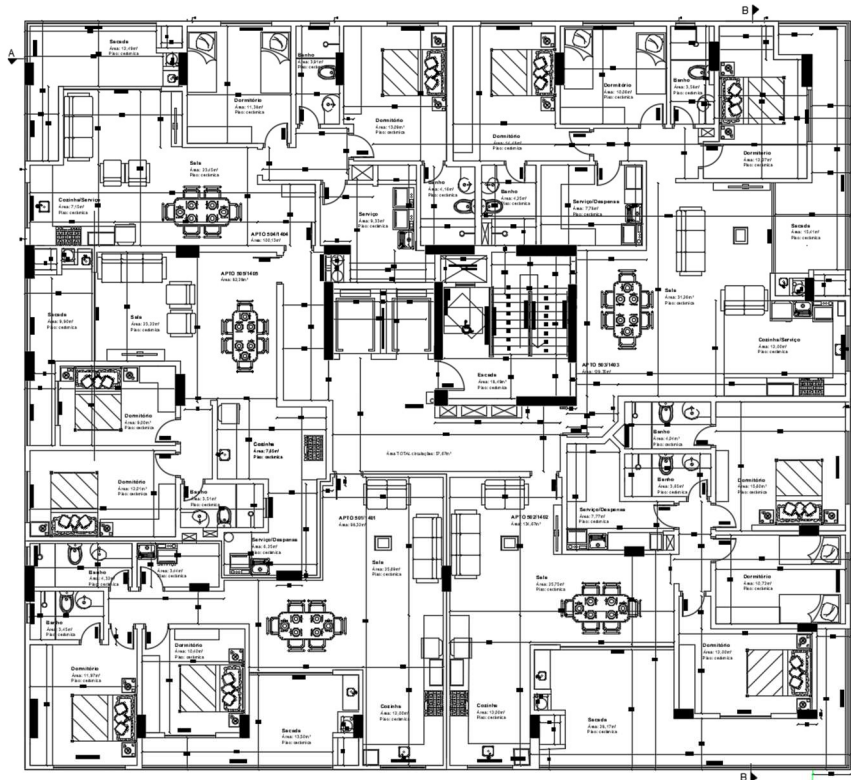
### 3 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O projeto estrutural foi elaborado com base no projeto arquitetônico de um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Estrela, no Rio Grande do Sul. A construção está situada em um centro urbano, cercado por outras edificações de grande porte, o que exige uma análise cuidadosa da estrutura para garantir a segurança e estabilidade do edifício em meio a um ambiente urbano desafiador.

A edificação é constituída por 15 andares sendo o 1º destinado ao térreo com vagas de garagem e salão de festa, além da entrada principal do prédio, o 2º e o 3º andares são referentes as outras vagas de garagem, totalizando assim 64 boxes, com dimensões mínimas de 2,5 por 5 metros. O 4º pavimento, que se refere ao de transição, é constituído de 5 apartamentos com alguns deles possuindo terraço que é referente à cobertura do estacionamento. Já do 5º até o 14º são referentes aos apartamentos tipo da edificação, seguindo o mesmo modelo do quarto andar, conforme mostrado na Figura 1, porém sem os terraços. Também será feita uma estrutura metálica sobre a laje da cobertura. Nesta laje é considerada a carga de 4 reservatórios de 20.000 litros cada e platibanda de 1 metro. Por último, tem-se o ático com 5 metros de altura que será a parte superior do reservatório feita com laje maciça e material impermeabilizante.

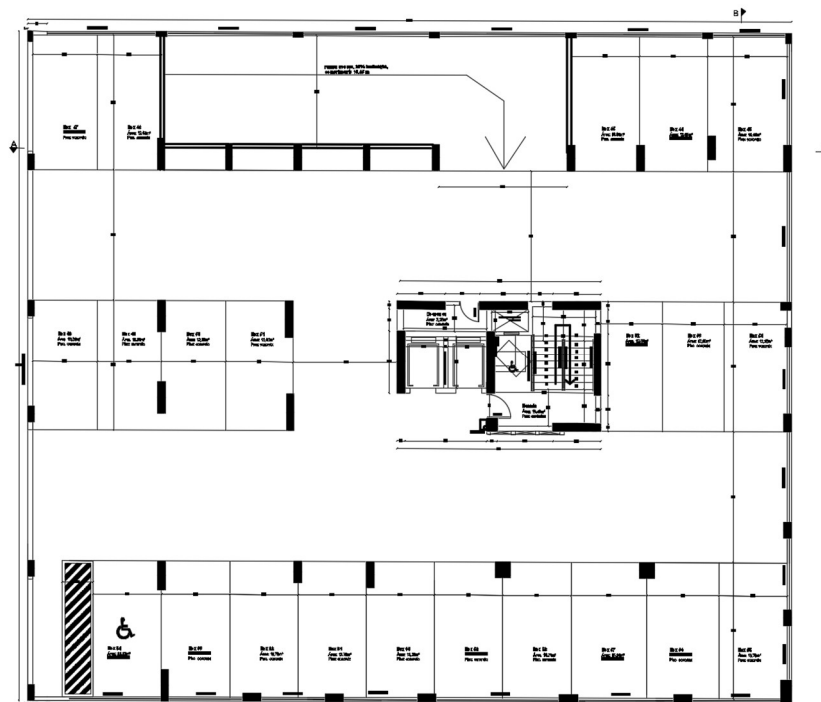
As dimensões do projeto da edificação ficaram em 29,65 m por 25,65 m, com altura total de 47,2 metros até o topo da edificação. Com isso as áreas do térreo até o 3º andar ficaram com 760 m<sup>2</sup>, conforme a Figura 2. Já o 4º andar possui 800 m<sup>2</sup> por possuir um avanço sobre o plano da calçada, porém a partir do pavimento tipo a edificação possui uma diminuição ficando com dimensões de 25,75m por 23,35 com área total de 601 m<sup>2</sup>.

Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo.



(Fonte: RENATA ROCHA, 2022)

Figura 2 – Planta baixa do 3º pavimento.



(Fonte: RENATA ROCHA, 2022)



O pé-direito da edificação é de 3 metros garantindo assim uma amplitude maior e conforto para todos os moradores. Entre o 3º e 4º pavimento o pé-direito passou para 3,2 metros por causa da altura das vigas de transição neste pavimento.

As paredes externas da edificação são constituídas de bloco de concreto com 19x19x39 a pedido do cliente. Já para as divisórias internas foi adotada espessura de 15 cm constituída de tijolo cerâmico vazado.

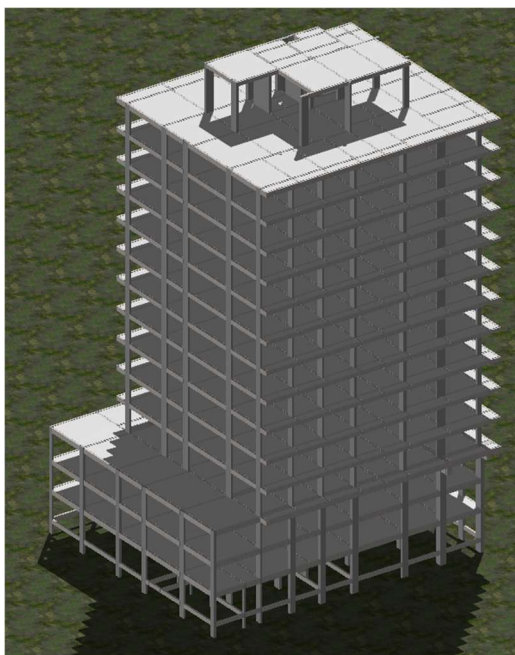
Nas Figuras 3 e 4 é possível observar a fachada da edificação e o projeto 3D modelado no TQS respectivamente.

Figura 3 – Fachada da edificação.



(Fonte: RENATA ROCHA, 2022)

Figura 4 – Vista 3D da parte estrutural.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Atualmente, a edificação encontra-se em fase de construção conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Vista da execução da obra.



(Fonte: AUTOR, 2023)

## 4 DEFINIÇÕES INICIAIS

O trabalho de um projetista estrutural envolve diversos desafios, dentre eles garantir a segurança e o conforto dos futuros ocupantes da edificação. Além disso, é necessário avaliar diferentes sistemas e soluções estruturais para conceber um projeto eficiente e econômico. Diante disso, o objetivo deste trabalho consiste em desenvolver e comparar duas concepções estruturais, a fim de determinar qual delas apresenta a melhor relação custo-benefício.

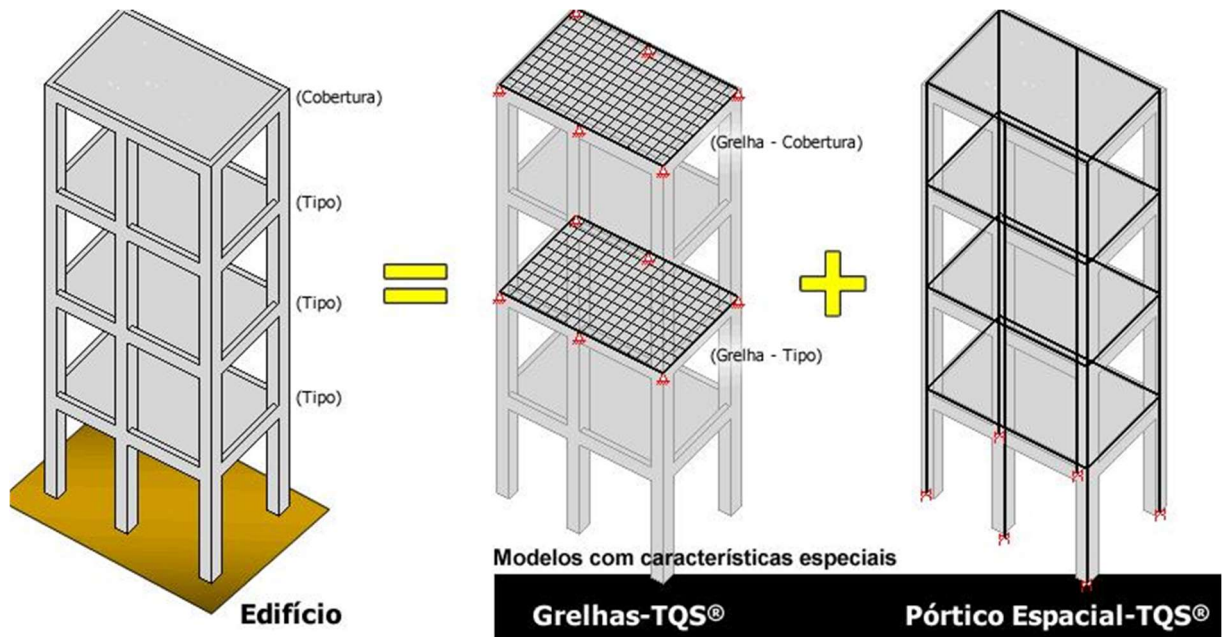
Para a melhor construção da edificação, optou-se por desenvolvê-la em sistemas de pilares, vigas e lajes maciças, pois é o uso mais difundido no país. Partindo da planta arquitetônica, foram dispostos os pilares de acordo com a sugestão da equipe de arquitetos, sempre procurando formar pórticos para ajudar na concepção estrutural. Aliado a isso, também tem-se um núcleo rígido envolvendo a escada e os 2 elevadores com pilares paredes com o objetivo de otimizar a estrutura para nós-fixos. Estes por sua vez além de ajudarem a receber a maior parcela de esforços devido a ação do vento também contribuem para um TRF mais alto para a evacuação dos moradores pela escada em um possível incêndio no prédio.

O método de análise a ser seguido será o modelo IV do (TQS DOCS, 2022)

O edifício será modelado por um pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos (vigas contínuas ou grelhas). O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares serão calculados com o pórtico espacial. Nas lajes, somente os efeitos gerados pelas ações verticais serão calculados, de acordo com o modelo selecionado para os pavimentos. Nos pavimentos simulados por grelha de lajes, os esforços resultantes das barras de lajes sobre as vigas serão transferidos como cargas para o pórtico espacial, ou seja, há uma certa integração entre ambos os modelos (pórtico espacial e grelhas). Para os demais tipos de modelos de pavimento as cargas das lajes serão transferidas para o pórtico por meio de quinhões de carga. Tratamento especial para vigas de transição e que suportam tirantes pode ser ativado no botão abaixo A flexibilização das ligações viga-pilar, a separação de modelos específicos p/avaliações ELU e ELS. bem como seus respectivos coeficientes de não-linearidade física são controlados por critérios gerais do Pórtico-TQS.

Este modelo IV é mostrado na Figura 6.

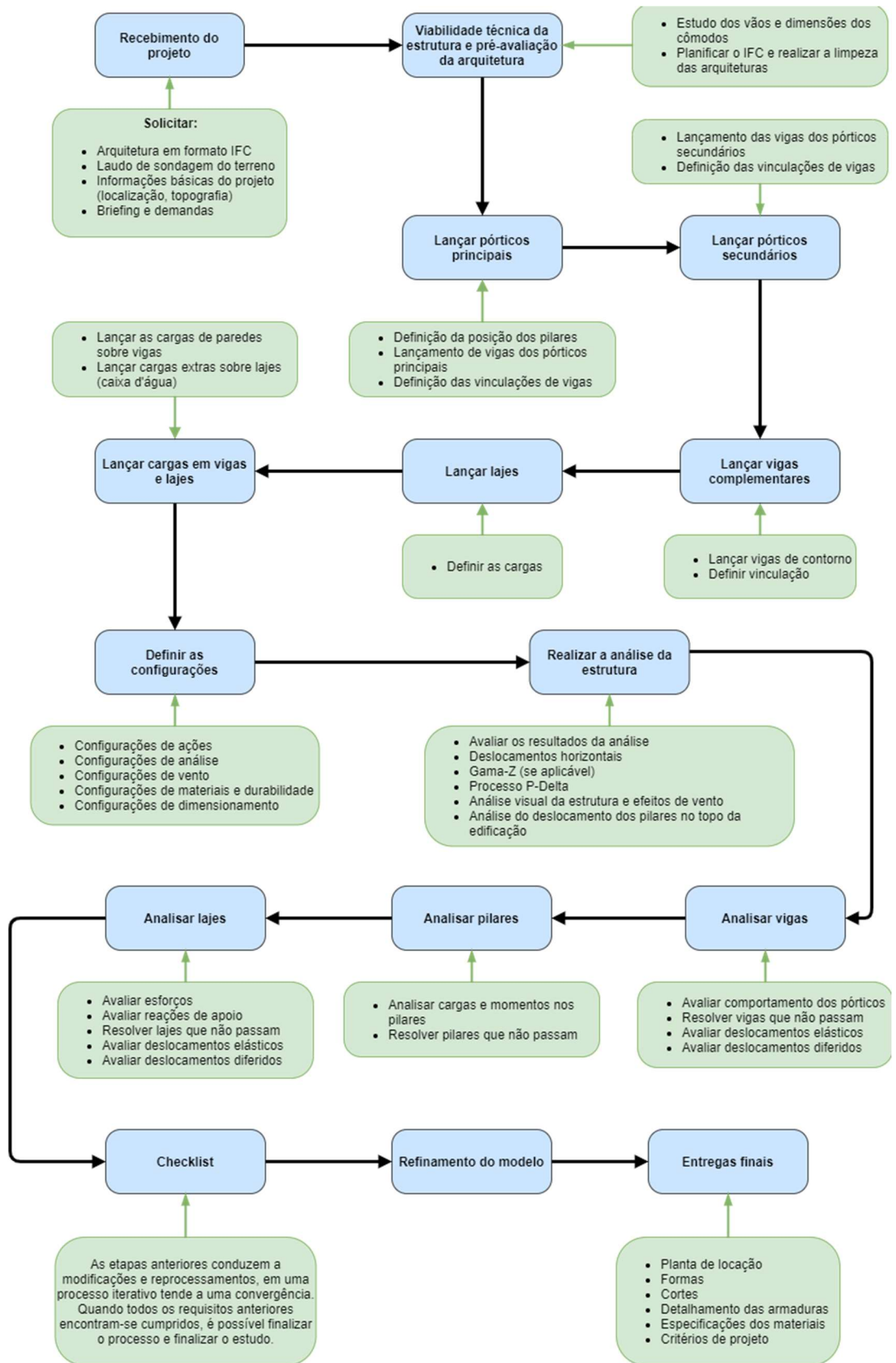
Figura 6 – Esquema de modelagem TQS.



(Fonte: TQS, 2022)

Depois de escolhido o modelo a ser utilizado, as próximas etapas foram seguindo um raciocínio comum em todos os escritórios de engenharia onde se define um passo a passo para chegar num projeto mais adequado e eficaz desde o recebimento do projeto pela arquitetura, passando pelo lançamento de pórticos, lajes e vigas, depois por uma análise completa e por fim o dimensionamento e detalhamento da estrutura. Conforme o esquema da Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma de um projeto estrutural.



(Fonte: MARCHETTI, 2022)

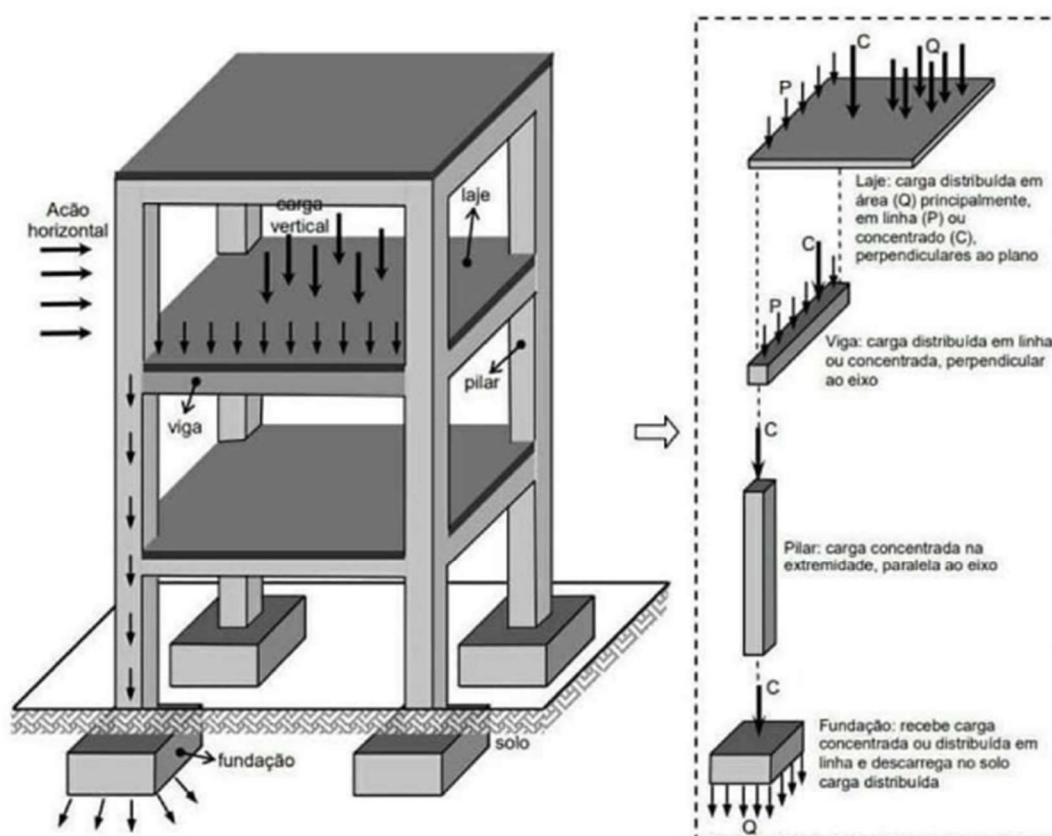
## 4.1 DEFINIÇÃO DE CARREGAMENTOS

Segundo o item 3.4 da NBR 8681 (ABNT, 2003) - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento, tem por definição de ações:

Causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

Na Figura 8 é mostrado um esquema por onde as ações de carregamentos seguem pela estrutura, começando em sua grande parte pelas lajes, passando pelas vigas, até chegarem nos pilares e posteriormente descarregar nas respectivas fundações.

Figura 8 – Fluxograma das cargas.



(Fonte: FREITAS, 2016)

### 4.1.1 Carregamentos verticais

As recomendações da NBR 6120 (ABNT, 2019) foram seguidas na definição das cargas verticais. Os carregamentos considerados neste projeto estão listados nos Quadros 1 e 2 abaixo.

Quadro 1 – Cargas variáveis distribuídas por área.

Cargas variáveis		
Local	Valor	Unidade
Cobertura	1,0	kN/m <sup>2</sup>
Dormitórios	1,5	kN/m <sup>2</sup>
Sala, copa, cozinha	1,5	kN/m <sup>2</sup>
Dispensa, área de serviço e lavanderia	2,0	kN/m <sup>2</sup>
Sacadas e varandas residenciais	2,5	kN/m <sup>2</sup>
Escadas residenciais de uso comum	3,0	kN/m <sup>2</sup>
Área de uso comum	3,0	kN/m <sup>2</sup>
Garagens	4,0	kN/m <sup>2</sup>
Casa de máquinas	30	kN/m <sup>2</sup>

(Fonte: AUTOR, 2023)

Quadro 2 – Cargas permanentes distribuídas na edificação.

Cargas variáveis			
Tipo de carga	Tipo de material	Valor	Unidade
Divisórias internas	Bloco cerâmico vazado 15 cm	1,8	kN/m <sup>2</sup>
Divisórias externas	Bloco de concreto vazado 19 cm	3,2	kN/m <sup>2</sup>
Revestimento do piso	Revestimento de pisos residenciais	1,0	kN/m <sup>2</sup>
impermeabilização	Cobertura com manta asfáltica	1,5	kN/m <sup>2</sup>
Reservatórios	Caixa d'água de 20.000 litros	10	kN/m <sup>3</sup>
Telhado	Telha de aço + estrutura metálica	1,0	kN/m <sup>2</sup>

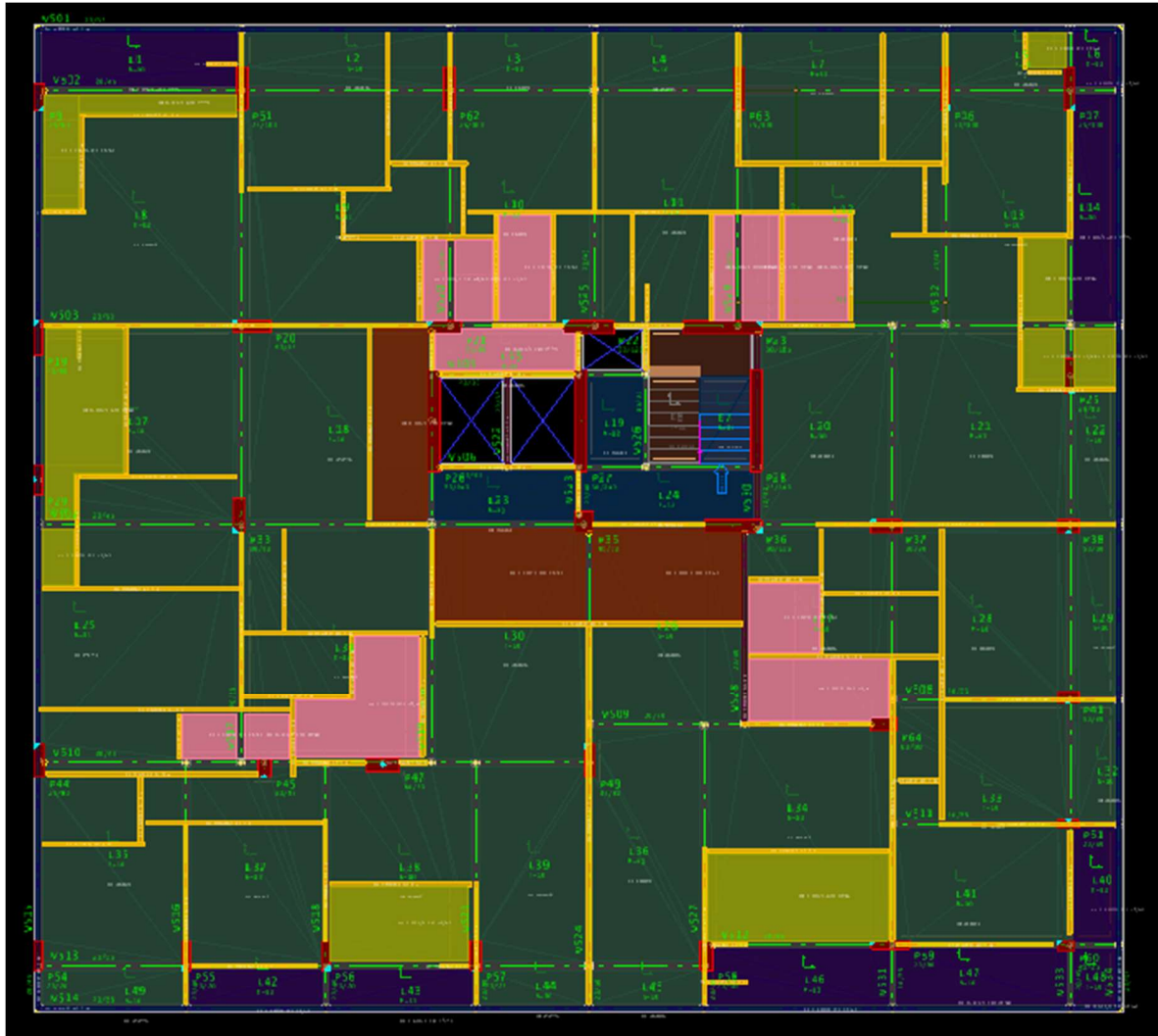
(Fonte: AUTOR, 2023)

Para as cargas de peso próprio da laje, o próprio *software* já as coloca automaticamente, sempre considerando um peso específico do concreto de 25 kN/m<sup>3</sup>. Com este parâmetro multiplicado pela espessura de cada laje individualmente obtém-se o peso distribuído por área.



A partir destas informações, foram distribuídas todas as cargas variáveis e permanentes na edificação conforme o projeto arquitetônico e o resultado do pavimento tipo segue na Figura 9.

Figura 9 – Cargas do pavimento tipo.



(Fonte: AUTOR, 2023)



As linhas em amarelos se referem as paredes de bloco cerâmico de 15 cm.

Para o pavimento térreo não foi lançada nenhuma carga visto que nesta área será executado um contrapiso com 15 cm de espessura sobre o solo compactado para garantir uma bom nivelamento do piso que servirá tanto de salão de festas para os moradores, quanto para algumas vagas de garagens. Para o 2º e 3º pavimento foi lançada a carga de garagens de 4 kN/m², visto



que o apartamento segue um alto padrão, podendo existir carros de alto nível e com maiores dimensões que, conseqüentemente, tenham uma carga mais elevada em comparação a carros mais populares.

No 4º pavimento e no pavimento tipo, as cargas foram distribuídas de acordo com o Quadro 1. No entanto, devido à presença de terraços na cobertura das garagens, foi adotada a carga de sacada residencial. Já a cobertura do 15º andar será composta por laje maciça e estrutura metálica com telha trapezoidal, que após o dimensionamento e detalhamento resultou em uma carga permanente de 1,0 kN/m<sup>2</sup>. Além disso, as cargas das quatro caixas d'água, localizadas no centro da edificação, foram consideradas, assim como uma carga mais elevada referente à impermeabilização do ático.

Durante o projeto, foi identificado um desafio relacionado à concepção arquitetônica do edifício, que apresentava muitas paredes distribuídas de forma aleatória sobre o piso da construção. Essa disposição demandaria inúmeras vigas para suportar as cargas atuantes, o que aumentaria significativamente o custo da obra. Diante disso, foi adotada a solução de formar pórticos com vãos de no máximo 5 metros, de forma a absorver a maioria das cargas das paredes pelas lajes, permitindo uma concepção estrutural mais eficiente. Além disso, para ocultar as vigas que cruzam os ambientes, foram instalados forros nos demais pavimentos do edifício. Essa solução permitiu uma melhor integração entre o projeto arquitetônico e o projeto estrutural, garantindo a segurança e a estabilidade da edificação de forma mais econômica.

#### **4.1.2 Carregamentos horizontais**

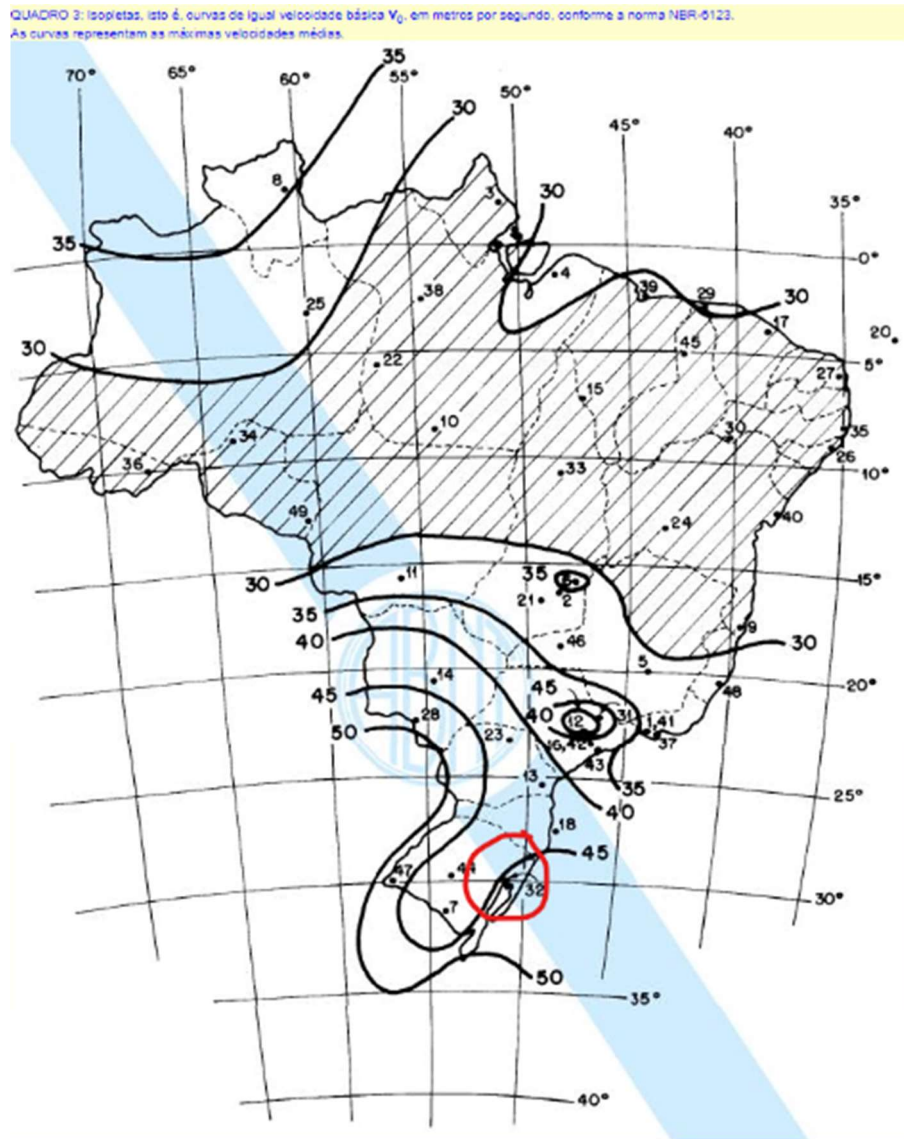
Para definir as condições das cargas de vento atuante na edificação foi consultada a NBR 6123, (ABNT, 1988).

Onde foram obtidos os seguintes parâmetros:

- a) S1: fator topográfico;
- b) S2: fator rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;
- c) S3: fator estatístico ou de importância quanto a segurança;
- d) V0: velocidade básica do vento.

Como o edifício situa-se em Estrela-RS, a velocidade básica do vento pode ser obtida a partir da Figura 10:

Figura 10 – Mapa das isopletas de vento no Brasil.



(Fonte: NBR 6123, 1988)

$$V_0 = 45 \text{ m/s}$$

O fator topográfico  $S_1$  leva em consideração a influência das variações do relevo sobre a velocidade do escoamento.

O terreno onde encontra-se a edificação pode ser considerado como sendo um terreno plano/fracamente acidentado:

$$S_1 = 1,0$$

O fator estatístico S3 considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. A classificação é feita em 5 grupos. Como o edifício é residencial, então se enquadra no grupo 2: Edificações para hotéis e residenciais.

$$S3 = 1,0$$

O fator S2 depende da rugosidade superficial, do tamanho da edificação e da altura do solo. A velocidade do vento aumenta com a altura acima do terreno. Este aumento depende da rugosidade do terreno, que é classificado em 5 categorias. Como a edificação pertence a uma área urbanizada, então pode ser considerada como CATEGORIA V. O edifício possui dimensão de 29,65 x 25,65 x 47,2 metros e como a maior dimensão horizontal ou vertical (projeção no plano ortogonal à direção do vento) é de 47,2 m, então ela se enquadra como CLASSE B. Todos estes parâmetros estão listados abaixo no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros do vento.

V0 - Velocidade básica	45	m/s
S1 - Fator do terreno	1.00	
S2 - Categoria de rugosidade	V	
S2 - Classe da edificação	B	
S3 - Fator estatístico	1.00	

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.24	Não	0
2	270	1.24	Não	0
3	0	1.17	Não	0
4	180	1.17	Não	0

Cota inicial para aplicação de vento

(Fonte: AUTOR, 2023)

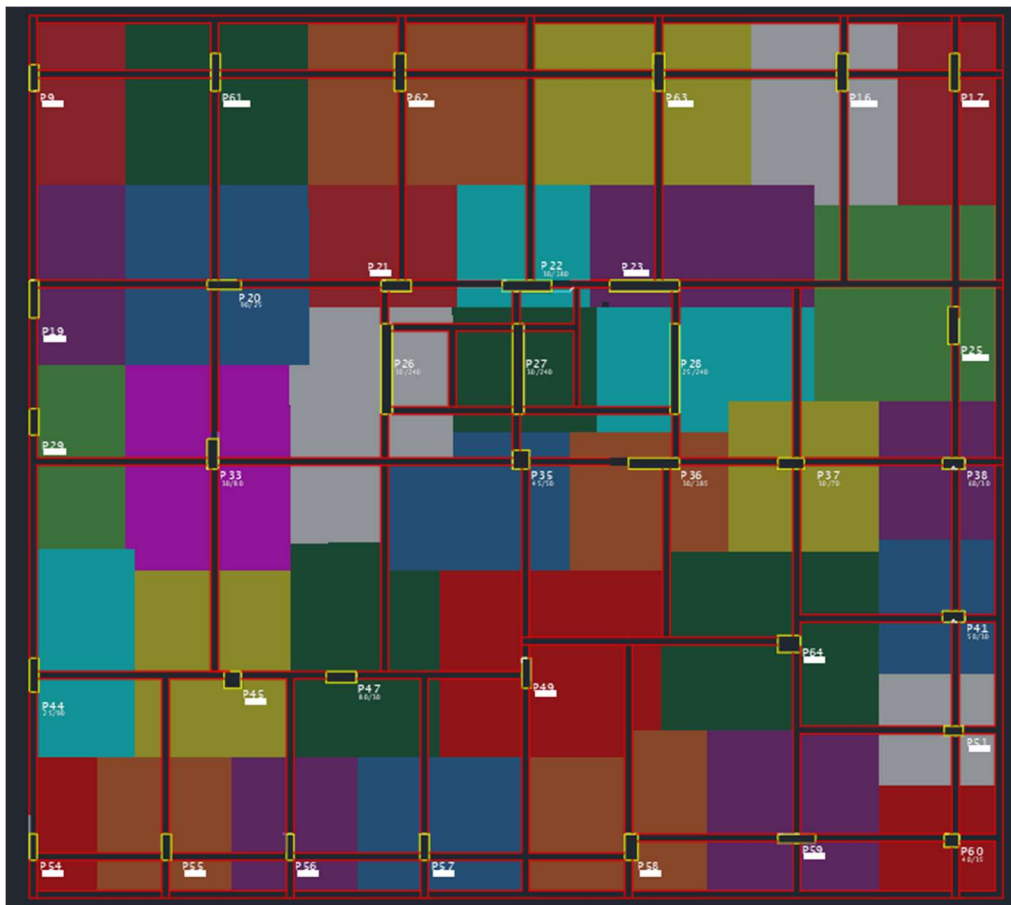
## 4.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Nesta etapa foram definidas as dimensões iniciais do empreendimento como pilares, vigas e lajes. Para isso, foi feito a partir de pressupostos da NBR 8681 (ABNT, 2003) e NBR 6120 (ABNT, 2019). Esta etapa tem o objetivo de deixar o edifício funcional, não buscando no primeiro momento otimizar a estrutura e sim garantir que ela esteja adequada para o seu funcionamento.

### 4.2.1 Pré-dimensionamento de pilares

A distribuição e o posicionamento dos pilares foram definidos a partir do projeto arquitetônico, considerando a disposição mais adequada para cada elemento estrutural. Devido ao pavimento de transição, alguns pilares tiveram que ser apoiados nas vigas de transição, enquanto outros nascem a partir da fundação. Com base nessa definição, foi elaborada uma planilha para auxiliar no pré-dimensionamento dos pilares que cruzam o pavimento tipo. Já os pilares dos demais pavimentos foram dimensionados de acordo com as orientações da equipe arquitetônica. Na Figura 11 é mostrada a área de interferência de cada um dos pilares.

Figura 11 – Área de interferência dos pilares no pavimento tipo.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Primeiramente, para a tensão nos pilares adotou-se  $f_{ck}$  de 35 MPa com 1% de taxa de armadura, carga de 12 kN/m<sup>2</sup> para as áreas de intervenção dos pilares, e coeficientes que levam em conta a provável existência de momento no pilar que variam de 1,3 a 1,8 dependendo da posição que se encontram em planta conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Pré-dimensionamento dos pilares.

Pré-dimensionamento pilares											
	yf	yn	$\alpha$	Área de influência	Nk(KN/m <sup>2</sup> )	Pavimentos	Ndest	$\sigma_i(35)$	Ac (cm <sup>2</sup> )	Dimensões(cm)	Área ef(cm <sup>2</sup> )
P9	1.4	1	1.8	11.4	12	11	3792.10	2.52	1504.80	25x70	1750
P16	1.4	1	1.5	18.6	12	14	6562.08	2.52	2604.00	30x100	3000
P17	1.4	1	1.8	13.9	12	14	5884.70	2.52	2335.20	25x100	2500
P19	1.4	1	1.5	12	12	14	4233.60	2.52	1680.00	25x70	1750
P20	1.4	1	1.3	23	12	14	7032.48	2.52	2790.67	25x90	2250
P21	1.4	1	1.3	12.7	12	14	3883.15	2.52	1540.93	30x80	2400
P22	1.4	1	1.3	11.4	12	14	3485.66	2.52	1383.20	30x120	3600
P23	1.4	1	1.3	19.2	12	14	5870.59	2.52	2329.60	30x185	5550
P25	1.4	1	1.5	26	12	11	7207.20	2.52	2860.00	30x100	3000
P26	1.4	1	1.3	21.9	12	14	6696.14	2.52	2657.20	30x240	7200
P27	1.4	1	1.3	12.6	12	14	3852.58	2.52	1528.80	30x240	7200
P28	1.4	1	1.3	17.1	12	14	5228.50	2.52	2074.80	25x240	6000
P29	1.4	1	1.5	12.3	12	11	3409.56	2.52	1353.00	25x70	1400
P33	1.4	1	1.3	23.6	12	11	5669.66	2.52	2249.87	30x80	2400
P35	1.4	1	1.3	16.5	12	14	5045.04	2.52	2002.00	45x50	2250
P36	1.4	1	1.3	14.7	12	14	4494.67	2.52	1783.60	30x135	4050
P37	1.4	1	1.3	16	12	14	4892.16	2.52	1941.33	30x70	2100
P38	1.4	1	1.5	12.1	12	14	4268.88	2.52	1694.00	30x60	1800
P41	1.4	1	1.5	12.1	12	11	3354.12	2.52	1331.00	30x50	1500
P44	1.4	1	1.5	15.5	12	14	5468.40	2.52	2170.00	25x90	2250
P45	1.4	1	1.3	20.3	12	11	4876.87	2.52	1935.27	45x45	2025
P47	1.4	1	1.3	21.3	12	11	5117.11	2.52	2030.60	30x80	2400
P49	1.4	1	1.3	28.5	12	11	6846.84	2.52	2717.00	25x80	3000
P51	1.4	1	1.5	9.56	12	11	2650.03	2.52	1051.60	25x50	1250
P54	1.4	1	1.8	6.7	12	14	2836.51	2.52	1125.60	20x70	1400
P55	1.4	1	1.5	13.4	12	11	3714.48	2.52	1474.00	25x70	1750
P56	1.4	1	1.5	12.4	12	11	3437.28	2.52	1364.00	20x70	1400
P57	1.4	1	1.5	16.6	12	11	4601.52	2.52	1826.00	30x70	2100
P58	1.4	1	1.5	19.6	12	11	5433.12	2.52	2156.00	35x70	2450
P59	1.4	1	1.5	20.5	12	11	5682.60	2.52	2255.00	25x100	2500
P60	1.4	1	1.8	9.9	12	11	3293.14	2.52	1306.80	35x40	1400
P61	1.4	1	1.5	21.9	12	11	6070.68	2.52	2409.00	25x100	2500
P62	1.4	1	1.5	26.5	12	11	7345.80	2.52	2915.00	30x100	3000
P63	1.4	1	1.5	26.5	12	11	7345.80	2.52	2915.00	30x100	3000
P64	1.4	1	1.3	27.2	12	11	6534.53	2.52	2593.07	45x60	2700

	Pilar central
	Pilar intermediário
	Pilar de canto

(Fonte: AUTOR, 2023)

## 4.2.2 Pré-dimensionamento das vigas

Primeiramente as vigas de concreto armado foram classificadas em biapoiada, que são vigas nos quais possuem dois apoios, ou contínua, nos quais estas vigas possuem múltiplos apoios. Sendo assim, foi adotado o critério conforme o Quadro 5 para garantir o correto cálculo da altura  $h$  das mesmas, o que resultou na planilha conforme o Quadro 6.

Quadro 5 – Critério para o dimensionamento de vigas.

Viga Biapoiada	Viga Contínua
$h = L/10$	$h = L/15$
$h =$ altura da viga	
$L =$ Comprimento do maior vão	

(Fonte: AUTOR, 2023)

Quadro 6 – Pré-dimensionamento de vigas.

Pré-dimensionamento vigas				
VIGA	TIPO	L(m)	h(cm)	H adotado(cm)
V501	Contínua	4.98	33	35
V502	Contínua	6.90	46	50
V503	Contínua	7.45	50	55
V504	Biapoiada	2.90	29	35
V505	Biapoiada	3.50	35	35
V506	Contínua	4.17	28	35
V507	Contínua	8.21	55	55
V508	Biapoiada	4.18	42	45
V509	Biapoiada	6.95	70	70
V510	Contínua	5.34	36	40
V511	Biapoiada	4.18	42	45
V512	Contínua	4.33	29	35
V513	Contínua	5.54	37	40
V514	Contínua	4.48	30	40
V515	Contínua	6.85	46	50
V516	Biapoiada	4.48	45	45
V517	Contínua	5.69	38	40
V518	Biapoiada	4.48	45	45
V519	Contínua	5.69	38	40
V520	Biapoiada	5.69	57	55
V521	Biapoiada	4.48	45	45
V522	Biapoiada	2.60	26	35
V523	Contínua	2.40	16	40
V524	Contínua	5.65	38	45
V525	Biapoiada	5.69	57	60
V526	Biapoiada	3.35	34	35
V527	Biapoiada	5.45	55	55
V528	Biapoiada	4.70	47	50
V529	Biapoiada	5.69	57	55
V530	Contínua	2.40	16	40
V531	Contínua	5.23	35	40
V532	Biapoiada	5.69	57	55
V533	Contínua	6.85	46	50
V534	Contínua	5.55	37	40

(Fonte: AUTOR, 2023)

Para a base da viga (bw) optou-se por critério de projeto, adotar todas com 20 cm, mesmo considerando que as paredes internas ficaram com uma espessura menor. Com isso, ficará um pequeno dente em relação às vigas, o que não afetará no desempenho estrutural, mas somente prejudicará o ponto de vista arquitetônico.

### 4.2.3 Pré-dimensionamento das lajes

Segundo o item 13.2.4.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014) as recomendações para espessuras mínimas de lajes maciças são:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 12 cm para lajes que suportam veículos de peso total maior que 30 kN;

Em relação às demais lajes que constituem a edificação, optou-se por uma espessura mínima de 10 cm, mesmo que em alguns lugares fosse permitido pela norma o uso de lajes de apenas 8 cm. Essa escolha teve como principal objetivo garantir uma maior qualidade de desempenho acústico e térmico, já que se trata de um edifício residencial onde o tráfego de pessoas e outros fatores poderiam gerar altos ruídos que podem incomodar os vizinhos nos andares abaixo. Além disso, ao utilizar lajes maciças com espessura de 10 cm, é possível reduzir a flecha em vãos e, conseqüentemente, tornar as deformações menos perceptíveis aos usuários. Dessa forma, a escolha de lajes com maior espessura irá proporcionar maior segurança e conforto aos moradores do prédio. Já para as escadas adotou-se a espessura mínima conforme o Quadro 7.

Quadro 7 – Critério para o dimensionamento de escadas.

Vão	Espessura
$l \leq 3\text{m}$	10 cm
$3\text{m} < l \leq 4\text{m}$	12 cm
$4\text{m} < l \leq 5\text{m}$	14 cm

(Fonte: CAMPOS FILHO, 2014)

Como a escada da edificação possui um vão de 3,35 m adotou-se 12 cm de espessura para todas elas. Já para todas as lajes do 2º e 3º pavimentos, que são destinadas às garagens, serão executadas com 12 cm de espessura como recomenda a norma.

## 5 ANÁLISE ESTRUTURAL

Para a escolha dos modelos que seriam elaborados juntos ao TQS, foram divididas em 2 soluções, preliminar e otimizada, onde primeiramente com base num pré-dimensionamento se adotou um  $f_{ck}$  de 35 MPa dispondo todas as vigas e pilares segundo o item 4.2. Posteriormente, adaptou-se a estrutura mantendo o mesmo  $f_{ck}$  fazendo melhorias na estrutura com o objetivo de reduzir ao máximo as seções de vigas e pilares para maior economia. Vale ressaltar que todas essas melhorias foram feitas apenas nas vigas no pavimento tipo e nos pilares que passam por este pavimento. As demais vigas e pilares das estruturas foram mantidas nas mesmas dimensões, porém poderiam ser mais aprofundadas futuramente.

Na Figura 12 estão indicados alguns dos parâmetros para a concepção das estruturas como, classe de agressividade ambiental, que por se tratar de uma zona bem urbanizada se enquadra no tipo 2, além das classes de  $f_{ck}$  usadas e demais cobrimentos segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014). Também segundo esta mesma norma no item 7.4.7.4, caso houver um controle adequado de qualidade e limites rígidos de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, pode ser adotado um valor menor de cobrimento conforme os que estão listados na Figura 12.

Figura 12 – Parâmetros de durabilidade da edificação.

### Parâmetros de Durabilidade

#### Classe de agressividade

Classe de agressividade ambiental ..... II - Moderada

#### Concreto

Mínimo (MPa) ..... 25

Elemento	Classe	Situação
Pilares	C35	OK
Vigas e lajes	C35	OK
Fundações	C35	OK

#### Cobrimentos

Elemento	Cobrimento (cm)	Cobr. mínimo (cm)	Situação
Pilares	2.5	2.5	OK
Vigas	2.5	2.5	OK
Lajes convencionais	2 / 2	2	OK
Lajes protendidas	3 / 3	3	OK

Nas lajes, cobrimento inferior / superior.

(Fonte: AUTOR, 2023)

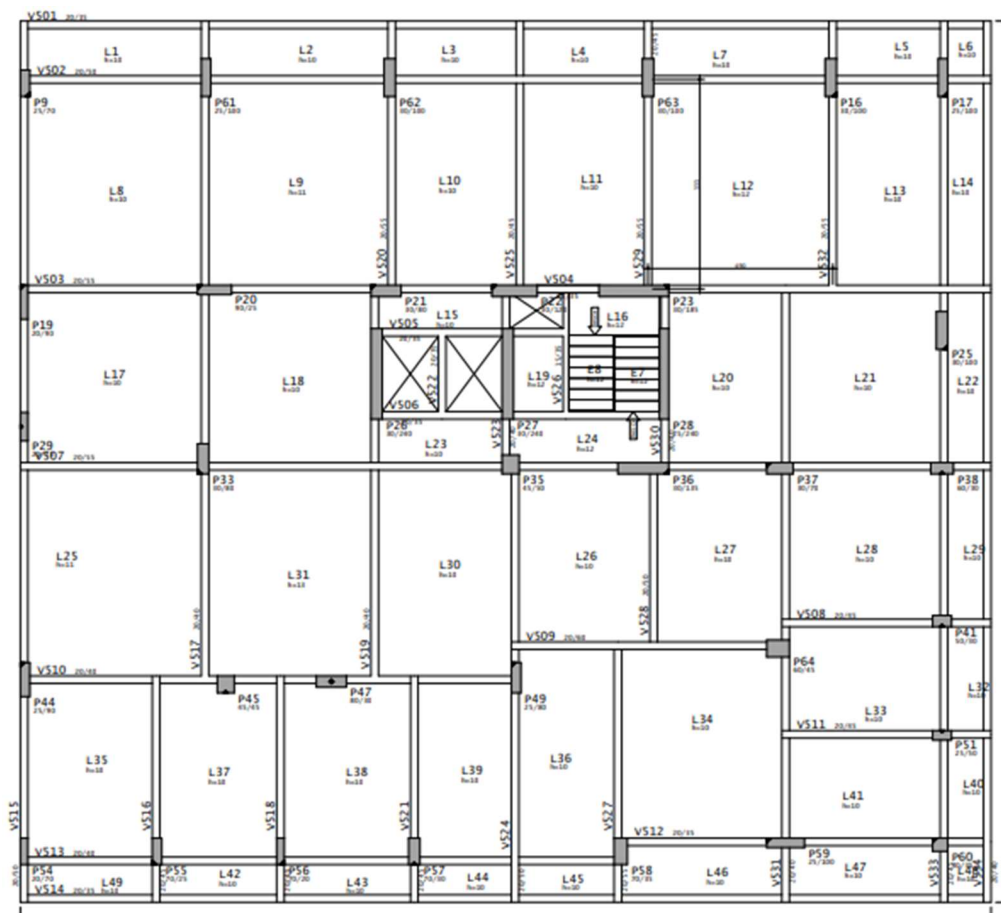


## 5.1 SOLUÇÃO PRELIMINAR

Para esta solução foram lançados todos os elementos estruturais segundo os quadros 4 e 6 com os carregamentos dispostos no item 4.1.1. Primeiramente, adotou-se um  $f_{ck}$  de 40 MPa, porém como a estrutura em si estava bem comportada e com baixa taxa de aço por  $m^2$  optou-se por deixar em 35 Mpa. Com esse valor a estrutura ficou mais próxima de valores padrões usuais. Na sequência foi verificado se todos os parâmetros mínimos aceitáveis estavam de acordo, como flechas em lajes e vigas no ELS, deslocamento máximo horizontal no topo e entre pavimentos, além de garantir um GamaZ, parâmetro que classifica a estrutura quanto a deslocabilidade dos nós, abaixo de 1,1. O que permite trabalhar a estrutura como de nós fixos, ou seja, os esforços horizontais serão modelados somente com efeitos de primeira ordem.

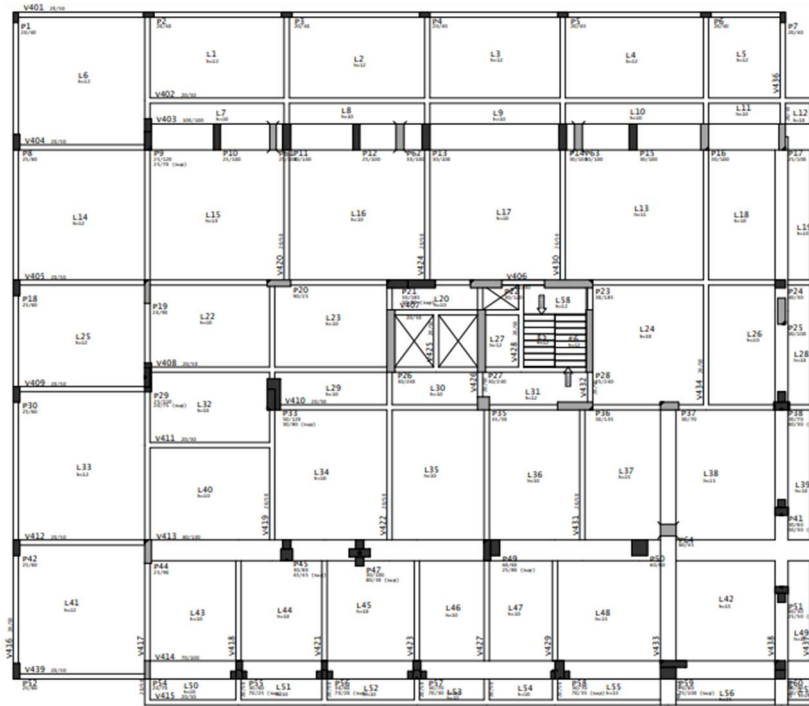
Nas Figuras 13, 14 e 15 é possível observar respectivamente, os pavimentos tipo, pavimento de transição e o 2º andar referente a uma das garagens.

Figura 13 – Planta de formas do pavimento tipo da solução preliminar.



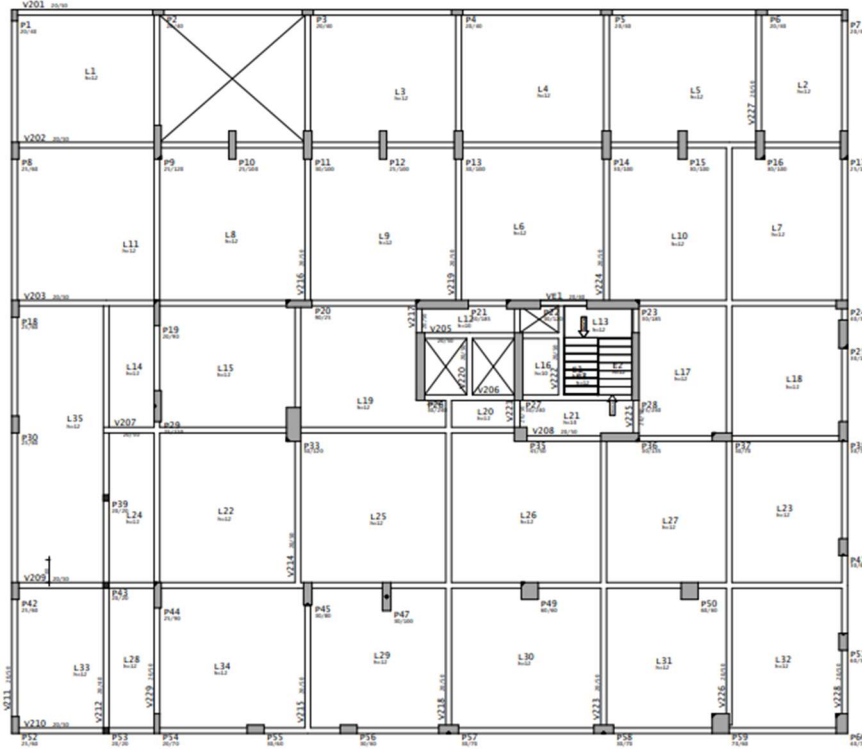
(Fonte: AUTOR, 2023)

Figura 14 – Planta de formas do pavimento de transição da solução preliminar.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Figura 15 – Planta de formas do pavimento garagem da solução preliminar.



(Fonte: AUTOR, 2023)

A disposição dos pilares e vigas permite que a estrutura forme diversos pórticos rígidos nas direções x e y, tornando a transmissão de cargas horizontais mais eficaz. Além disso, o núcleo rígido, composto por oito pilares, sendo quatro deles pilares-parede, contribui significativamente para a rigidez global da edificação, resultando em uma estrutura mais robusta. Isso pode ser percebido pelos parâmetros  $\Gamma_{aZ}$ ,  $\alpha$  e  $F_{AVt}$  disponibilizados pelo TQS no Quadro 8, os quais estão diretamente relacionados com o comportamento da estrutura em relação aos deslocamentos horizontais.

Quadro 8 – Parâmetros de estabilidade da solução preliminar.

<b>Parâmetros de instabilidade</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor máximo</b>
GamaZ	1.071
FAVt	1.075
Alfa	0.659

(Fonte: AUTOR, 2023)

Como os valores ficaram abaixo de 1,1, significa que a estrutura se enquadra como o tipo de pequena deslocabilidade, ou seja, de nós fixos. Com isso os efeitos de 2º ordem global não precisam ser adicionados segundo a norma, garantindo uma melhor eficiência na concepção. Porém, como o  $\Gamma_{aZ}$  está em 1,071 é possível ainda otimizar os pilares e vigas de modo que este parâmetro chegue mais próximo de 1,1 sem mudar para estrutura de nós moveis.

No Quadro 9 é possível ver os deslocamentos admissíveis e os máximos da estrutura considerando a combinação de serviço. Como a estrutura não é tão esbelta, os deslocamentos no topo da edificação resultaram bem abaixo do máximo. No Apêndice A é possível observar os casos de carga que o TQS utilizou para obter os deslocamentos horizontais.

Quadro 9 – Deslocamentos horizontais da solução preliminar.

<b>Deslocamento</b>	<b>Valor máximo (cm)</b>	<b>Caso</b>	<b>Referência (cm)</b>	<b>Situação</b>
Topo do edifício (cm)	(H/ 8925) 0.55	5	(H/ 1700) 2.86	OK
Entre pisos (cm)	(Hi/ 5864) 0.05	7	(Hi/ 850) 0.35	OK

(Fonte: AUTOR, 2023)

O Quadro 10 exibe o consumo de materiais (formas, concreto e aço) em cada pavimento da edificação. Na próxima solução, serão abordadas maneiras de reduzir o consumo desses materiais, visando melhorar a eficiência.

Quadro 10 – Quantitativo de material da solução preliminar.

CONSUMO DE MATERIAL DA SOLUÇÃO PRELIMINAR												
PAVIMENTO	Concreto (m <sup>3</sup> )				formas (m <sup>2</sup> )				Aço (kgf)			
	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas
ÁTICO	26.05	6.24	10.13		218.5	67.47	101.31	0	1466	989	671	0
COBERTURA	28.79	34.79	56.55	1.6	263.1	355.13	513.58	8.6	1722	5464	3801	79
TIPO	287.93	309.1	526.25	16	2631	3209.72	5077.22	85.9	18391	33846	37916	800
4º PISO	43.47	107.68	72.34	1.6	388.8	593.4	644.31	8.7	2849	25170	5426	79
3º PISO	40.76	32.17	79.97	1.6	364.5	324.48	668.1	8.6	2735	6821	5194	224
2º PISO	41.12	33.43	76.83	1.6	371.7	338.72	641.94	8.6	2147	3401	4964	81
TÉRREO	20.92	14.97	0	0	193.05	187.27	0	0	3917	926	0	0
TOTAL	489.04	538.38	822.07	22.4	4430.65	5076.19	7646.46	120.4	33227	76617	57972	1263
SOMATÓRIO	1871.9				17273.7				169079.0			
CONSUMO DE MATERIAL DA SOLUÇÃO PRELIMINAR												
PAVIMENTO	Concreto (m <sup>3</sup> )		Formas (m <sup>2</sup> )		Aço (kgf)							
	Consumo (m <sup>3</sup> )	Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Consumo (m <sup>2</sup> )	Taxa (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Consumo (kgf)	Taxa (kgf/m <sup>3</sup> )						
ÁTICO	42.42	0.34	387.28	3.2	3126	73.69						
COBERTURA	121.73	0.2	1140.41	1.9	11066	90.91						
TIPO	1139.28	0.18	11003.84	1.8	90953	79.83						
4º PISO	225.09	0.28	1635.21	2.0	33524	148.94						
3º PISO	154.5	0.2	1365.68	1.8	14974	96.92						
2º PISO	152.98	0.21	1360.96	1.9	10593	69.24						
TÉRREO	35.89	0.69	380.32	7.4	4843	134.94						
TOTAL	1871.89	0.2	17273.7	1.9	169079	90.33						

(Fonte: AUTOR, 2023)

Como constatado no Quadro 10, percebe-se que os maiores consumos de concreto e aço são referentes aos andares que possuem garagem, por estes possuírem cargas mais elevadas do que os demais e o pavimento de transição que possui vigas mais robustas, demandando maiores seções. Também é possível observar que a taxa de aço média da edificação ficou em 0,9 kN/m<sup>3</sup>, o que está de acordo com os padrões usuais que ficam na faixa de 0,8 a 1,0 kN/m<sup>3</sup>, exceto pelo 4º pavimento que apresentou taxa muito elevada, porém é justificado devido as vigas de transição demandarem mais aço do que o comum.

## 5.2 SOLUÇÃO OTIMIZADA

A partir da solução preliminar descrita no item anterior, foi elaborado um estudo mais aprofundado, observando os relatórios obtidos pelo TQS, onde alguns certos elementos apresentaram uma taxa de armadura abaixo dos padrões usuais com armaduras mínimas apenas. Neste sentido, foram verificadas todas as vigas do pavimento tipo e demais pilares, tentando otimizar suas seções para garantir o menor custo do empreendimento, sempre respeitando as verificações de serviço e o dimensionamento no ELU. Com isso, reduziu-se o volume de concreto dando mais economia. Abaixo no Quadro 11, estão listados os parâmetros obtidos para a solução otimizada.

Quadro 11 – Parâmetros de estabilidade da solução otimizada.

<b>Parâmetros de instabilidade</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor máximo</b>
GamaZ	1.081
FAVt	1.083
Alfa	0.7

(Fonte: AUTOR, 2023)

Com a diminuição das seções aconteceu o esperado, que era o aumento dos parâmetros de instabilidade, porém ainda dentro dos limites que foram propostos. Também verificou-se o aumento da deslocabilidade da estrutura. Contudo, os valores estão respeitando os limites estabelecidos, conforme mostra Quadro 12 abaixo. No Apêndice A é possível observar os casos de carga que o TQS utilizou para obter os deslocamentos horizontais.

Quadro 12 – Deslocamentos horizontais da solução otimizada.

<b>Deslocamento</b>	<b>Valor máximo (cm)</b>	<b>Caso</b>	<b>Referência (cm)</b>	<b>Situação</b>
Topo do edifício (cm)	(H/ 7410) 0.66	7	(H/ 1700) 2.86	OK
Entre pisos (cm)	(Hi/ 4608) 0.07	7	(Hi/ 850) 0.35	OK

(Fonte: AUTOR, 2023)

A partir de várias melhorias feitas no projeto e novas seções adotados para os elementos estruturais, chegou-se aos novos valores de consumo e taxa de material para a solução otimizada, conforme pode ser observado no Quadro 13.

Quadro 13 – Quantitativo de material da solução otimizada.

CONSUMO DE MATERIAL DA SOLUÇÃO OTIMIZADA												
PAVIMENTO	Concreto (m <sup>3</sup> )				formas (m <sup>2</sup> )				Aço (kgf)			
	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas	Pilares	Vigas	Lajes	Escadas
ÁTICO	25.6	6.25	10.13	0	217	67.6	101.31	0	1435	993	637	0
COBERTURA	26.37	34.95	56.55	1.6	253.2	355.58	514.07	8.6	1595	5735	3715	77
TIPO	263.7	286.58	526.25	16	2532	2982.32	5082.09	85.9	17731	35715	35986	784
4º PISO	42.69	107.9	72.34	1.6	385.28	594.35	644.31	8.7	2915	23266	5191	78
3º PISO	40.02	32.22	79.97	1.6	361.2	324.98	668.24	8.6	2680	6646	4922	224
2º PISO	40.38	33.49	76.83	1.6	368.4	339.22	642.08	8.6	2079	3398	4665	81
TÉRREO	20.55	14.99	0	0	191.4	187.47	0	0	4159	926	0	0
TOTAL	459.31	516.38	822.07	22.4	4308.48	4851.52	7652.1	120.4	32594	76679	55116	1244
SOMATÓRIO	1820.2				16932.5				165633.0			
CONSUMO DE MATERIAL DA SOLUÇÃO OTIMIZADA												
PAVIMENTO	Concreto (m <sup>3</sup> )		Formas (m <sup>2</sup> )		Aço (kgf)							
	Consumo (m <sup>3</sup> )	Taxa (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Consumo (m <sup>2</sup> )	Taxa (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Consumo (kgf)	Taxa (kgf/m <sup>3</sup> )						
ÁTICO	41.98	0.34	385.91	3.2	3065	73.01						
COBERTURA	119.47	0.2	1131.45	1.9	11122	93.09						
TIPO	1092.53	0.18	10682.31	1.8	90216	82.58						
4º PISO	224.53	0.28	1632.64	2.0	31450	140.07						
3º PISO	153.81	0.2	1363.02	1.8	14472	94.09						
2º PISO	152.3	0.21	1358.3	1.9	10223	67.12						
TÉRREO	35.54	0.69	378.87	7.4	5085	143.08						
TOTAL	1820.16	0.2	16932.5	1.9	165633	91.00						

(Fonte: AUTOR, 2023)

Conforme o Quadro acima é possível observar uma redução brusca no consumo de concreto do pavimento tipo quando comparado a solução preliminar, chegando a 9%. O que torna a edificação mais leve inclusive, consequentemente, houve uma redução de aço nos pilares da edificação e também uma redução de 6% de aço referentes as vigas no pavimento de transição.

Conforme o método de grelhas verificado pelo TQS, foi preciso aumentar a espessura de algumas lajes para garantir que o deslocamento máximo não excedesse o limite. Com isso é possível verificar as piores situações para cada pavimento no Quadro 14.

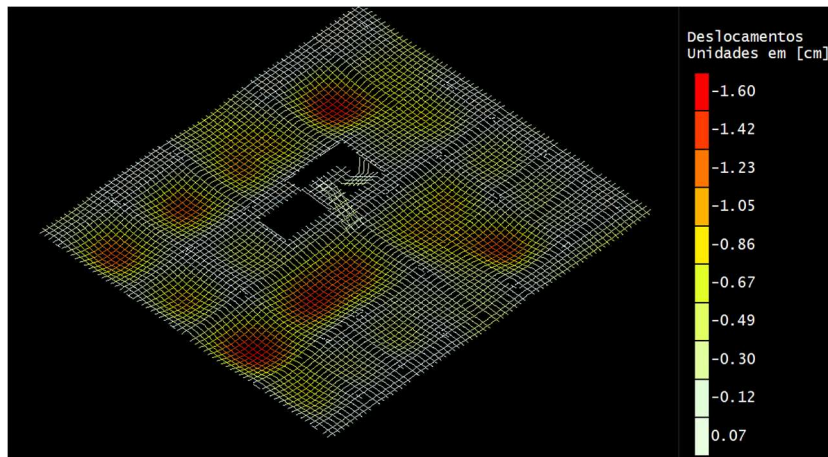
Quadro 14 – Flechas máximas no pavimento da solução otimizada.

FLECHAS NOS PAVIMENTOS							
Pavimento	Análise	Caso	Lajes	Flecha máxima (cm)	Flecha limite (cm)	Situação	Espessura final
ÁTICO	Linear	9	5	1,25	1,52	OK	10
COBERTURA	Linear	9	27	1,15	1,64	OK	10
TIPO	Linear	9	12	1,60	1,84	OK	12
4º PISO	Linear	9	15	1,84	1,92	OK	10
3º PISO	Linear	9	25	1,30	1,72	OK	12
2º PISO	Linear	9	26	1,29	1,72	OK	12

(Fonte: AUTOR, 2023)

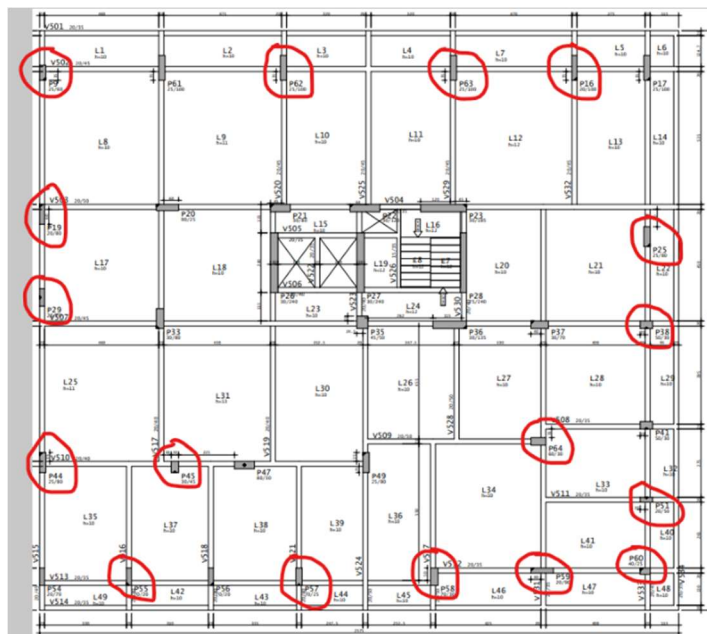
Nas Figuras 16 seguir tem-se os deslocamentos máximos do pavimento tipo conforme o modelo IV executado pelo TQS. A partir dele verificou-se o comportamento da grelha, confirmando que as seções das vigas adotadas e espessuras das lajes estão de acordo com os parâmetros mínimos. Na figura 17 é possível perceber os pilares que foram reduzidos para um menor consumo de aço e concreto.

Figura 16 – Deslocamentos máximos no pavimento tipo da solução otimizada.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Figura 17 – Pilares reduzidos da solução otimizada.



(Fonte: AUTOR, 2023)

### 5.3 COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES

A partir das soluções acima verificadas foi feito um estudo para verificar se realmente foi obtida a economia esperada, com isso os dados estão mostrados no Quadro 15:

Quadro 15 – Preço dos elementos estruturais da obra.

PREÇO COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES							
SOLUÇÃO	CONCRETO (m <sup>3</sup> )	PREÇO/m <sup>3</sup>	PREÇO TOTAL	AÇO (kg)	PREÇO/kgf	PREÇO TOTAL	CONCRETO + AÇO
PRELIMINAR	1.872	245	R\$ 458.610,60	169.076	9,47	R\$ 1.601.149,72	R\$ 2.059.760,32
OTIMIZADA	1.821	245	R\$ 446.213,60	165.634	9,47	R\$ 1.568.553,98	R\$ 2.014.767,58

(Fonte: AUTOR, 2023)

A partir desses dados pode-se concluir que com uma otimização do pavimento tipo e demais pilares consegue-se chegar em uma economia na questão de material de construção, (aço e concreto), conforme o Quadro 16. Vale ressaltar que os valores encontrados são referentes à maio de 2023 de acordo com o SINAPI e demais custos como mão de obra, fundações, perdas, entre outros não foram computados ao valor final.

Quadro 16 – Comparativo entre as soluções.

COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES			
MATERIAL	PRELIMINAR	OTIMIZADA	REDUÇÃO
CONSUMO DE CONCRETO (m <sup>3</sup> )	1.872	1.821	2,72%
TAXA DE CONCRETO (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0,2	0,2	
CONSUMO DE FORMAS (m <sup>2</sup> )	17.274	16.932	1,98%
TAXA DE FORMAS (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	1,9	1,9	
CONSUMO DE AÇO (kgf)	169.079	165.633	2.04%
TAXA DE AÇO (kgf/m <sup>2</sup> )	90,33	91,00	
CONCRETO NO PAVIMENTO TIPO (m <sup>3</sup> )	1.139	1.093	4,10%
AÇO NO PAVIMENTO TIPO (kgf)	90.953	90.216	0,81%

(Fonte: AUTOR, 2023)

Para uma melhor economia seria ideal fazer uma concepção estrutural com a tentativa de reduzir os pilares que vão até do térreo até o 4º pavimento além de reduzir as seções de vigas que estão com baixa taxa de armadura nesses andares, assim o volume de concreto total e o kg do aço poderiam ser reduzidos no edifício inteiro para uma maior economia global.



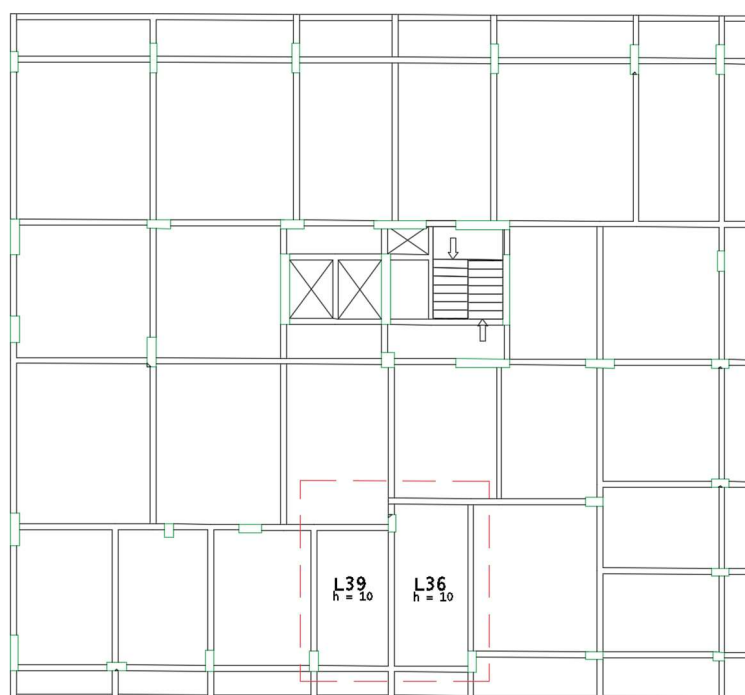
## 6 DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO

Com o modelo IV calculado pelo TQS, todas as lajes, vigas e pilares foram dimensionados. No entanto, cabe ao projetista estrutural verificar corretamente se os valores estão de acordo com o esperado para a estrutura. Para isso, foi realizada a análise manual de 2 lajes, 1 viga de transição e um pilar, comparando com os valores dimensionados pelo *software*. Outro fato importante é a otimização das armaduras das vigas e lajes, que muitas vezes são apresentadas em vários recortes e bitolas disponibilizadas pelo programa. Devido a isso, é essencial que as informações sejam organizadas para facilitar a execução, pois assim, mesmo que isso signifique um aumento no consumo de aço, as chances de erros na montagem durante a execução da obra diminuam.

### 6.1 LAJES

Para a escolha das lajes que serão verificadas de forma manual optou-se por uma delas sendo apoiada nas duas direções e outra apoiada em apenas uma direção. No caso serão as lajes 39 e 36 respectivamente, que podem ser observadas na Figura 18. Nesta etapa serão comparadas as solicitações de momento fletor, tanto como positiva quanto negativas, em todos os lados.

Figura 18 – Locação das lajes calculadas.

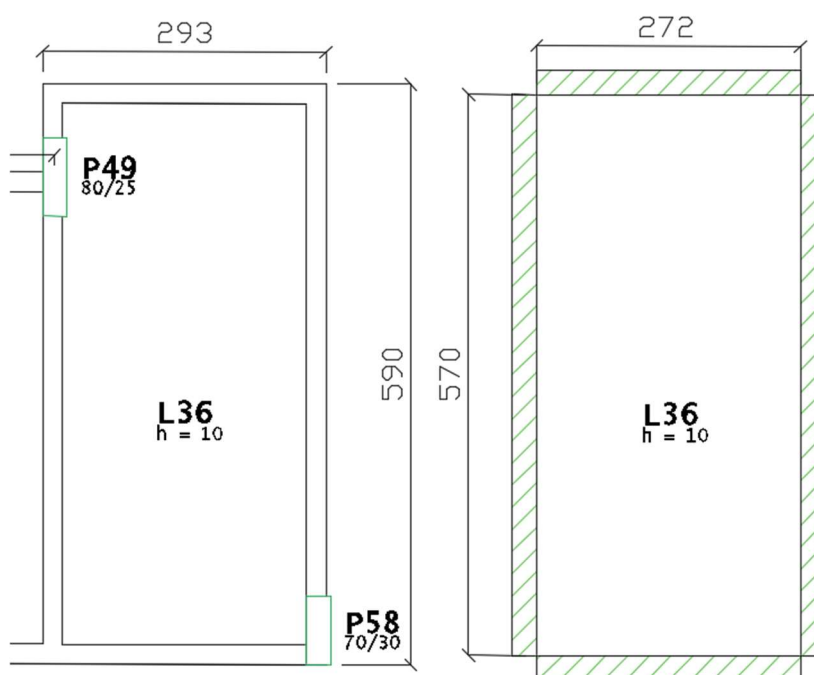


(Fonte: AUTOR, 2023)

### 6.1.1 Laje armada em uma direção

A laje 36 está localizada no centro da edificação possuindo dimensões de 2,73 por 5,7 metros. Como sua razão fica superior a 2, ela será dimensionada e armada em uma direção apenas, ou seja, o aço será disposto em apenas no sentido do menor vão, com o vão maior recebendo apenas armadura de distribuição. Na Figura 19 tem-se o croqui desta laje.

Figura 19 – Dimensões da Laje 36.

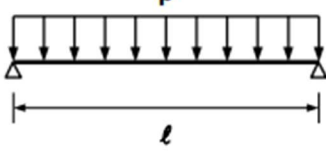
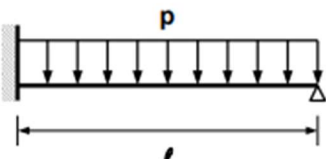
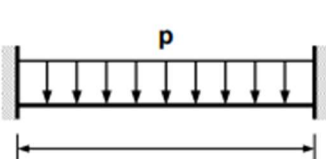
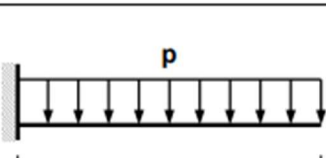


(Fonte: AUTOR, 2023)

A laje 36 possui 10 cm de espessura, mesmo que o mínimo requerido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) é de 8 cm, optou-se por aumentar ela para garantir um desempenho termoacústico mais satisfatório. Devido a isso ela possui um peso próprio de 2,5 kN/m<sup>2</sup> considerando o peso específico do concreto de 25 kN/m<sup>3</sup>. Por se tratar de uma sala de estar sua carga acidental segundo a NBR 6120 (ABNT, 2019) é de 1,5 kN/m<sup>2</sup>, somado a isso possui um revestimento de 1,0 kN/m<sup>2</sup>, totalizando uma carga atuante de 5 kN/m<sup>2</sup>.

Para a obtenção dos momentos positivos e negativos no ELU usou-se a tabela da Figura 20, onde ela considera o regime rígido-plástico, sendo assim mais preciso para sua análise. Como todas as suas lajes vizinhas possuem espessura igual ou superior a 10 cm, significa que ela possui todos os bordos engastados.

Figura 20 – Tabela de esforços para lajes armada em uma direção.

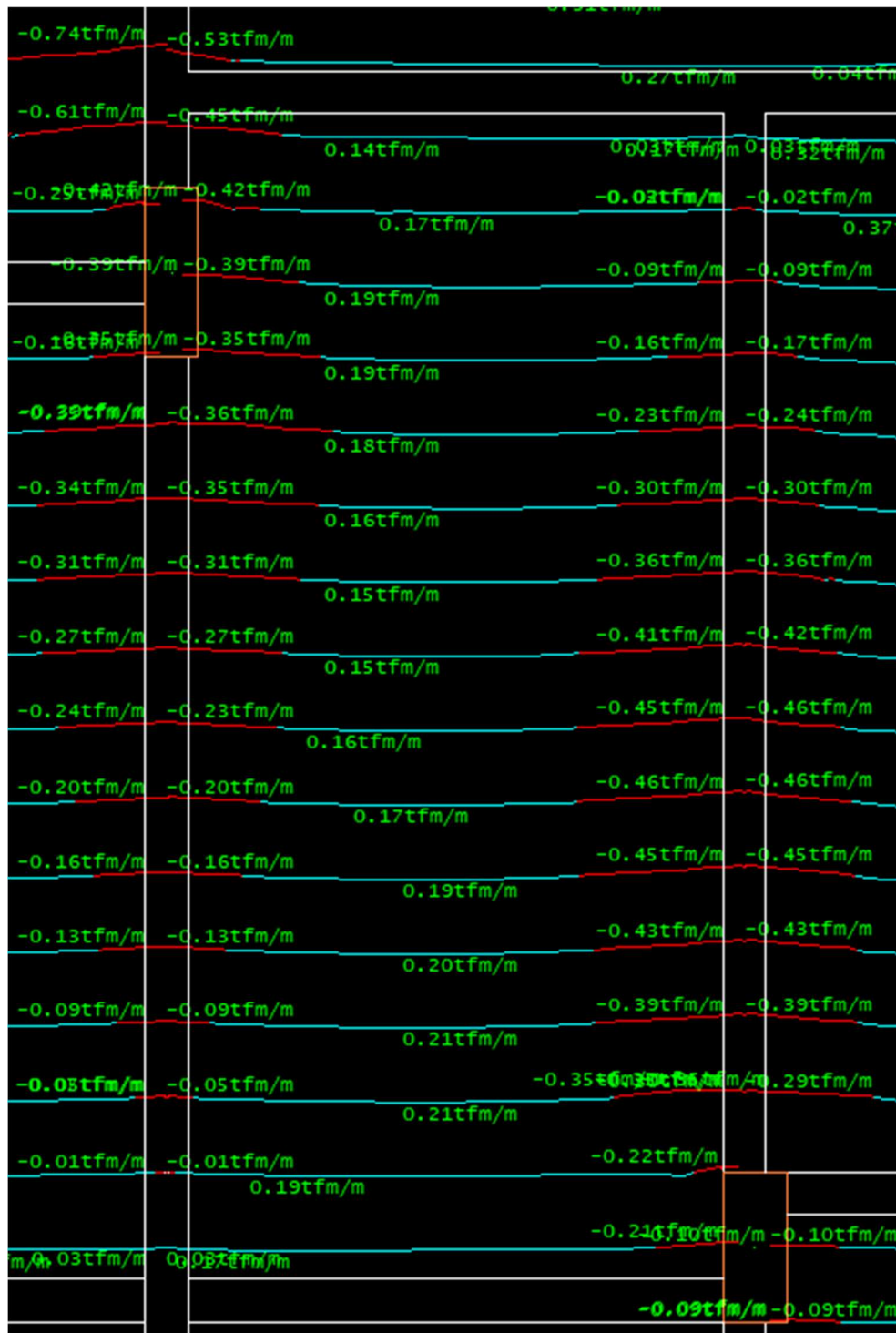
vinculação	regime elástico	regime rígido-plástico
	$m_v = p\ell^2/8$ $r = p\ell/2$	$m_v = p\ell^2/8$ $r = p\ell/2$
	$m_E = -p\ell^2/8$ $m_v = 9p\ell^2/128$ $r_E = p\ell/2 +  M_E /\ell$ $r_A = p\ell/2 -  M_E /\ell$	$m_E = -p\ell^2/8,88$ $m_v = p\ell^2/13,32$ $r_E = p\ell/2 +  M_E /\ell$ $r_A = p\ell/2 -  M_E /\ell$
	$m_E = -p\ell^2/12$ $m_v = p\ell^2/24$ $r = p\ell/2$	$m_E = -3p\ell^2/40$ $m_v = p\ell^2/20$ $r = p\ell/2$
	$m_E = -p\ell^2/2$ $r = p\ell$	$m_E = -p\ell^2/2$ $r = p\ell$

(Fonte: CAMPOS FILHO, 2014)

Para o cálculo da laje foi considerado que a carga “p” será igual a 5 kN/m. Aplicando na fórmula descrita na tabela acima, obteve-se um momento de engaste  $M_E = -3 \cdot 5 \cdot 2,725^2/40 = 2,79$  kNm/m e um momento no centro do vão de  $M_v = 5 \cdot 2,725^2/20 = 1,86$  kNm/m

A seguir na Figura 21 é mostrado o diagrama disponível pela análise do TQS:

Figura 21 – Diagrama de momentos da laje 36 do TQS.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Como pode-se perceber, os valores obtidos de momentos no cálculo manual são muito parecidos ao desenvolvido pelo TQS. No centro do vão tem-se 1,9 kNm/m (0,19 tfm/m) e nos apoios temos 3,1 kNm/m (0,31 tfm/m) na esquerda e 4,1 kNm/m (0,41 tfm/m) na direita, ou

seja, valores razoavelmente aceitáveis levando em conta que o TQS faz uma análise mais precisa através do método de grelhas. Outros fatores que podem interferir também é a presença de pilares próximos e lajes adjacentes com momentos negativos maiores que o que a laje 36 realmente possui.

A partir das equações 01 e 02 é possível obter a armadura necessária para esta laje.

$$x = \frac{d}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2Md}{\alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2}} \right) \quad (01)$$

$$A_s = \frac{\lambda \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x}{f_{yd}} \quad (02)$$

Onde:

$M_d$  é o momento majorado por 1,4;

$d$  é a altura útil da seção;

$\lambda$  é 0,8 para  $f_{ck} \leq 50$ ;

$\alpha_c$  é 0,85;

$f_{cd}$  é a resistência de cálculo do concreto;

$b$  é a largura da seção que neste caso é igual a 100 cm;

$f_{yd}$  é a resistência de cálculo do aço.

Com base nisso é possível calcular a área de aço necessária. No Quadro 17 é mostrado um resumo do dimensionamento da laje 36:

Quadro 17 – Tabela de cálculo da laje 36.

Laje 36	
a(m)	2.73
b(m)	5.70
h(cm)	10.0
Peso Próprio (kN/m <sup>2</sup> )	2.50
revestimento (kN/m <sup>2</sup> )	0.80
Forro (kN/m <sup>2</sup> )	0.20
g (kN/m <sup>2</sup> )	3.50
q (kN/m <sup>2</sup> )	1.50
p (kN/m <sup>2</sup> )	5.00
Fck (kN/m <sup>2</sup> )	3.50
Mv (kN.m/m)	1.86
Me (kN.m/m)	-2.79
dv (cm)	7.50
de (cm)	8.00
xv (cm)	0.21
xv/dv	0.03
xe (cm)	0.29
xe/de	0.04

Laje 36	
positivas	
Asv (cm <sup>2</sup> /m)	0.81
Asmin (cm <sup>2</sup> /m)	1.64
Ø6.3 c/15 cm Positiva	2.08
Arm dist (cm <sup>2</sup> /m)	0.90
Ø6c/15 cm Dist	2.08
Negativas	
Asv (cm <sup>2</sup> /m)	1.14
Asmin (cm <sup>2</sup> /m)	1.64
Ø6.3 c/15 cm Negativa	2.08

(Fonte: AUTOR, 2023)

Como a armadura mínima será de 0,164% da área, obteve-se 1,64 cm<sup>2</sup>, ou seja, no mínimo barras de 6,3 espaçadas a 18 cm. Já para o outro sentido foi obtido armadura de distribuição de 0,9 cm, neste caso é a mínima requerida pela norma e que também será dimensionada com barras de 6,3 cm, porém neste caso é uma questão de execução, pois com o tráfego dos operários é preciso de uma armadura que não deforme antes da concretagem.

Comparando com o dimensionamento e detalhamento do TQS, percebe-se que o programa achou praticamente a mesma armadura, com barras de 6,3 espaçadas a cada 15 cm por arredondamento, ou seja, esta laje está de acordo tanto para o cálculo manual, quanto para o cálculo do TQS.

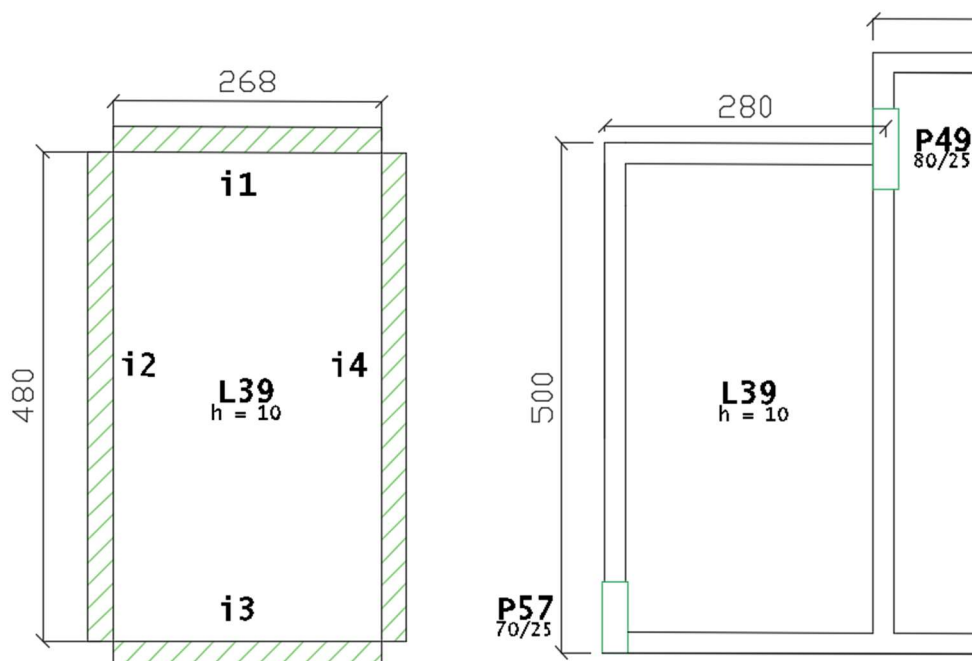
### 6.1.2 Laje armada em duas direções

A laje 39 está localizada no centro da edificação possuindo dimensões de 2,68 por 4,8 metros. Como sua razão fica inferior a 2, ela será dimensionada e armada nas suas duas direções, ou seja, o aço será disposto nos dois sentidos.

Esta laje também possui 10 cm de espessura, devido a isso ela possui um peso próprio de 2,5 kN/m<sup>2</sup>, considerando o peso específico do concreto de 25kN/m<sup>3</sup>. Por se tratar de uma sala de estar, sua carga acidental segundo a NBR 6120 (ABNT, 2019) é de 1,5 kN/m<sup>2</sup>. Somado a isso possui um revestimento de 1,0 kN/m<sup>2</sup>, totalizando uma carga atuante de 5 kN/m<sup>2</sup>.

Para a obtenção dos momentos positivos e negativos no ELU considerou-se o método das linhas de ruptura, onde cada um dos bordos possui um grau de engastamento ( $i_n$ ) que varia de 0 a 2, sendo que o recomendável pela norma é que seja superior a 1,5. Como todas as suas lajes vizinhas possuem espessura igual ou superior a 10 cm significa que ela possui todos os bordos engastados, ou seja, todos terão grau de engastamento de 1,5=  $i_1=i_2=i_3=i_4$ , conforme pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Dimensões da Laje 39.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Para o cálculo da laje primeiro precisou-se ver a razão entre os lados. Como o valor é de 0,56, ela é classificada como laje ortótropa. A partir disso é possível calcular o seu coeficiente de ortotropia através a equação 03.

$$\varphi = \frac{12 - i2 - i4}{12 \quad i1 - i3} \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^{1,7} \quad (03)$$

Onde:

a é o menor lado da laje;

b é o maior lado da laje;

O primeiro passo é obter os comprimentos dos vãos reduzidos e depois o momento atuante que são descritos pelas fórmulas 04, 05,06 e 07 abaixo.

$$a_r = \frac{2a}{\sqrt{1+i2} + \sqrt{1+i4}} \quad (04)$$

$$b_r^\circ = \frac{2a}{\sqrt{1+i2} + \sqrt{1+i4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varphi}} \quad (05)$$

$$m_a = \frac{p \cdot a_r \cdot b_r^\circ}{8 \left(1 + \frac{a_r}{b_r^\circ} + \frac{b_r^\circ}{a_r}\right)} \quad (06)$$

$$m_b = \frac{\varphi \cdot p \cdot a_r \cdot b_r^\circ}{8 \left(1 + \frac{a_r}{b_r^\circ} + \frac{b_r^\circ}{a_r}\right)} \quad (07)$$

Com isso, é possível calcular o momento  $M_a$  que resulta em 1,23 kNm/m. A partir disso obtém-se o  $M_b$  que é 0,46 kNm/m, multiplicando pelos seus respectivos graus de engastamentos, que neste caso todos são iguais a 1,5, chegou-se a momentos de engaste de -0,69 kNm/m e -1,85 kNm/m.

Na Figura 23 e 24 são mostrados os diagramas disponíveis pela análise do TQS:

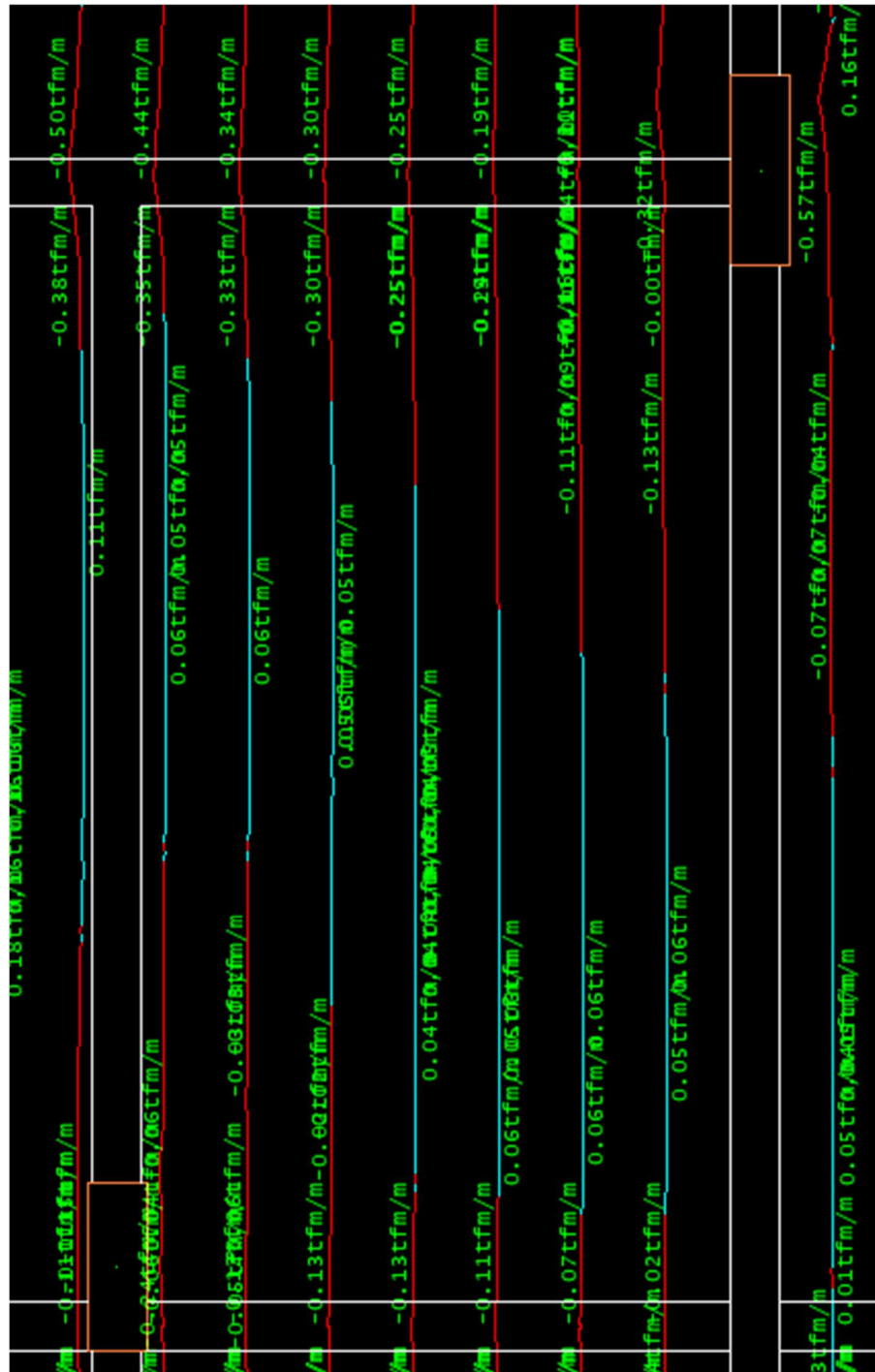


Figura 23 – Diagrama de momentos horizontais da laje 39 do TQS.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Figura 24 – Diagrama de momentos verticais da laje 39 do TQS.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Como pode perceber-se, os valores obtidos de momentos no cálculo manual são parecidos ao desenvolvido pelo *software*, no centro do vão tem-se 0,6 kNm/m (0,06 tfm/m) no sentido

vertical e 1,8 kNm/m (0,18 tfm/m) no sentido horizontal. Já nos apoios tem-se 3,3 kNm/m (0,33tfm/m) na esquerda e 2,0 kNm/m (0,20 tfm/m) na direita. Também possui 1,3 kNm/m (0,13 tfm/m) na parte inferior e 2,5 kNm/m (0,25 tfm/m) na parte superior, ou seja, valores razoavelmente aceitáveis levando em conta que o TQS faz uma análise mais precisa através do método de grelhas. Outros fatores que podem interferir também são a presença de pilares próximos e lajes adjacentes com momentos negativos maiores que o que a laje 39 possui. Aplicando as mesmas equações 01 e 02 para o dimensionamento da armadura como no caso da laje armada em uma direção foram obtidos os seus valores como mostrado no Quadro 18.

Quadro 18 –Tabela de cálculo da laje 39.

Laje 39		Laje 39	
a(m)	2.68	Positivas	
b(m)	4.80	d (cm)	7.50
h(cm)	10.00	x (cm)	0.14
Peso Próprio (kN/m <sup>2</sup> )	2.50	x/d	0.02
revestimento (kN/m <sup>2</sup> )	0.80	As (cm <sup>2</sup> /m)	0.53
Forro (kN/m <sup>2</sup> )	0.20	As min (cm <sup>2</sup> /m)	1.10
g (kN/m <sup>2</sup> )	3.50	$\Theta 6c/15$ cm positiva ma	2.08
q (kN/m <sup>2</sup> )	1.50	d (cm)	8.00
p (kN/m <sup>2</sup> )	5.00	x (cm)	0.05
Fck (kN/m <sup>2</sup> )	3.50	x/d	0.01
ortótropa	0.56	As (cm <sup>2</sup> /m)	0.18
i1,i4	1.50	As min (cm <sup>2</sup> /m)	1.01
i2,i3	1.50	$\Theta 6.3c/15$ cm positiva mb	2.08
ar(m)	1.69	Negativas	
br(m)	3.04	d (cm)	8.00
psi	0.37	x (cm)	0.07
br* (m)	4.98	x/d	0.01
M=Ma (kN.m/m)	1.23	As (cm <sup>2</sup> /m)	0.28
Mb (kN.m/m)	0.46	As min (cm <sup>2</sup> /m)	1.64
m1' (kN.m/m)	-0.69	$\Theta 6,3c/15$ cm Negativa ma	2.08
m4' (kN.m/m)	-1.85	d (cm)	7.50
		x (cm)	0.21
		x/d	0.03
		As (cm <sup>2</sup> /m)	0.80
		As min (cm <sup>2</sup> /m)	1.64
		$\Theta 6,3c/15$ cm Negativa ma	2.08

(Fonte: AUTOR, 2023)

Como a armadura mínima será de 0,164% da área teremos 1,64 cm<sup>2</sup>, ou seja, no mínimo barras de 6,3 espaçadas a cada 15 cm.

No Quadro 19 é possível ver o comparativo entre os dois modelos de cálculo.

Quadro 19 – Comparativo entre o cálculo manual e o TQS.

Laje 39		
(kN.m/m)	TQS	MANUAL
MOMENTO NO VÃO HORIZONTAL	1.8	1.23
MOMENTO NO VÃO VERTICAL	0.6	0.46
MOMENTO NO ENGASTE A DIREITA	2	1.85
MOMENTO NO ENGASTE A ESQUERDA	3.3	1.85
MOMENTO NO ENGASTE ACIMA	2.5	0.69
MOMENTO NO ENGASTE ABAIXO	1.3	0.69

(Fonte: AUTOR, 2023)

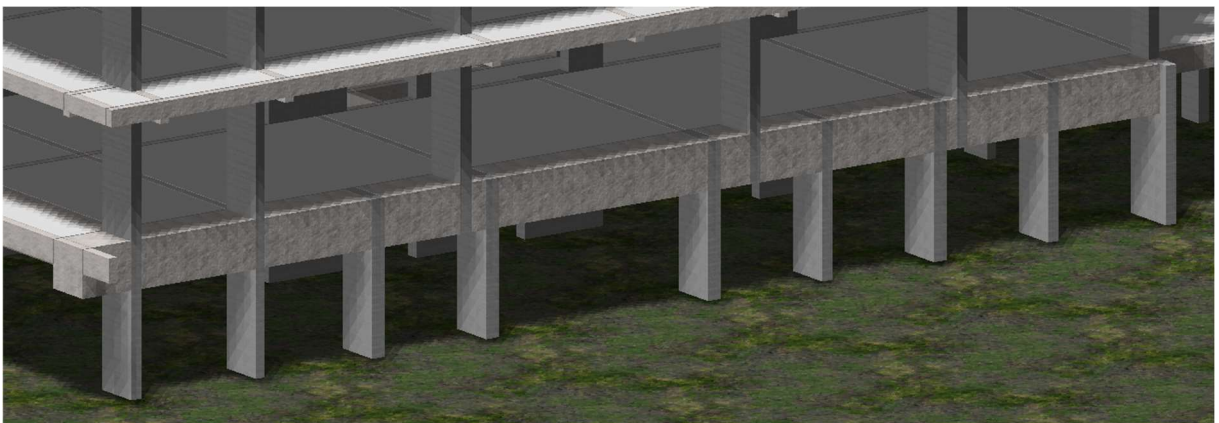
## 6.2 VIGAS

Para a escolha da viga será verificada a V403, localizada no 4º pavimento, devido a sua alta complexidade de calcular e por possuir pilares nascendo a partir dela para o restante da edificação. Nesta etapa serão comparadas as solicitações de momento fletor tanto como positiva quanto negativa, além do cálculo de sua armadura à flexão, cisalhamento e de pele para evitar possíveis fissuras.

### 6.2.1 Viga 403

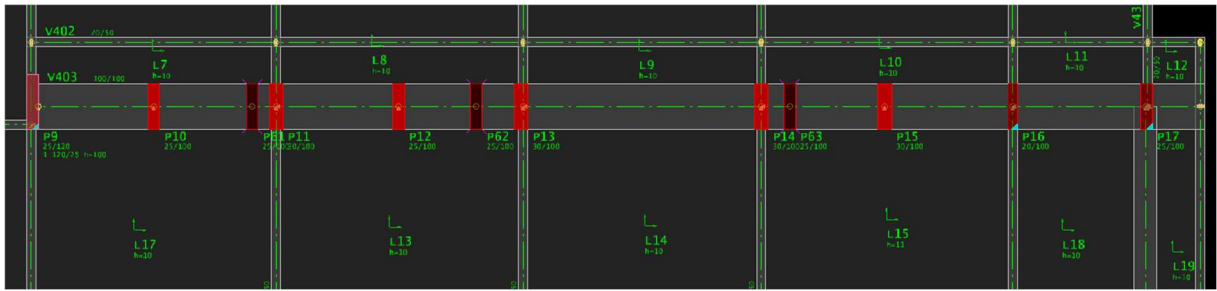
A seguir nas figuras 25 e 26 é possível ver as imagens em 3D e em plantas referentes à viga de transição 403.

Figura 25 –Vista 3D da viga 403.



(Fonte: AUTOR, 2023)

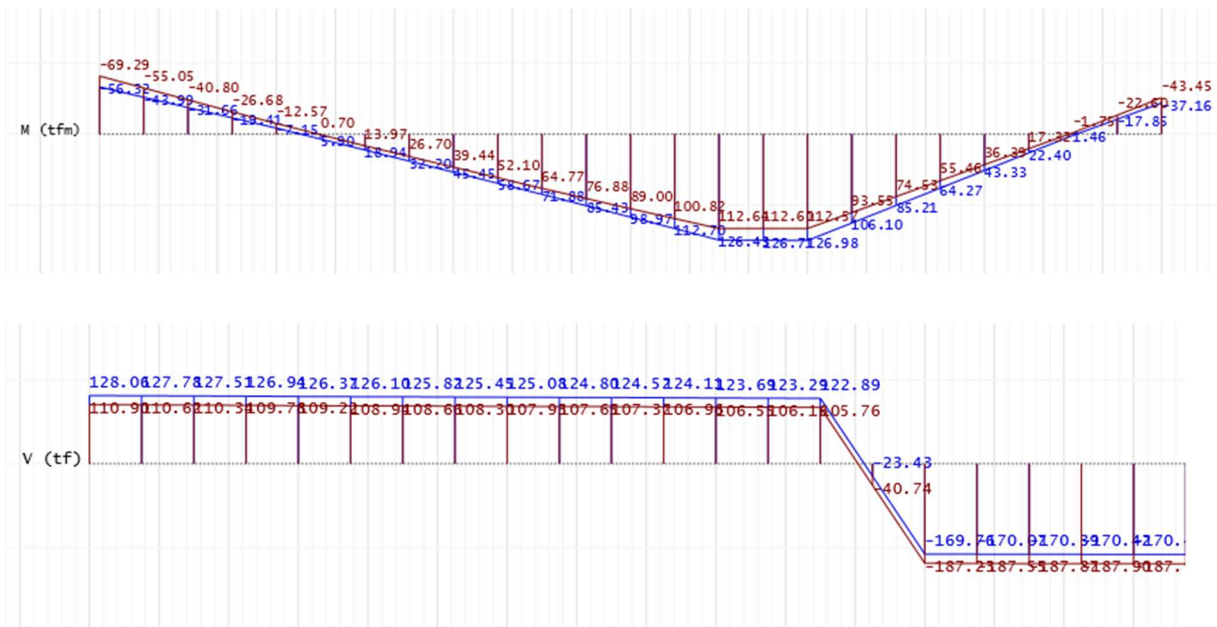
Figura 26 –Vista em planta da viga 403.



(Fonte: AUTOR, 2023)

A viga 403 possui 25,75 metros de comprimento com 1 metro de altura e 1 metro de largura. Ela está apoiada sobre 9 pilares aonde desses 9, apenas 3 continuam até o topo da edificação e os outros 6 morrem no nível dela por causa do *layout* da planta arquitetônica. Para isso foi concebido outros 3 pilares que nascem a partir da viga e vão até a cobertura, aumentando os esforços na viga, justificando suas dimensões adotadas. Para este dimensionamento será analisado o vão 4 que fica entre os pilares 12 e 13 e recebe a carga vertical do P62. A seguir são mostrados os diagramas de momento fletor e efeito cortante deste trecho nas Figura 27:

Figura 27 –Diagramas de esforços do tramo 4 da V403.



(Fonte: AUTOR, 2023)

O primeiro passo será o cálculo da posição da linha de zona comprimida da seção da viga com a equação 08:

$$y = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Md}{ac \cdot fcd \cdot b}} \quad (08)$$

Com isso chegou-se no resultado de  $y = 9,83$  cm

Agora será comparado com o  $Y$  máximo da seção conforme a equação 09, assim será necessário apenas armadura de tração na parte inferior.

$$Y_{dúctil} = 0,36 \cdot d \quad (09)$$

Como o  $Y_{dúctil}$  resulta em 32,4cm, muito acima do que foi realmente calculado, significa que a viga está nos domínios 2 ou 3 e pode-se calcular a sua área de aço. Para o cálculo da área de aço será usada a equação 10.

$$A_s = \frac{ac \cdot fcd \cdot b \cdot y}{f_y d} \quad (10)$$

Com isso chegou-se a uma área de 48,06 cm<sup>2</sup>, ou seja, serão necessárias 10 barras com diâmetro de 25 mm. Isso representa uma taxa de armadura de 1,92%, o que está de acordo com os parâmetros mínimos de 0,4% e máximos de 4%.

Agora, para analisar os momentos negativos sobre os pilares 12 e 13, serão utilizados os mesmos procedimentos anteriores. Com isso, foram obtidos os valores de  $y=5,52$  cm e 3,24 cm, os quais estão abaixo do  $Y_{máximo}$  para seções apenas tracionadas nas fibras superiores. Aplicando a equação 10, foram obtidas as armaduras de 25,53 e 15,83, respectivamente. Como a armadura mínima deve ser de 0,164% da área da seção, chegou-se ao valor de 16,4 cm<sup>2</sup>.

Com isso obteve-se a armadura negativa para o momento do pilar 12, de 9 barras de 20 mm e para o pilar 13, 6 barras de 20 mm, o que garantem o mínimo necessário. No Quadro 20 é possível ver os valores de cálculo:

Quadro 20 – Tabela de cálculo do Momento fletor da V403.

Aço 50 ou 60:	50
$f_{ck}$ (MPa):	35
$\gamma_c$ :	1.4
$\gamma_s$ :	1.15
$\gamma_f$ :	1.4

$b_w$ (cm):	100
$h$ (cm):	100
$h-d$ (cm):	10
$d'$ (cm):	5
$M_k$ (kNm):	<b>1270</b>

$M_d$ (kNm):	<b>1778</b>
$y$ (cm):	9.83
$A's$ (cm <sup>2</sup> ):	0.00
$A_s$ (cm <sup>2</sup> ):	48.06
$A_{s_{min}}$ (cm <sup>2</sup> ):	<b>16.40</b>
$A_{s_{max}}$ (cm <sup>2</sup> ):	

$\lambda$ :	0.8
$\alpha_c$ :	0.85
$\alpha_c f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> ):	2.13
$\epsilon_{cu}$ :	0.00350
$f_{yd}$ (kN/cm <sup>2</sup> ):	43.48
$\epsilon_{yd}$ :	0.00207
$x_{34}/d$ :	0.63
$x_{ductil}/d$ :	0.45
$x_{max}/d$ :	0.45
$y_{max}/d$ :	0.36
$\rho_{min}$ (%):	0.164

$d$ (cm):	90
$x_{max}$ (cm):	40.50
$y_{max}$ (cm):	32.40
$M_{máximo}$ (kNm):	5081.13
$\epsilon_2$ :	
$\sigma_2$ (kN/cm <sup>2</sup> ):	0.00
$\sigma_2'$ (kN/cm <sup>2</sup> ):	-2.13

(Fonte: AUTOR, 2023)

A seguir tem-se o dimensionamento relativo ao efeito cortante.

Primeiramente, foi verificada a compressão diagonal do concreto para ver se ele suportaria este esforço tão alto. Caso não resistisse, teria que aumentar o  $f_{ck}$  ou aumentar a seção da viga. Para esta verificação utilizou-se a equação 11 a seguir:

$$V_{rd2} = 0,27 \cdot av_2 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \quad (11)$$

Onde é  $av_2$  vale  $(1 - \frac{f_{ck}}{250})$ , com isso chegou-se em um  $V_{rd2}$  que resulta em 5224 kN e como o cortante atuante é de 2623 kN, significa que a viga está de acordo quanto ao esmagamento do concreto. Agora é preciso ver a parcela resistida pelo concreto ao efeito cortante  $V_c$  através da equação 12:

$$V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b \cdot d \quad (12)$$

Onde  $f_{ctd}$  vale  $0,15 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$ , com isso chegou-se em um  $V_c$  que resulta em 866,7 kN, menor do que o  $V_{sd}$ , ou seja, é preciso calcular o estribo necessário para resistir a esta diferença de forças. Para isso utilizou-se a equação 13:

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{sd} - V_c}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)} \quad (13)$$

Como foi aplicado o modelo 1 para cálculos de estribos segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o parâmetro alfa será de 90°. Com isso pode-se obter a taxa de armadura, que aplicando a fórmula resulta em 49,9 cm<sup>2</sup>/m. O que pode ser resolvido por estribos duplos de 12.5 mm espaçados a cada 9 cm que resulta em 54,5 cm<sup>2</sup>/m. No Quadro 21 é possível ver os valores de cálculo.

Quadro 21 – Tabela de cálculo do Cortante da V403.

Aço 50 ou 60:	50	b <sub>w</sub> (cm):	100
f <sub>ck</sub> (MPa):	35	h (cm):	100
γ <sub>c</sub> :	1.4	h-d (cm):	10
γ <sub>s</sub> :	1.15	d' (cm):	5
γ <sub>f</sub> :	1.4	ângulo biela θ (°):	45
Modelo:	1	ângulo estribo α (°):	90
		q (kN/m):	0
		P (kN):	0
		a (cm):	0
		b (cm):	0
		h <sub>pilar</sub> (cm):	0
		V <sub>k</sub> (kN):	<b>1873.0</b>

α <sub>v2</sub> :	0.86
α <sub>v2</sub> f <sub>cd</sub> (kN/cm <sup>2</sup> ):	2.15
f <sub>ct,m</sub> (kN/cm <sup>2</sup> ):	0.321
f <sub>ctd</sub> (kN/cm <sup>2</sup> ):	0.160
f <sub>ywk</sub> (kN/cm <sup>2</sup> ):	50.00
f <sub>ywd</sub> (kN/cm <sup>2</sup> ):	43.48

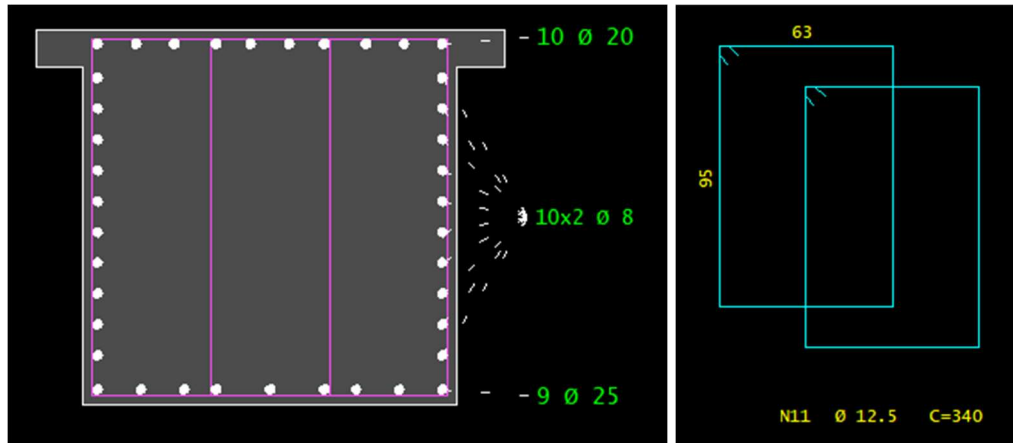
d (cm):	90	V <sub>sd</sub> (kN):	<b>2622.2</b>
ângulo biela θ (°):	45	V <sub>sd</sub> reduzido (kN):	<b>2622.2</b>
V <sub>Rd2</sub> (kN):	<b>5224.50</b>	Biela Comprimida:	OK!
V <sub>co</sub> (kN):	866.69	Asw/s (cm <sup>2</sup> /m):	49.85
V <sub>c</sub> (kN):	<b>866.69</b>	Asw/s <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> /m):	12.84
V <sub>sw</sub> (kN):	1755.51	V <sub>k</sub> min (kN):	942.05
V <sub>c</sub> <sup>*</sup> (kN):	866.69	φ <sub>max</sub> (mm):	100
Coef V <sub>k</sub> min:	1.00	s <sub>max</sub> (cm):	30.0
V <sub>k</sub> reduzido (kN):	<b>1873.00</b>		

(Fonte: AUTOR, 2023)

Quando comparado com os resultados obtidos pelo TQS chega-se à conclusão que o cálculo e o detalhamento das armaduras resultaram de forma similar com praticamente a mesma armadura adotada tanto para o cálculo manual, quanto para o obtido no TQS, conforme é mostrado na Figura 28.



Figura 28 – Detalhamento da viga 403 pelo TQS.



(Fonte: AUTOR, 2023)

### 6.3 PILAR

Para a escolha do pilar será verificado o P62, devido a sua alta complexidade de dimensionar e por nascer na viga de transição 403 dimensionada no item anterior. Localizado no canto superior central da planta baixa, que pode ser observado na Figura 26. Nesta etapa, será comparado o dimensionamento do TQS com uma ferramenta de verificação de pilares que é o PCalc, muito útil nessas circunstâncias pela facilidade e bom desempenho. Na figura 29 é possível observar os esforços do pilar analisado.

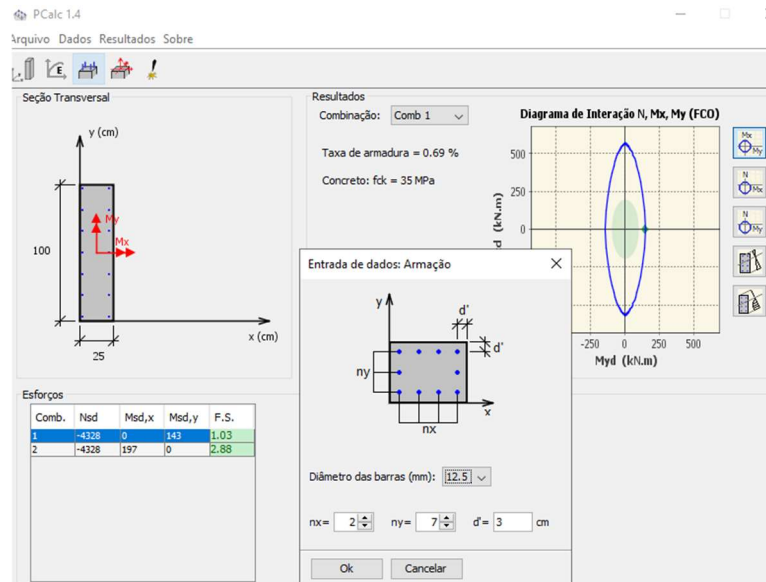
Figura 29 – Esforços do pilar 62 no TQS.

Concreto		Lista de Carregamentos					
Area total.....	2500.0 cm <sup>2</sup>	Caso	Sistema	Fz tf	Mx tfm	My tfm	Sd/Rd
Area por elemento.....	6.250 cm <sup>2</sup>	1	Central	432.84	14.37	0.00	1.00 OK
Número de elementos.....	400	2	Central	432.84	-14.37	0.00	1.00 OK
f <sub>ck</sub> .....	35 MPa	3	Central	432.84	0.00	19.48	0.81 OK
Gama <sub>c</sub> .....	1.40	4	Central	432.84	0.00	-19.48	0.81 OK
Aço		5	Central	421.73	4.28	-2.08	0.78 OK
Area total.....	17.2 cm <sup>2</sup>	6	Central	421.92	+4.20	0.39	0.78 OK
Número de elementos.....	14	7	Central	432.84	10.16	-13.77	0.92 OK
f <sub>yk</sub> .....	500 MPa	8	Central	432.84	-10.16	13.77	0.92 OK
Tipo de aço.....	A	9	Central	410.61	4.24	-2.42	0.76 OK
Gama <sub>s</sub> .....	1.15	10	Central	412.18	-5.92	0.39	0.80 OK
Módulo de elasticidade.....	210000. MPa	11	Central	421.53	2.19	+2.36	0.74 OK
Resultado do cálculo		12	Central	424.72	3.91	1.44	0.78 OK
Dimensionamento.....	OK	13	Central	421.92	-7.03	-1.80	0.83 OK
Carregamento de As máximo ....	2	14	Central	432.84	10.16	13.77	0.92 OK
Força normal .....	432.84 tf	15	Central	430.38	-1.28	1.77	0.74 OK
Momento Mx .....	-14.37 tfm	16	Central	393.33	4.07	-2.48	0.73 OK
Momento My .....	0.00 tfm	17	Central	393.33	-1.67	0.08	0.69 OK
As existente .....	17.18 cm <sup>2</sup>	18	Central	411.53	-0.01	-2.39	0.70 OK
As necessário .....	16.54 cm <sup>2</sup>	19	Central	411.53	5.19	-2.39	0.78 OK
		20	Central	411.53	2.97	0.86	0.74 OK
		21	Central	412.18	-9.37	-1.44	0.86 OK
		22	Central	424.72	-0.64	1.44	0.72 OK
		23	Central	402.48	3.83	-2.06	0.74 OK
		24	Central	404.26	-5.15	0.37	0.77 OK
		25	Central	413.40	1.91	0.88	0.72 OK
		26	Central	413.80	6.00	-1.44	0.80 OK
		27	Central	422.46	3.81	1.75	0.77 OK
		28	Central	422.46	-0.51	1.75	0.71 OK
		29	Central	385.41	3.67	-2.12	0.71 OK
		30	Central	385.41	-0.90	0.06	0.66 OK
		31	Central	403.60	-0.26	-2.03	0.68 OK
		32	Central	403.60	6.31	-2.03	0.79 OK
		33	Central	403.60	3.73	0.84	0.74 OK
		34	Central	404.26	+8.31	-1.69	0.83 OK
		35	Central	432.84	-10.16	-13.77	0.92 OK

(Fonte: AUTOR, 2023)

Com os valores obtidos através do *software* percebe-se que o pior caso seria a combinação 2 onde possui uma força de cálculo de 4328 kN e um momento atuante de 143 kN.m. A partir disso foi colocado os parâmetros no Pcalc conforme a Figura 30.

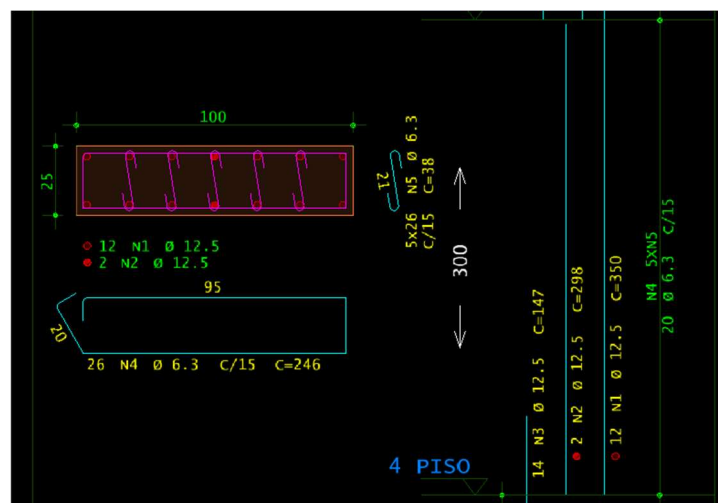
Figura 30 – Verificação do pilar 62 no Pcalc.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Com isso foi confirmado através da verificação do Pcalc que a armadura dimensionada pelo TQS está de acordo, 14 barras de 12,5 mm que juntas dão uma armadura total de 17,18 cm<sup>2</sup>. Na Figura 31 tem-se o detalhamento do Pilar escolhido.

Figura 31 – Detalhamento do pilar 62 no TQS.

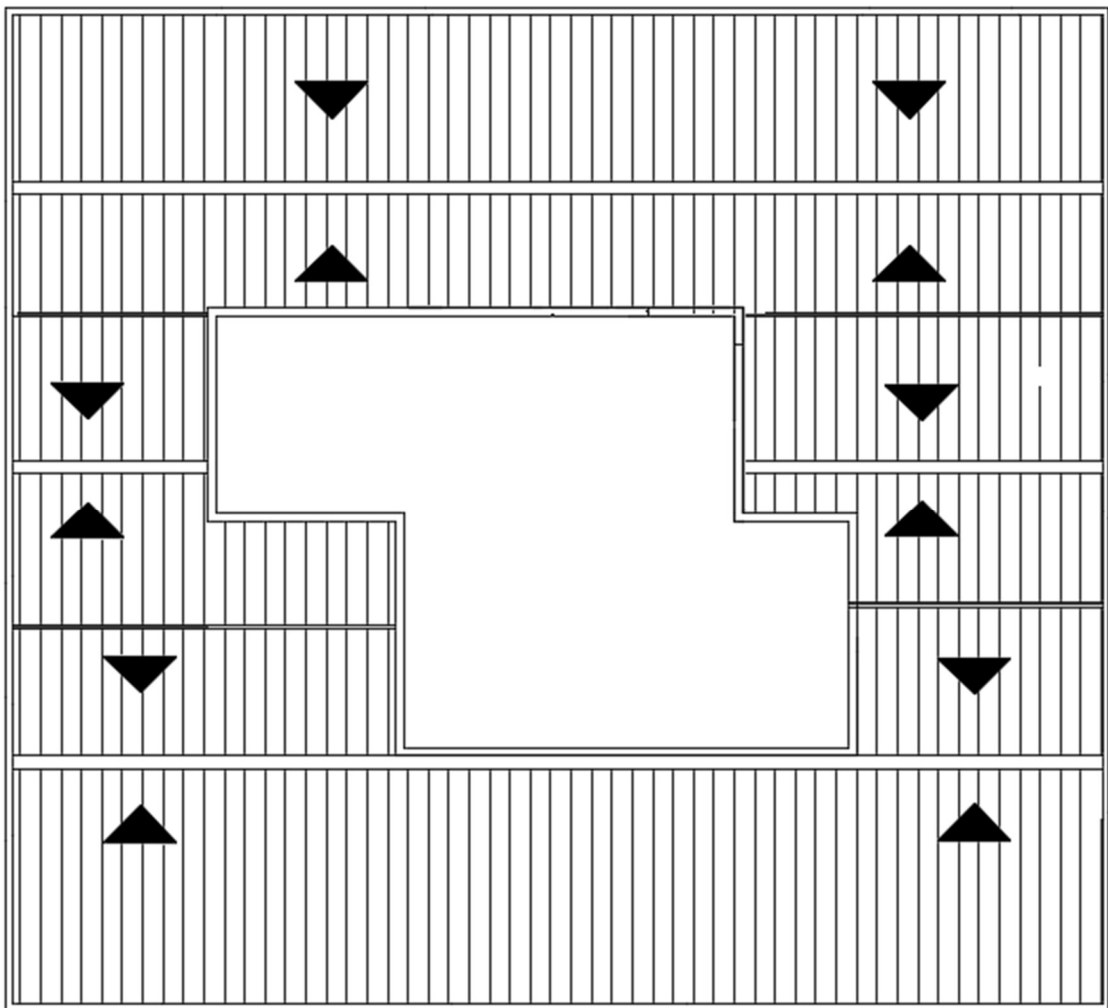


(Fonte: AUTOR, 2023)

## 6.4 COBERTURA METÁLICA

O telhado da cobertura será escondido em 1 metro de platibanda constituída de tijolo cerâmico com 15 cm de espessura, para isso ele foi dividido em 6 seções com 3 calhas centrais de 40 cm entre elas, a seguir tem-se na Figura 32 a planta da cobertura para o seu desenvolvimento:

Figura 32 – Planta baixa da cobertura metálica.


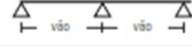



(Fonte: AUTOR, 2023)

### 6.4.1 dimensionamento

Para o dimensionamento da cobertura será escolhido a telha de acordo com as informações do fabricante disponíveis no quadro 22.

Quadro 22 – Sobrecargas da Telha trapezoidal 40.

Sobrecargas admissíveis (Kgf/m <sup>2</sup> )										
Sobrecargas em função da flecha, número de apoios, vão e espessura da chapa		2 apoios 			3 apoios 			4 apoios 		
		Espessuras (mm)			Espessuras (mm)			Espessuras (mm)		
Vão (m)		0,43	0,50	0,65	0,43	0,50	0,65	0,43	0,50	0,65
<b>COBERTURAS</b> <b>Flecha L/120</b>	1,40	238	281	373	238	281	373	299	353	468
	1,60	181	215	284	181	215	284	228	270	357
	1,80	143	169	224	143	169	224	179	212	280
	2,00	115	135	179	115	135	179	144	171	227
	2,20	94	111	147	94	111	147	119	140	185
	2,40	78	93	123	78	93	123	99	117	155
	2,60	67	78	104	67	78	104	84	99	131
	2,80	57	67	88	57	67	88	72	84	113
	3,00	49	58	76	49	58	76	62	74	97
	3,20	40	47	63	42	50	67	54	64	84
3,40	32	38	51	37	44	58	47	56	75	

(Fonte: Eternit, 2008)

Primeiramente foi obtido a pressão dinâmica e as forças segundo as equações a seguir:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (14)$$

$$q = 0,613 \cdot V_k \quad (15)$$

$$F = C \cdot q \cdot A \quad (16)$$

Onde:

$V_k$  é a velocidade característica do vento;

$V_0$  é a velocidade básica do vento e vale 45 m/s;

$S_1$  é o fator topográfico e vale 1 por ser um terreno plano;

$S_2$  é o fator de rugosidade do terreno e vale 0,94 considerando a classe A e categoria V;

$S_3$  é o fator probabilísticos e vale 0,88 por ser considerado telhas;

$q$  é a pressão dinâmica do vento;

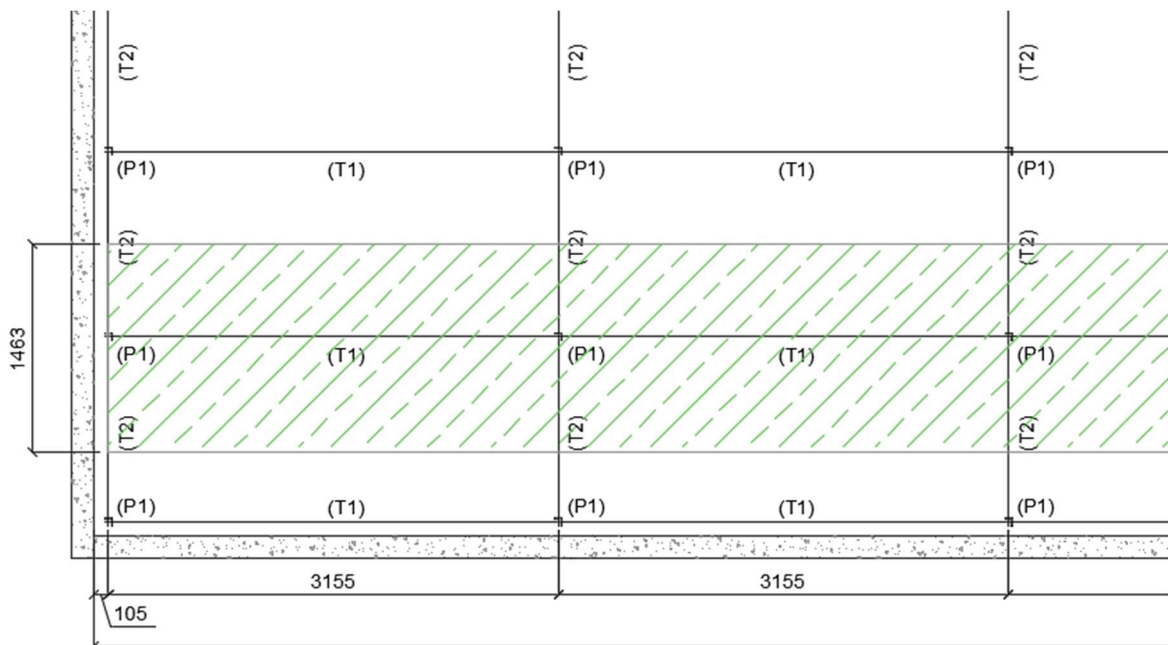
$C$  é o coeficiente de pressão e vale 2,0 considerando o pior caso.

O que resulta numa pressão dinâmica de  $q = 0,613.45.1.0,94.0,88 = 85 \text{ kgf/m}^2$  e uma pressão do vento de  $170 \text{ kgf/m}^2$ . Com base no Quadro 22 isso fica definido que a telha adotada será a tp-40 com espessura de 0,43 mm.

Para o dimensionamento dos perfis será repetido o mesmo processo, porém o  $S_3$  será igual a 1 por não ser mais elemento de vedação e sim elemento estrutural da edificação. Com isso obteve-se um  $q = 0,613.45.1.0,94.1 = 1,10 \text{ kN/m}^2$ .

A partir disso foi considerado o pior caso como mostrado na Figura 33:

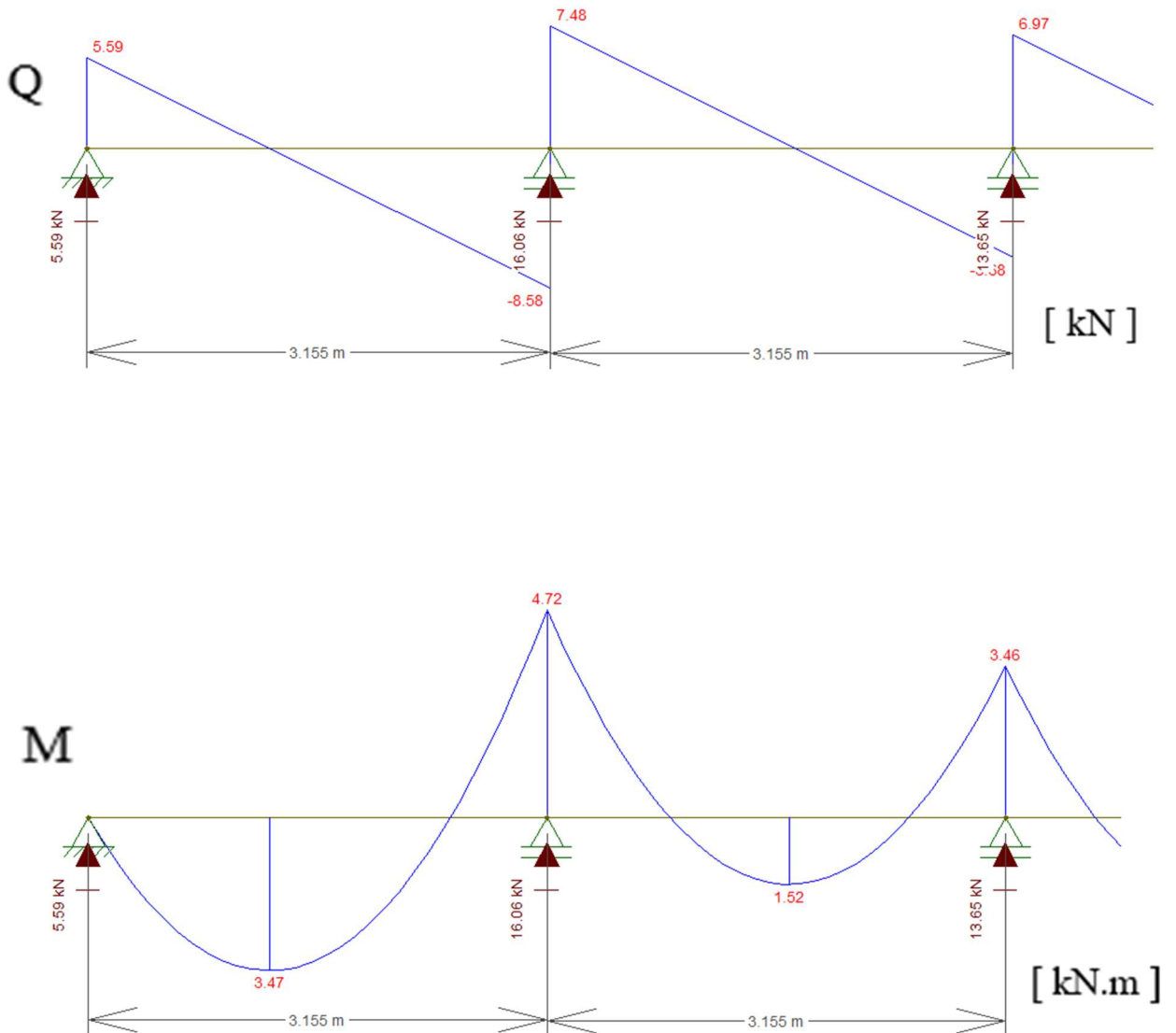
Figura 33 – Área de intervenção das terças.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Como pode ser observado tem-se uma área de influência de 1,46 metros o que resulta em uma carga sobre o perfil T1 de  $F_d = 1,4 \cdot 1,10 \cdot 2 \cdot 1,46 = 4,5 \text{ kN/m}$ . A partir deste valor foi utilizado o *software* Ftool para obter o diagrama de momentos conforme a Figura 34.

Figura 34 – Diagrama de cortante e momentos fletor das terças.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Com o valor do momento de 472 kN.cm e cortante de 8,58 kN foi utilizado o *software* DimPerfil para estimar o perfil que será constituído as terças conforme na Figura 35.

Figura 35 – Cálculo das terças com o DimPerfil.

DimPerfil 4.0 - Dimensionamento de Perfis de Aço Formados a Frio

File Help

Escolha do Perfil Cálculo dos Esforços

Dimensões do perfil [cm]

Propriedades Geométricas a serem calculadas

Seção Bruta  
 Seção Efetiva NBR 14762/2010

Tensão de trabalho -  $\sigma$ : 25

Calculo das Propriedades da Seção

$bf = 6$ cm	$bw = 15$ cm	$D = 2$ cm
$\alpha = 0^\circ$	$\beta = 90^\circ$	$A = 5,9369$ cm <sup>2</sup>
$I_x = 207,21147$ cm <sup>4</sup>	$I_y = 30,04974$ cm <sup>4</sup>	$I_{xy} = 0$ cm <sup>4</sup>
$I_t = 0,07903$ cm <sup>4</sup>	$x_g = -1,92538$ cm	$y_g = -7,5$ cm
$x_0 = -4,64486$ cm	$y_0 = 0$ cm	$r_0 = 7,8446$ cm
$r_x = 5,90777$ cm	$r_y = 2,24976$ cm	$W_x = 27,628$ cm <sup>3</sup>
$W_y = 7,37486$ cm <sup>3</sup>	$I_w = 1440,46966$ cm <sup>6</sup>	$r_m = 0,3$ cm
$\phi_p = 0^\circ$	$m = 4,66054$ kg/m	

Propriedades Geométrica da Seção

Escolha um perfil:

**Ue**

L	125 x 50 x 17 x 2,25
U	125 x 50 x 17 x 2,65
Ue	125 x 50 x 17 x 3,00
Z90	125 x 50 x 17 x 3,35
Z45	125 x 50 x 20 x 3,75
Cr	150 x 60 x 20 x 2,00
Ue - revestido	150 x 60 x 20 x 2,25
Cr - revestido	150 x 60 x 20 x 2,65
	150 x 60 x 20 x 3,00
	150 x 60 x 20 x 3,35
	150 x 60 x 20 x 3,75
	150 x 60 x 20 x 4,25
	150 x 60 x 20 x 4,75
	200 x 75 x 20 x 2,00

OK

DimPerfil 4.0 - Dimensionamento de Perfis de Aço Formados a Frio

File Help

Escolha do Perfil Cálculo dos Esforços

Dimensões (cm)

$\alpha = 0$   
 $bw = 15$   
 $bf = 6$   
 $D = 2$   
 $t = 0,2$   
 $\beta = 90$

Comprimentos (cm)

Lx: 316  
Ly: Lx  
Lt: Ly

Esforços Solicitantes

Nd: kN  
Mxd: 472 kN.cm  
Myd: kN.cm  
Vd: 8,6 kN

Coefficiente de Momento

Em X Cb: 2,08  
Em Y Cb: 1

Resultados

**Resultado:**  
**Flexão Composta**  
**0,83 (se <=1, ok!)**

NBR 14762:2001

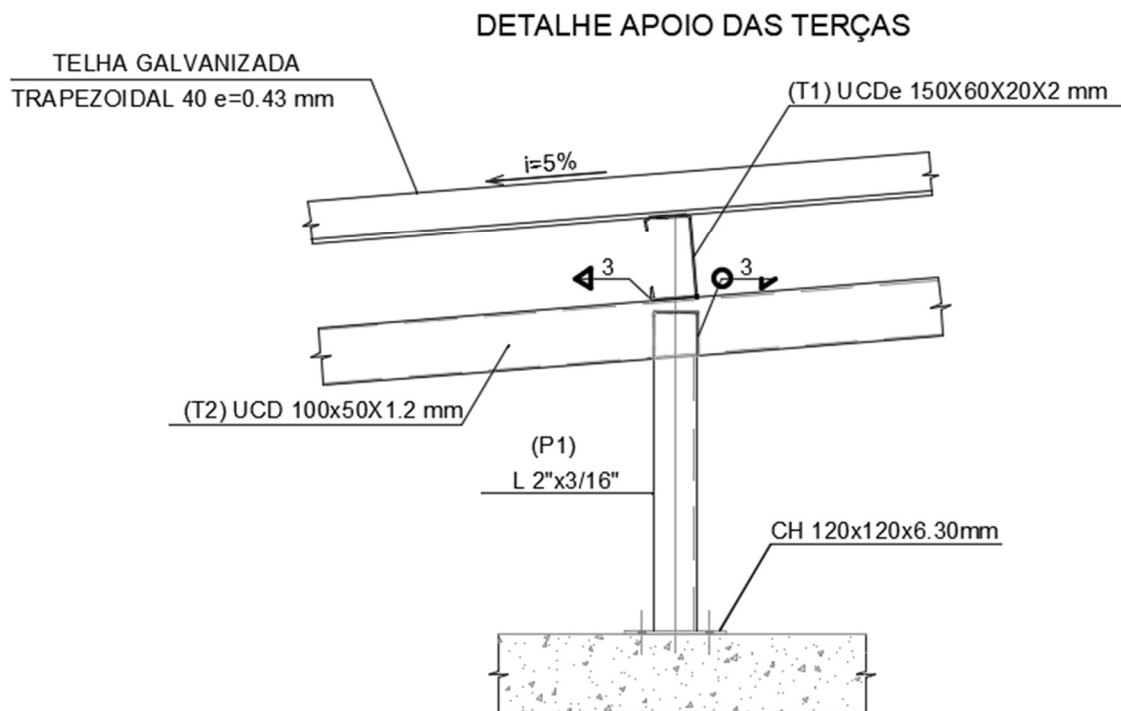
(Fonte: Autor, 2023)

Com isso fica evidente que este perfil está sendo solicitado com 83% da sua capacidade, sendo o mais leve a passar do ELU.

### 6.4.2 Detalhamento

A telha trapezoidal será fixada nas terças com parafusos de acordo com a indicação do fabricante. Os perfis UCDe escolhido no dimensionamento serão soldados com solda filete de 3mm em todo o perímetro nos perfis de travamento, e estes por sua vez estarão soldados nas cantoneiras que serão os pilares auxiliares da cobertura conforme a Figura 36.

Figura 36 – Detalhe de fixação entre os perfis.

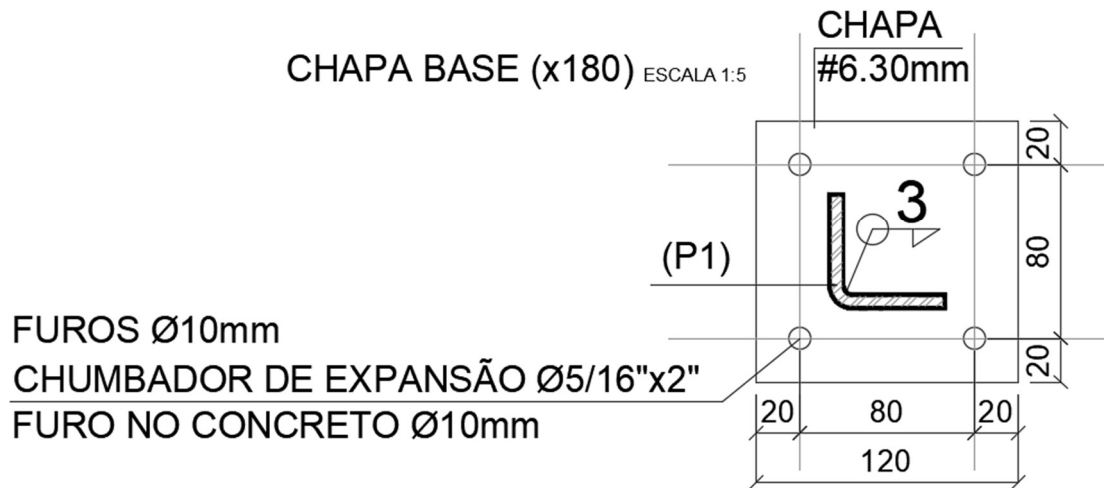


(Fonte: AUTOR, 2023)

As cantoneiras serão soldadas com solda filete de 3 mm na chapa base de 6,3 mm de espessuras e está por sua vez será fixada na laje da cobertura por 4 chumbadores de 2 polegadas conforme a Figura 37.



Figura 37 – Detalhe de fixação do pilar metálico na cobertura.



(Fonte: AUTOR, 2023)

Com isso toda a cobertura pode ser detalhada conforme no apêndice H e o quantitativo de material desta obra está no Quadro 23.

Quadro 23 – Quantitativo de material para cobertura metálica.

RESUMO DE MATERIAL				
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT	UN	PESO (kgf)
T1	UCDe 150X60X20X2 mm	444	m	2060
T2	UCD 100x50x1,2 mm	166	m	312
PILARES	L 2"x3/16"	65	m	234
CHAPAS	CHAPA 120X120X6,3mm	2.6	m <sup>2</sup>	128
TOTAL				2734

CHUMBADOR DE EXPANSÃO Ø5/16"x2" = 720 un

TELHA GALVANIZADA TRAPEZOIDAL 40 e=0.43 mm = 465 m<sup>2</sup>

(Fonte: AUTOR, 2023)

## 7 CONCLUSÃO

Fica evidente a complexidade de projetar e desenvolver um edifício desta magnitude, onde ele apresenta diversos desafios como vigas de transição, pilares com mudanças de eixos, lajes com grandes cargas lineares. Logo, cabe ao engenheiro verificar e procurar conciliar o projeto arquitetônico com o estrutural, levando em conta a sua execução e preço final.

Durante o processo, foi verificado que as duas soluções apresentadas - uma baseada apenas em um pré-dimensionamento empírico das estruturas e outra fundamentada em análises dos dados das várias estruturas que compõem o empreendimento, visando reduzir ao máximo as seções necessárias - deixam claro que um projeto deve ser revisado inúmeras vezes para buscar o resultado mais adequado e atender às necessidades dos futuros proprietários.

Com base em todos os dados analisados disponibilizados pelo TQS, constatou-se que o modelo de cálculo IV está muito condizente com os métodos analisados de forma manual, pois os resultados apresentaram uma variação mínima, o que garante que os dois podem ser aplicados para o dimensionamento de estruturas deste porte. Com isso fica claro a importância do *software* para dar mais agilidade e facilidade para o projetista estrutural.

Caso o cliente solicitasse mais opções, seria interessante processar a edificação baseando-se em um modelo com lajes nervuradas, onde elas por si só vencem vão maiores e suportam mais carregamentos. Porém, esta análise demandaria um estudo muito mais aprofundado, pois seria preciso rearranjar todos os elementos estruturais para uma melhor concepção.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria tentar uma concepção estrutural com fck 30 em toda a edificação ou a partir do pavimento tipo, além de reduzir os vãos de vigas, pilares e espessuras das lajes dos pavimentos mais abaixo da edificação que não foram otimizados na solução final.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

\_\_\_\_\_. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 14762/2010: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

\_\_\_\_\_. NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. NBR 8681: ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

CAMPOS FILHO, Américo

\_\_\_\_\_. **Projeto de Lajes Maciças de Concreto Armado.** Apostila da disciplina de Estruturas de Concreto Armado II da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

\_\_\_\_\_. **Projeto de Pilares de Concreto Armado.** Apostila da disciplina de Estruturas de Concreto Armado II da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

LEITE, Clairton da Silva. **AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE AÇO E CONCRETO: MATERIAIS CONVENCIONAIS X MATERIAIS LEVES AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE AÇO E CONCRETO: MATERIAIS CONVENCIONAIS X MATERIAIS LEVES.** 2022. Trabalho de Diplomação (Diplomação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S.l.], 2022.

TEIXEIRA, Renata Moreira. **ESTUDO DE DIFERENTES CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS PARA UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR.** 2022. Trabalho de Diplomação (Diplomação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S.l.], 2022.

MARCHETTI, Thiago. **Workflow para desenvolvimento de projeto estrutural.** AltoQi, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360054966654-Workflow-para-desenvolvimento-do-projeto-estrutural> . Acesso em 16 de abril de 2023.

BESSA, Virgínia Maria Rosito d'Ávila. **Estruturas de concreto armado I.** Apostila da disciplina de Estruturas de Concreto Armado I da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

## **APÊNDICE A – Lista de combinações e ações**

-----  
 ----  
 Listagem de casos e combinações padrão  
 Edifício: PILARES NOVOS  
 04/05/2023 23:12:20  
 -----  
 ----

Casos de carregamento simples  
 -----

Sufixo "\_R" Carga acidental reduzida  
 Sufixo "\_V" Vigas de transição c/inércia normal  
 Sufixo "\_E" Engastado, com caso correspondente articulado

Num	Prefixo	Título
1	TODAS	Todas permanentes e acidentais dos pavimentos
2	PP	Peso Próprio
3	PERM	Cargas permanentes
4	ACID	Cargas acidentais
5	VENT1	Vento (1) 90°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°
9	TODAS_V	Todas permanentes e acidentais dos pavimentos - VTN
10	PP_V	Peso Próprio - VTN
11	PERM_V	Cargas permanentes - VTN
12	ACID_V	Cargas acidentais - VTN

Dados por caso de carregamento  
 -----

Num	Número do caso, referenciado na listagem de combinações
Prefixo	Usado para montar os títulos das combinações
Tipo	Tipo de carga quanto à sua permanência
	TOD Cargas permanentes e variáveis lançadas nas grelhas
	PER Permanentes
	VAR Variáveis normais
	VARB Variáveis excepcionais 1
	VARC Variáveis excepcionais 2
VTN	Caso com vigas de transição com inércia normal. Nos outros casos, as vigas de transição são enrijecidas conforme critérios.
ACR	Caso de carga acidental reduzida nos pisos
GAMAF	Ponderador de ações desfavorável
GAMAFD	Ponderador de ações favorável
PSI0	Fator de redução de combinação para o Estado Limite Último
PSI1	Fator de redução de combin frequente p/Estado Limite de Serviço
PSI2	Fator de redução de combin quase permanente p/Estado Limite de Serviço
FOR	Número do caso correspondente na planta de formas/grelha
USU	Marcado se o caso foi lançado pelo usuário
ART	Marcado se barras articuladas

Num	Prefixo	Tipo	VTN	ACR	GAMAF	GAMAFD	PSI0	PSI1	PSI2	FOR	USU	ART
1	TODAS	TOD			1.40					1		
2	PP	PER			1.40					2		
3	PERM	PER			1.40					3		
4	ACID	VAR			1.40		0.80	0.70	0.60	4		
5	VENT1	VAR	X		1.40		0.60	0.30	0.00			
6	VENT2	VAR	X		1.40		0.60	0.30	0.00			
7	VENT3	VAR	X		1.40		0.60	0.30	0.00			

8	VENT4	VAR	X	1.40	0.60	0.30	0.00	
9	TODAS_V	TOD	X	1.40				1
10	PP_V	PER	X	1.40				2
11	PERM_V	PER	X	1.40				3
12	ACID_V	VAR	X	1.40	0.80	0.70	0.60	4

## Casos de vento

-----

V0      Velocidade básica, m/s  
S1      Fator do terreno  
S2      Categoria de rugosidade  
I - Superfícies lisas de grandes dimensões  
II - Terrenos abertos com poucos obstáculos  
III- Terrenos planos ou ondulados, com obstáculos  
IV - Terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados  
V - Terrenos com obstáculos numerosos, grandes, altos, pouco espaçados  
S3      Fator estatístico  
1.10 - Edificações onde se exige maior segurança  
1.00 - Edificações em geral  
0.95 - Edificações com baixo fator de ocupação  
0.88 - Vedações  
0.83 - Edificações temporárias  
CA      Coeficiente de arrasto  
ANG     Ângulo de incidência, graus  
COTI    Cota inicial, m

Num	Prefixo	V0	S1	S2	S3	CA	ANG	COTI
5	VENT1	45	1.00	V	1.00	1.24	90.0	
6	VENT2	45	1.00	V	1.00	1.24	270.0	
7	VENT3	45	1.00	V	1.00	1.17	0.0	
8	VENT4	45	1.00	V	1.00	1.17	180.0	

## Grupos de combinação [C:\TQS\PILARES NOVOS\COMBPOR.DAT]

-----

Grupo ELU1      "Verificações de estado limite último - Vigas e lajes"  
PERMACID      "Permanentes, Acidentais"  
ACIDCOMB      "Todas as acidentais combinadas"

Grupo ELU2      "Verificações de estado limite último - Pilares e fundações"  
PERMACID      "Permanentes, Acidentais"  
ACIDCOMB      "Todas as acidentais combinadas"

Grupo FOGO      "Verificações em situação de incêndio"  
PERMVAR      "Todas permanentes e variáveis ponderadas"

Grupo ELS      "Verificações de estado limite de serviço"  
CFREQ      "Combinações frequentes"  
CQPERM      "Combinações quase permanentes"

Grupo COMBFLU      "Cálculo de fluência (método geral)"  
COMBFLU      "Combinação para cálculo da fluência (método geral)"

Grupo LAJEPRO      "Combinações p/ flechas em lajes protendidas"

## Combinações geradas

-----

Num      Número da combinação  
AC      Marcado se carga acidental reduzida  
VT      Marcado se viga de transição com inércia normal

Título Título gerado pelo sistema

Num	AC	VT	Título
13			ELU1/PERMACID/PP+PERM+ACID
14			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
15			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
16			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
17			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
18			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
19			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
20			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
21			ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
22			FOGO/PERMVAR/PP+PERM+0.6ACID
23			ELS/CFREQ/PP+PERM+0.7ACID
24			ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT1
25			ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT2
26			ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT3
27			ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT4
28			ELS/CQPERM/PP+PERM+0.6ACID
29			COMBFLU/COMBFLU/PP+PERM+0.6ACID
30	X		ELU1/PERMACID/PP_V+PERM_V+ACID_V
31	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
32	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
33	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
34	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
35	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
36	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
37	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
38	X		ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4
39	X		FOGO/PERMVAR/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V
40	X		ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.7ACID_V
41	X		ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT1
42	X		ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT2
43	X		ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT3
44	X		ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT4
45	X		ELS/CQPERM/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V
46	X		COMBFLU/COMBFLU/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V

Observação Importante:

-----  
 Os sistemas TQS trabalham com esforços de análise com valor "Característico". Por isto, todos os multiplicadores das combinações de Estado Limite Último estão divididos pelo GamaF de referência, que vale 1.4. Os esforços de análise são multiplicados por 1.4 no momento do dimensionamento da estrutura.

Matriz de combinações - fatores de ponderação

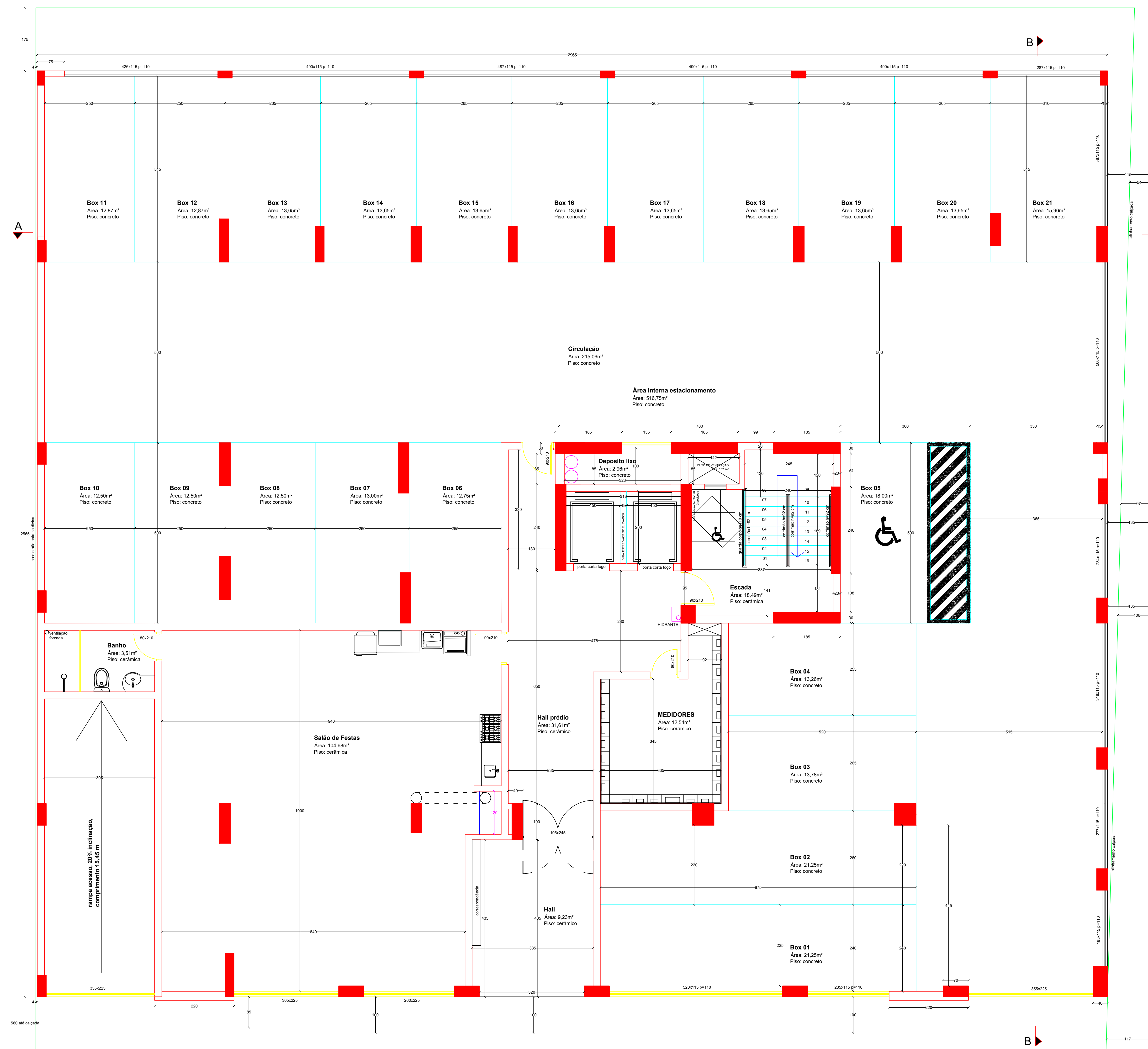
-----  
 As linhas representam combinações  
 As colunas representam casos simples

Caso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13		1.00	1.00	1.00								
14		1.00	1.00	1.00	0.60							
15		1.00	1.00	1.00		0.60						
16		1.00	1.00	1.00			0.60					
17		1.00	1.00	1.00				0.60				
18		1.00	1.00	0.80	1.00							
19		1.00	1.00	0.80		1.00						
20		1.00	1.00	0.80			1.00					
21		1.00	1.00	0.80				1.00				





## **APÊNDICE B – Plantas arquitetônicas**



**Planta Baixa Térreo**  
Área: 760,52m²  
Escala: 1/50

PROJETO E EXECUÇÃO  
VINICIUS FELZMANN

**UFRGS**

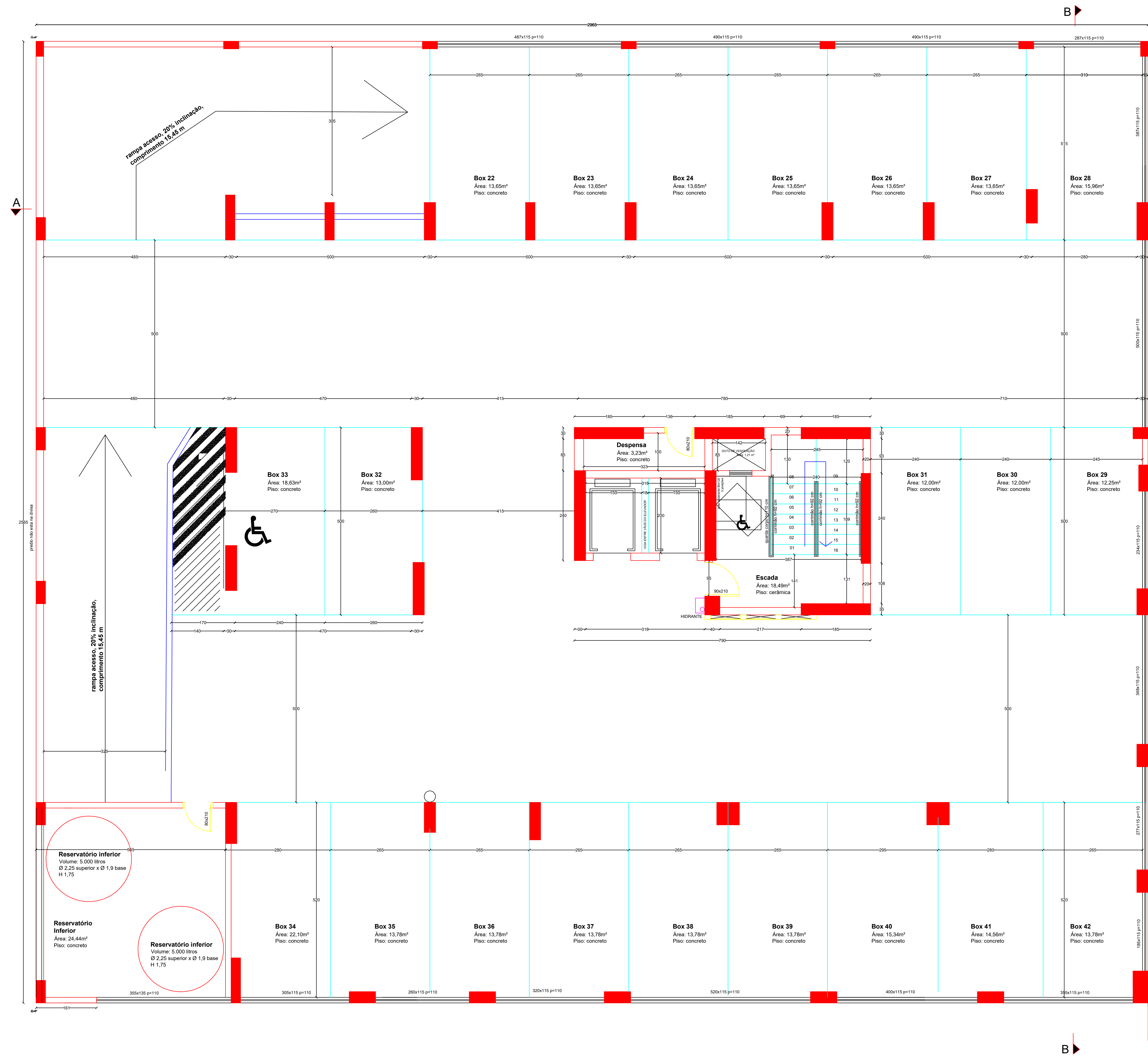
TIPO DE PROJETO: Ed. Residencial  
**PAVIMENTO TÉRREO**

PROJETO DE TCC

Data:

2023

Planta Baixa 2º PAVIMENTO



PROJETO E EXECUÇÃO  
VINICIUS FELZMANN

UFRGS

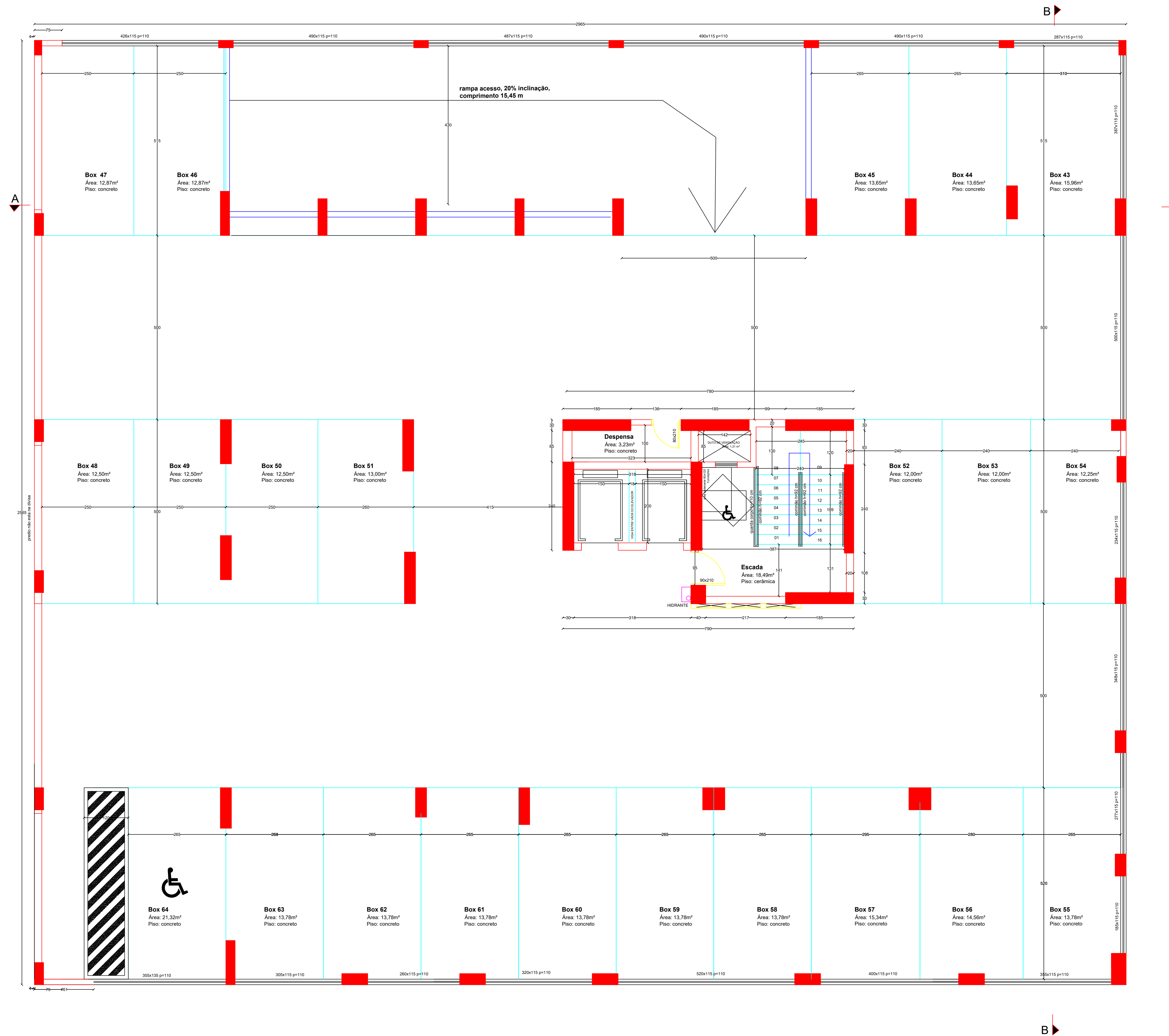
TIPO DE PROJETO: Ed. Residencial  
2º PAVIMENTO GARAGEM

PROJETO DE TCC

Data:

2023

Planta Baixa 3º PAVIMENTO



PROJETO E EXECUÇÃO

VINICIUS FELZMANN

UFRGS

TIPO DE PROJETO: Ed. Residencial  
3º PAVIMENTO GARAGEM

PROJETO DE TCC

Data:

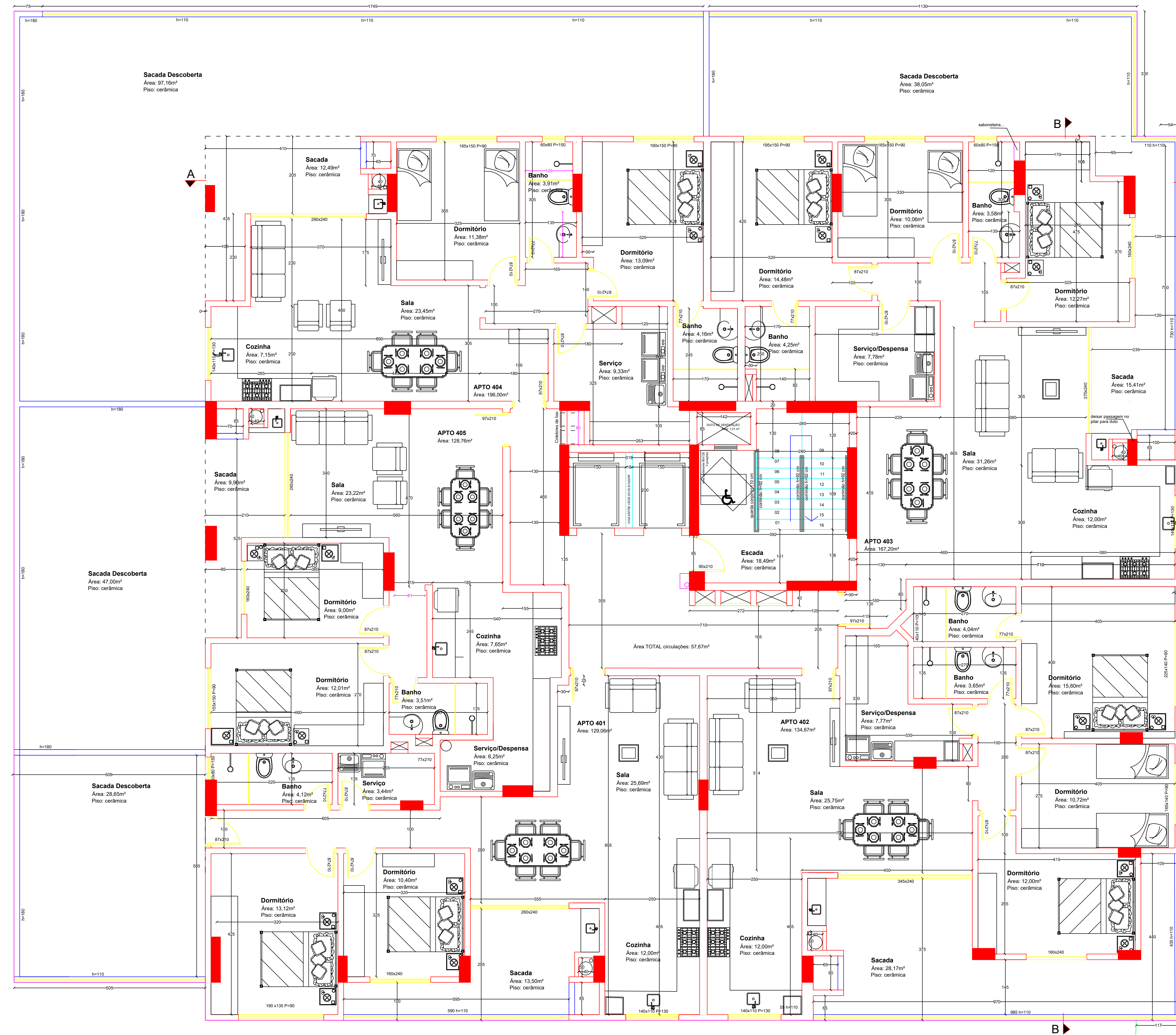
2023



**Planta Baixa 4º Piso**

Área: 799,43m<sup>2</sup>  
Escala: 1/50

**Observação**  
Paredes não coloridas:  
entre apartamentos e ou área de condomínio,  
sempre serão de 20 cm de espessura.  
As demais de 10 cm de espessura.



PROJETO E EXECUÇÃO

**UFRGS**

VINICIUS FELZMANN

TIPO DE PROJETO: Ed. Residencial

**PAVIMENTO DE TRANSIÇÃO**

Data:

PROJETO DE TCC

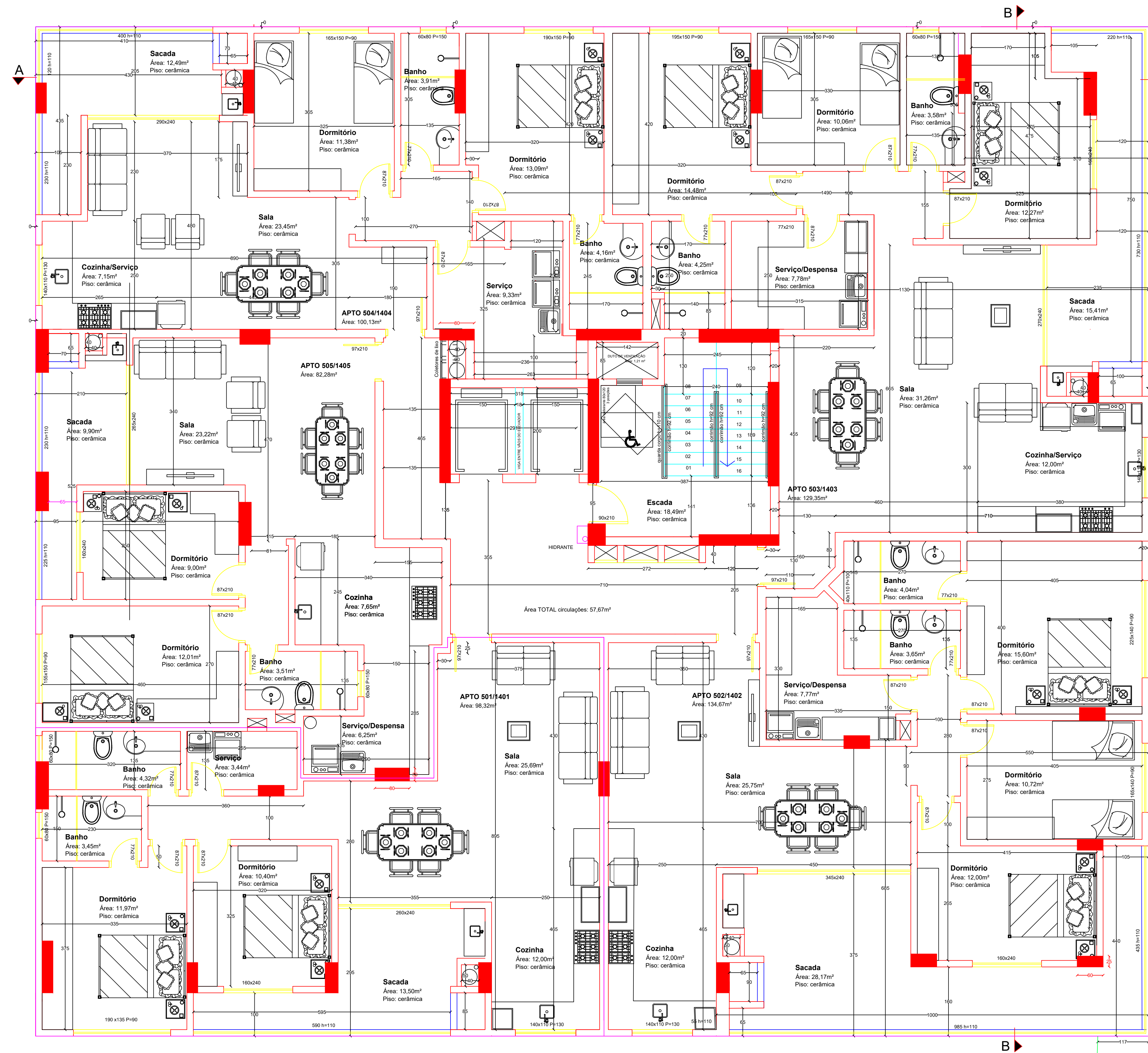
2023



**Planta Baixa 5º ao 14º Piso**

Área: 601 m<sup>2</sup>  
Escala: 1/50

**Observação**  
Paredes não coladas:  
entre apartamentos e na área do condomínio,  
sempre serão de 20 cm de espessura.  
As demais de 15 cm de espessura.



PROJETO E EXECUÇÃO

VINICIUS FELZMANN

**UFRGS**

TIPO DE PROJETO: Ed. Residencial  
**PAVIMENTO TIPO**

PROJETO DE TCC

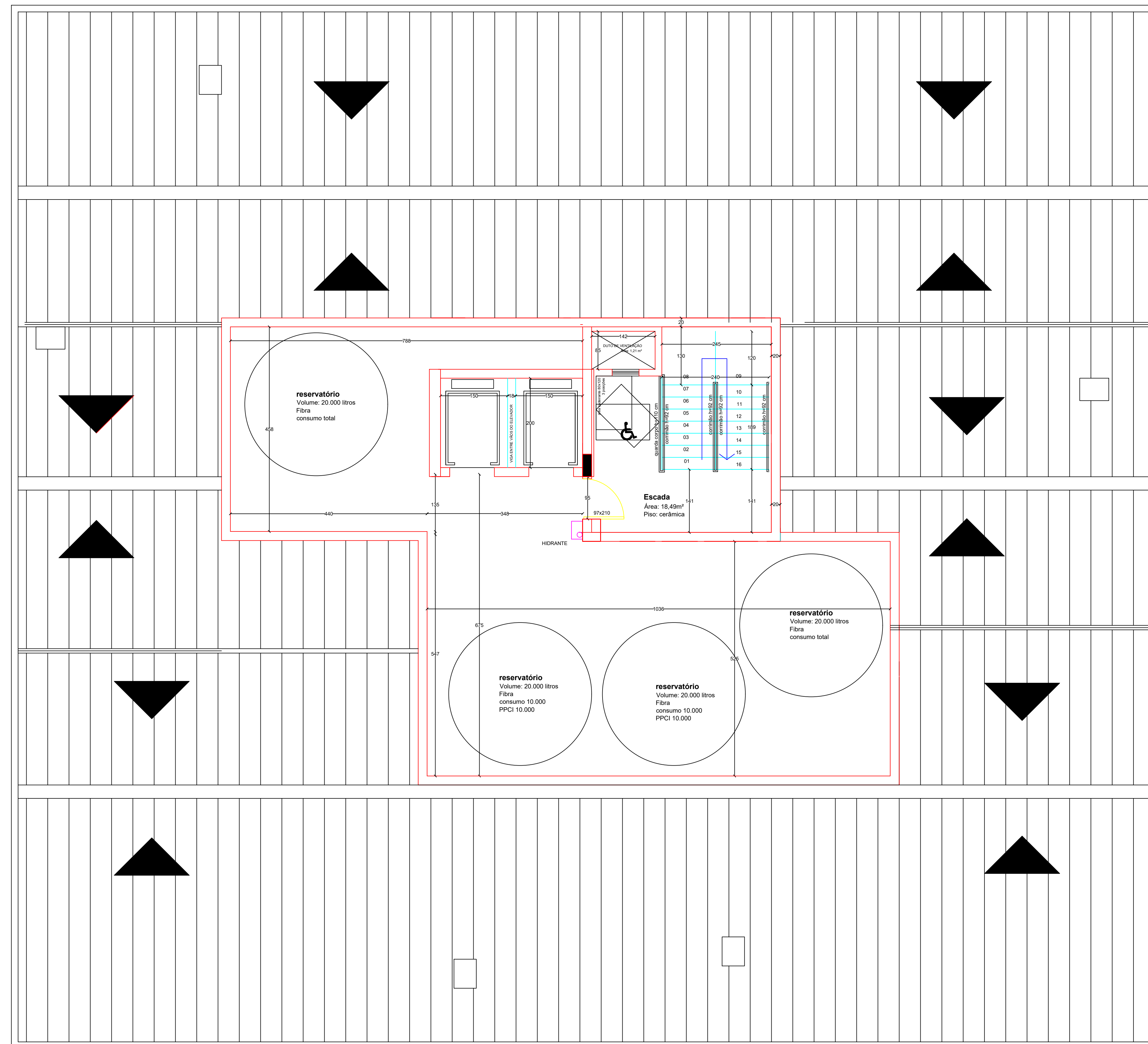
Data:

2023

**Planta Baixa 15º Piso (reservatórios)**

Área: 121,59m<sup>2</sup>  
Escala: 1/50

**Detalhe Reservatório**



PROJETO E EXECUÇÃO

VINICIUS FELZMANN

**UFRGS**

TIPO DE PROJETO: Ed. Residencial

**PAVIMENTO COBERTURA**

PROJETO DE TCC

Data:

**2023**

## **APÊNDICE C – Plantas de formas**



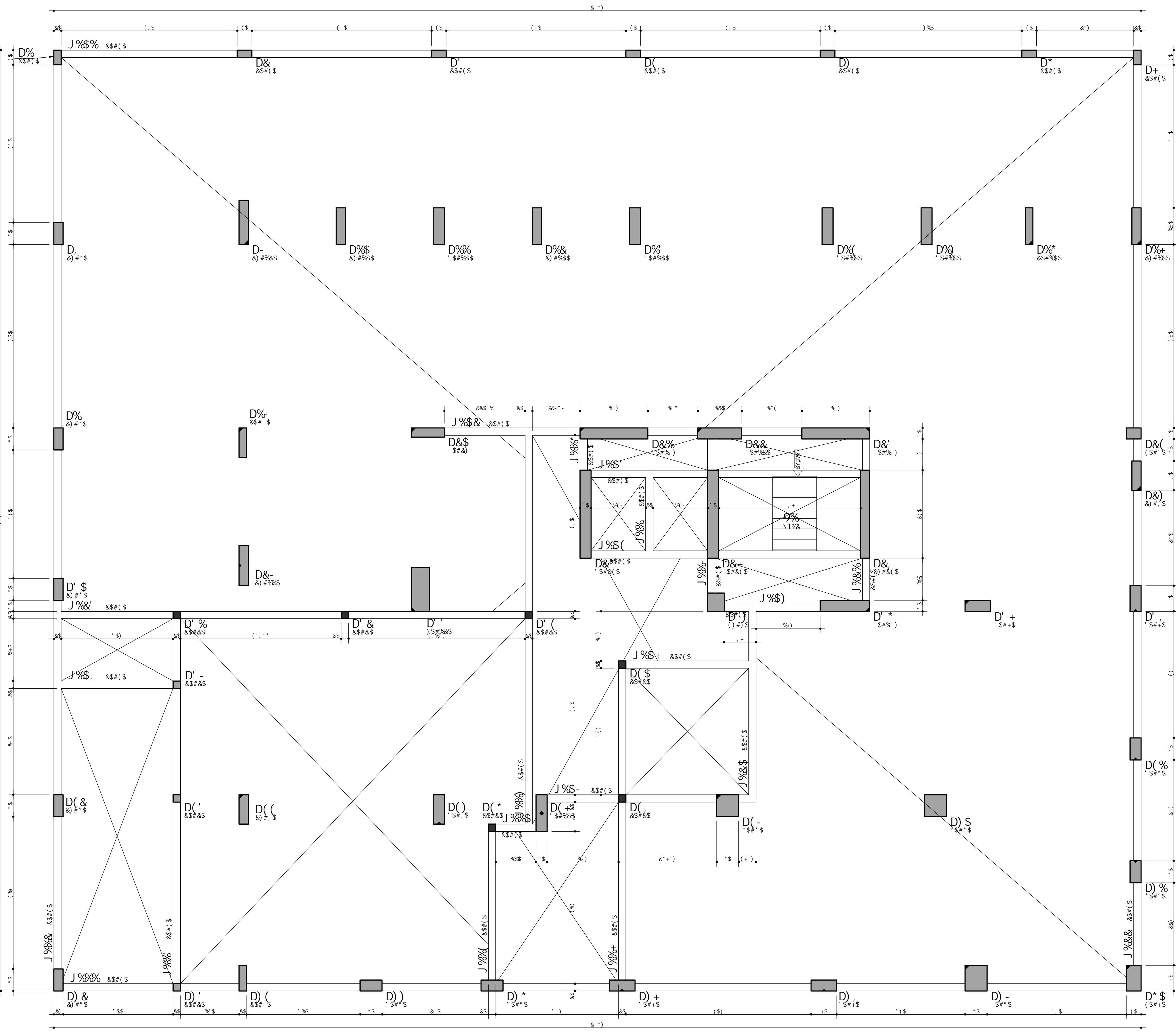
9GHI 8C ! · BÈC· 9L97I H5F

8YgYb\c· dfcXi n] Xc· dcf· j Yfg~c· UWUX..a] WUž· dfc] V] Xc· i gc· WcaYfW] U`  
8YgYb\c· dfcXi n] Xc· dcf· j Yfg~c· UWUX..a] WUž· dfc] V] Xc· i gc· WcaYfW] U`



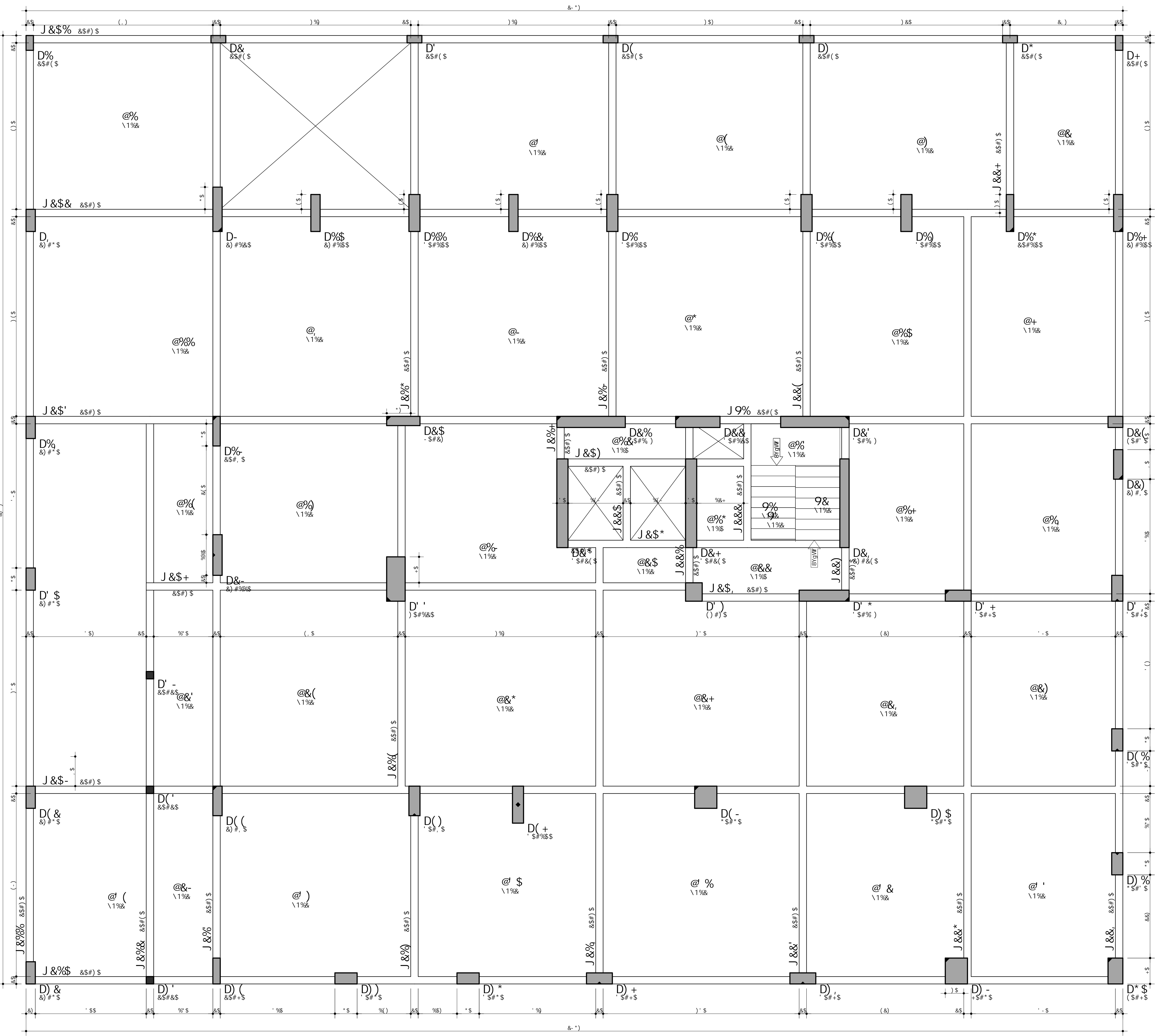
92377940 ZW_1'3_ADU 970_1_3YT_BURBUBHU		\$\$\$% \$\$\$%
UFGRS PROJETO de TCC LOCAÇÃO DOS PILARES FUNDAÇÃO		\$\$\$% \$\$\$%
UFGRS PROJETO de TCC LOCAÇÃO DOS PILARES FUNDAÇÃO		\$\$\$% \$\$\$%

8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U'  
 8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U'



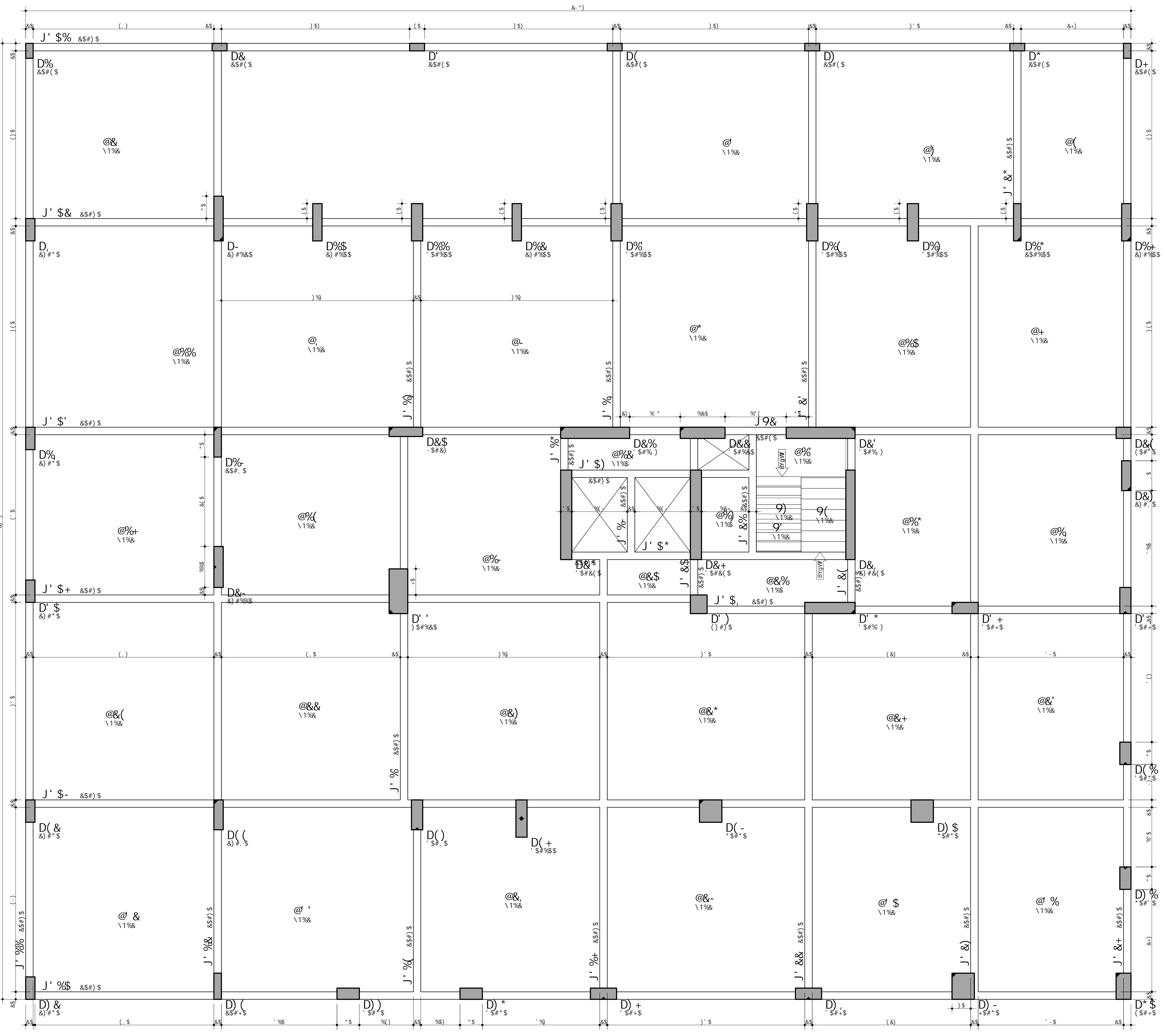
TÍTULO: ADU Nº: 1 DATA: 12/11/2010		Cód. B. C. \$\$\$%
UFRGS projeto de TCC		B. C. \$&
PLANTA DE FORMAS TERREO		B. C. \$\$
ESCALA: 1/50	DATA: 12/11/2010	B. C. \$

8YgYb\c' d'fcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U'  
 8YgYb\c' d'fcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U'



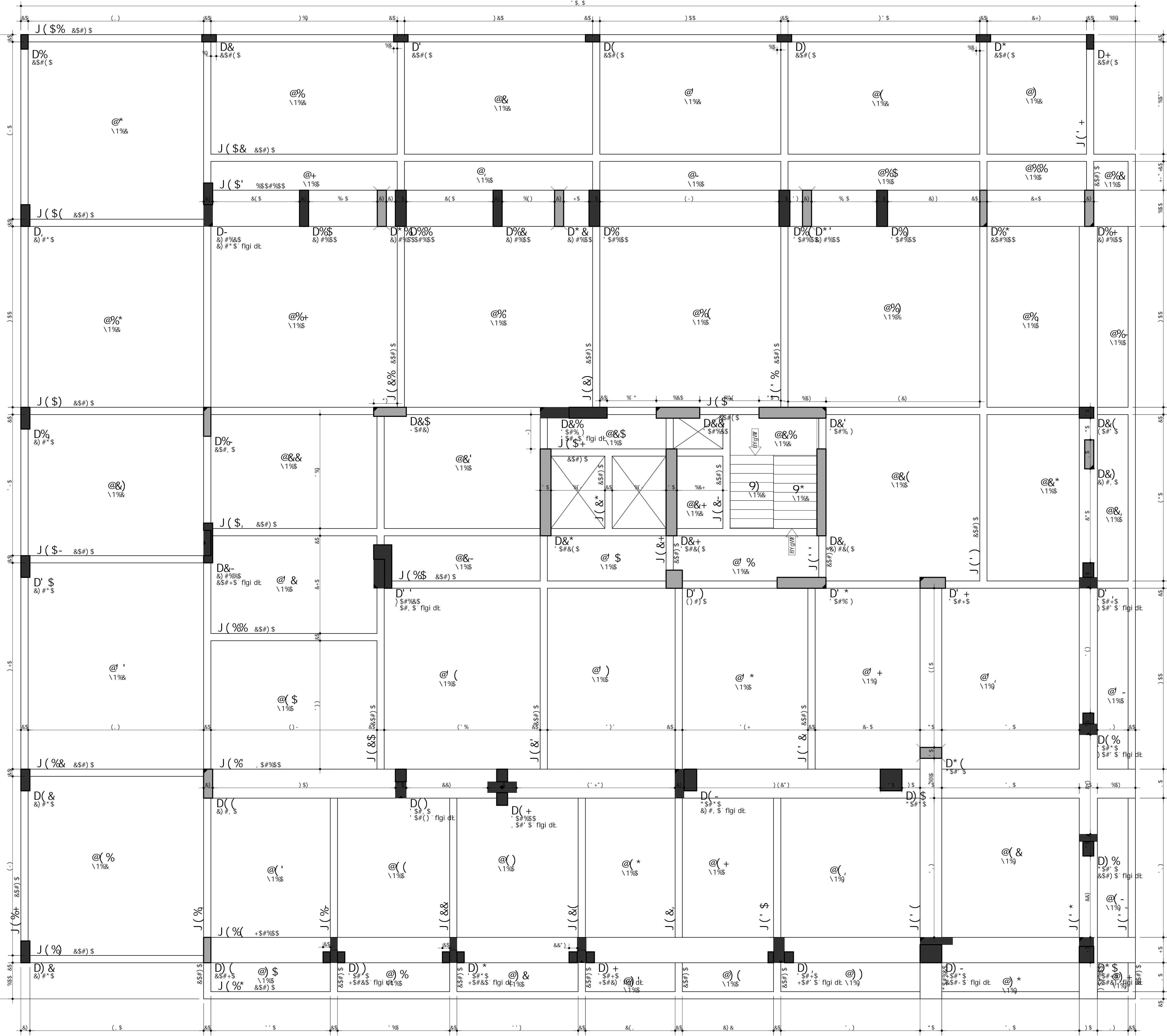
TCC/FRGS ZW. 1.1) ADU 970 T JFF DUBURBU		\$\$\$% \$\$\$%
UFRGS projeto de TCC		\$' \$'
PLANTA DE FORMAS 2 PAVIMENTO		\$ \$
05/05/2024	05/05/2024	05/05/2024

8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WtaYfW] U'  
 8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WtaYfW] U'



TCC/FRANC ZM. 1.1) ADU 9700 1.1111 DUARQUELU		CMF B C \$\$\$\$
UFRGS		BRZ B C
projeto de TCC		\$ (
PLANTA DE FORMAS 3 PAVIMENTO		
CMF S		
CMF B C		\$ \$
BRZ B C		
BRZ B C #S( #SS& ) S	BRZ B C #S( #SS& ) S	BRZ B C #S( #SS& ) S

8YgYb\c' d'fcXi n]Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' d'fc] V]Xc' i gc' WtaYfW] U'  
 8YgYb\c' d'fcXi n]Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' d'fc] V]Xc' i gc' WtaYfW] U'



TÍTULO: PROJETO DE TCC		DATA: 10/05/2024
AUTOR: UFRGS		PROJETO: PLANTA DE FORMAS 4 PAVIMENTO
ESCALA: 1/50		PROJETO: PLANTA DE FORMAS 4 PAVIMENTO
AUTOR: UFRGS		PROJETO: PLANTA DE FORMAS 4 PAVIMENTO
AUTOR: UFRGS		PROJETO: PLANTA DE FORMAS 4 PAVIMENTO

\$\$\$  
 \$)  
 \$



8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfWJ U'

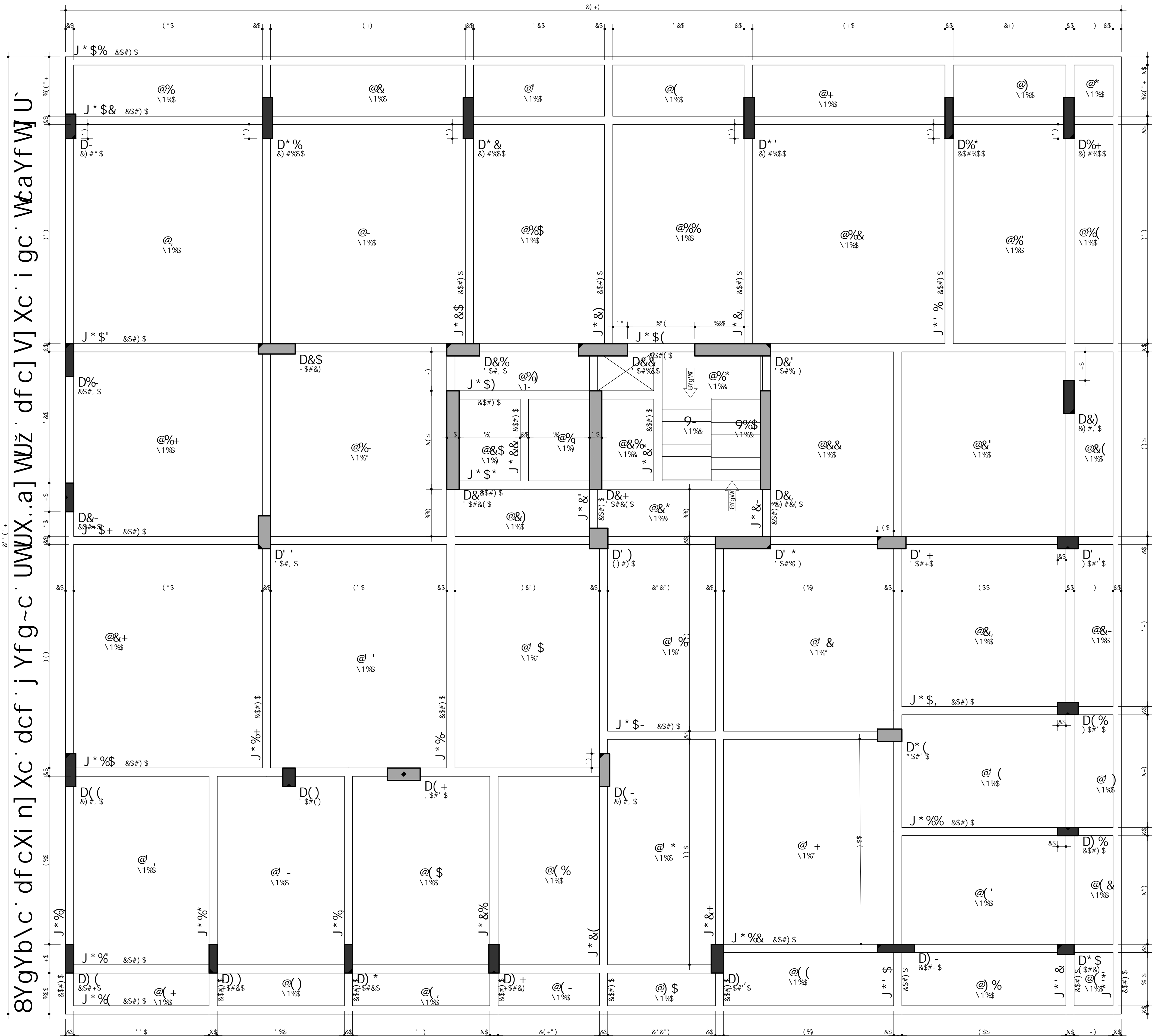
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfWJ U'



TCC/19/04/20		ADM		\$\$\$%	
UFRGS				\$\$\$	
PROJETO DE TCC				\$*	
PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO TIPO				\$	
# 10 (F&S)		# 12 (F&S)		# 14 (F&S)	

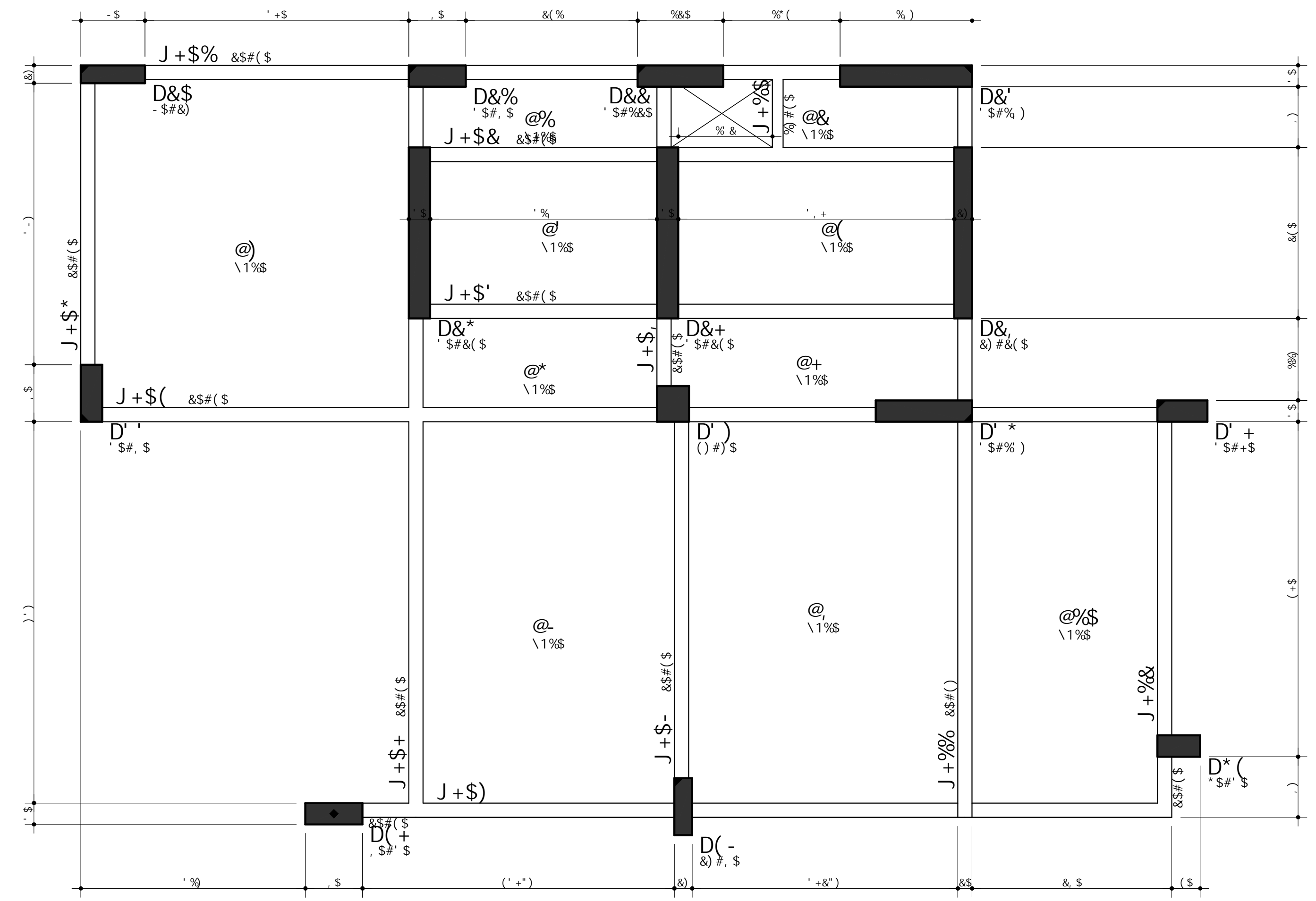
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WtaYfWJ U'

8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WtaYfWJ U'



TÍTULO: ADU 970 T JFF DUABURHU 750-0000		Cód. B. C. <b>\$\$\$%</b>
UFRGS PROJETO DE TCC		B. C. <b>\$+</b>
PLANTA DE FORMAS COBERTURA		B. C. <b>\$\$</b>
ESCALA: 1/50 (F&S&A)	DATA: 14/03/2018	PÁGINA: 10/10

8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf j Yfg-c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WcaYF\W] U'  
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf j Yfg-c' UWUX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' WcaYF\W] U'



TCC/FRGS		CMF B C
ZM. 1.1) ADU		\$\$\$%
970 1 JFF DUABURHU		BRG B C
FRGS		
CMF S		
PROJETO DE TCC		\$,
PLANTA DE FORMAS ATICO		
		FRG B C
		\$\$
FRGS	FRGS	FRGS
FRGS	FRGS	FRGS



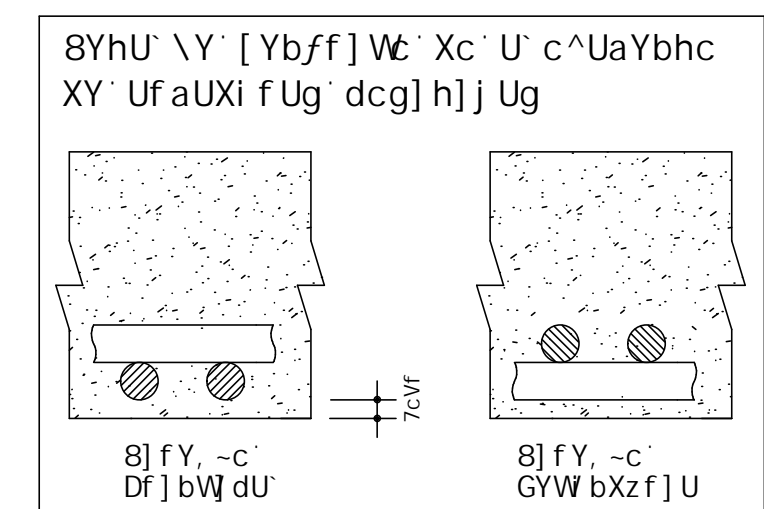
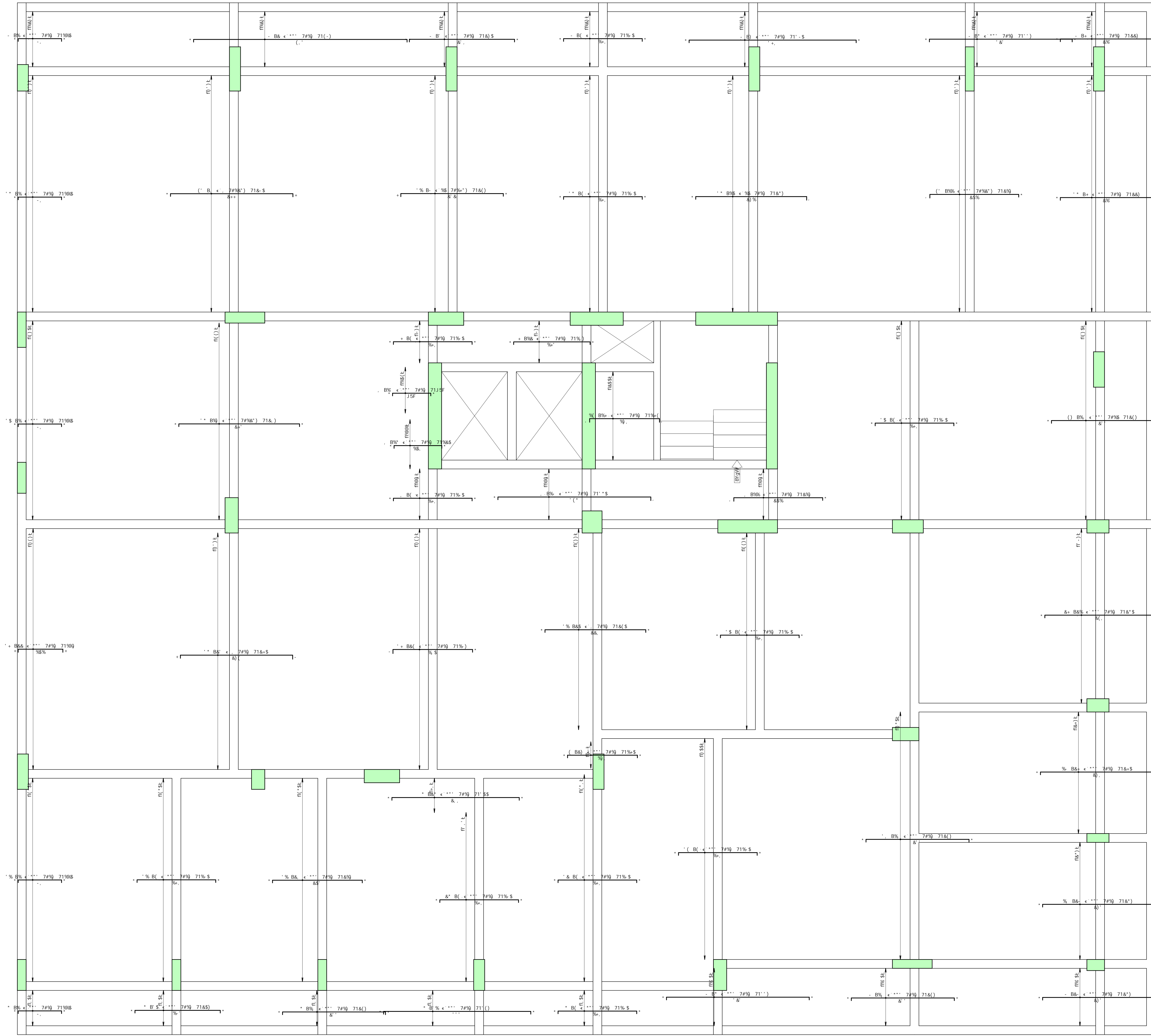
## **APÊNDICE D – Detalhamento de lajes e escadas**

8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX.a] Wz' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U'

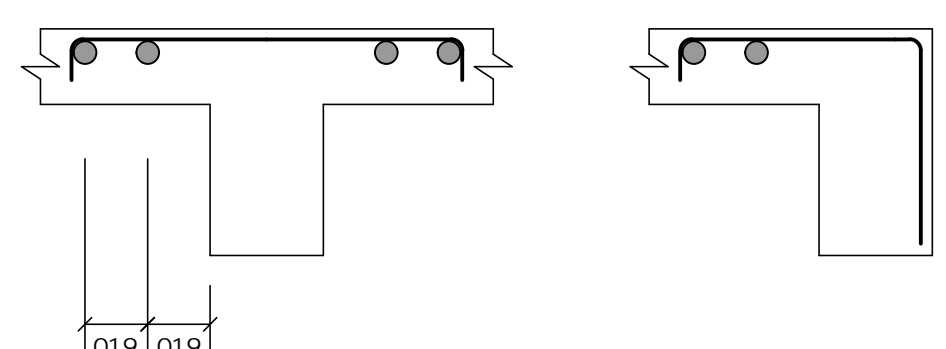
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX.a] Wz' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U'

H=DC' !' 5faUXi fU' bY[Uh] j U' df] bW] dU'

%SL



89H5@k'9 H&D=7C: 89' : 9FFCG  
 89' 8=GHF=6l =uEC: 89  
 5FA58l F5 B9: 5H=J5

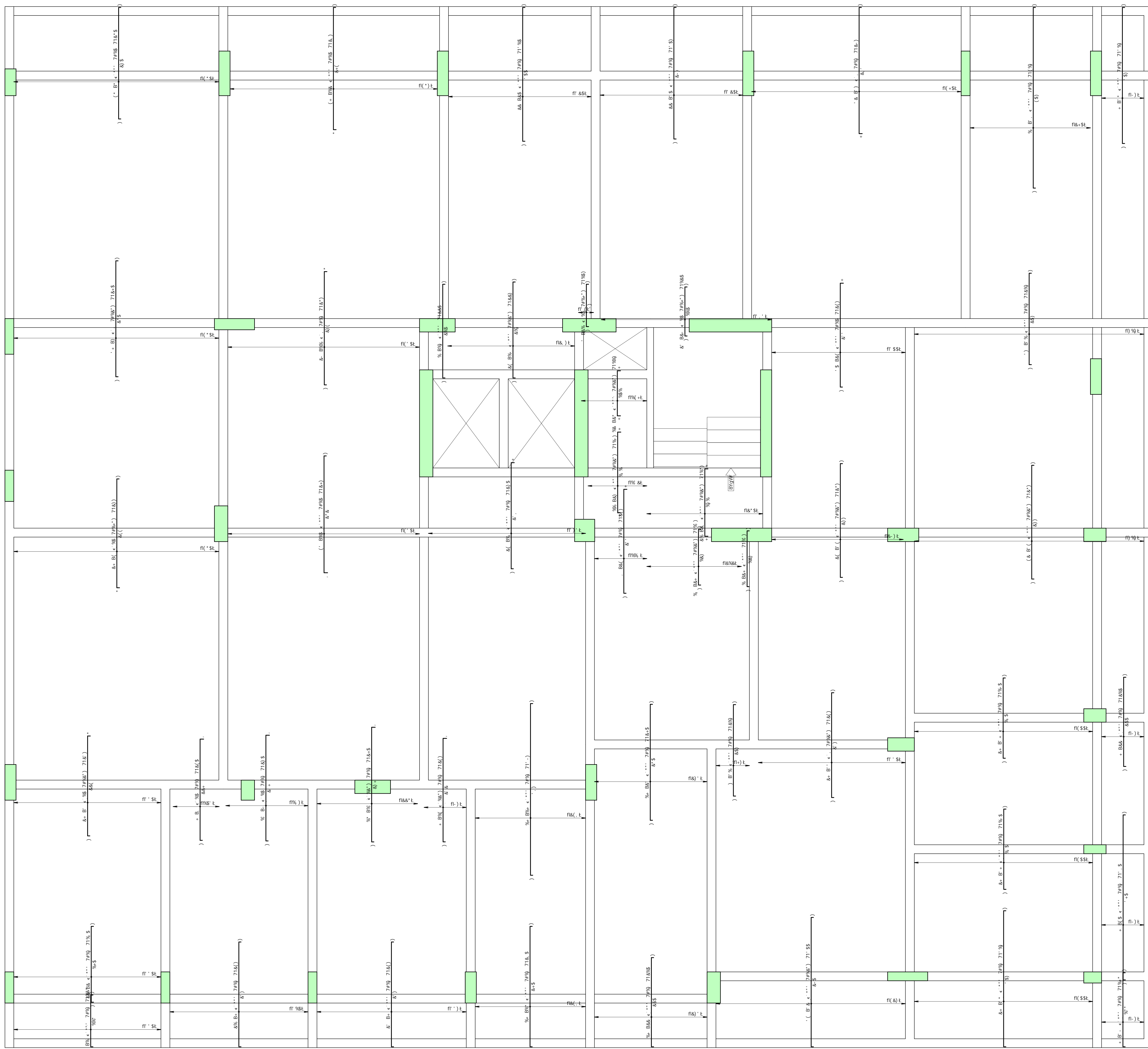


7027-94C ZW. 1.) ADU 970 1.8. (SA ADU)		\$\$\$% \$\$\$%
Vinicius Felzmann projeto de TCC		\$' (
DETALHAMENTO DA LAJE TIPO		\$
H=DC' !' 5faUXi fU' bY[Uh] j U' df] bW] dU'		\$
#5, #8&X	#5, #8	\$

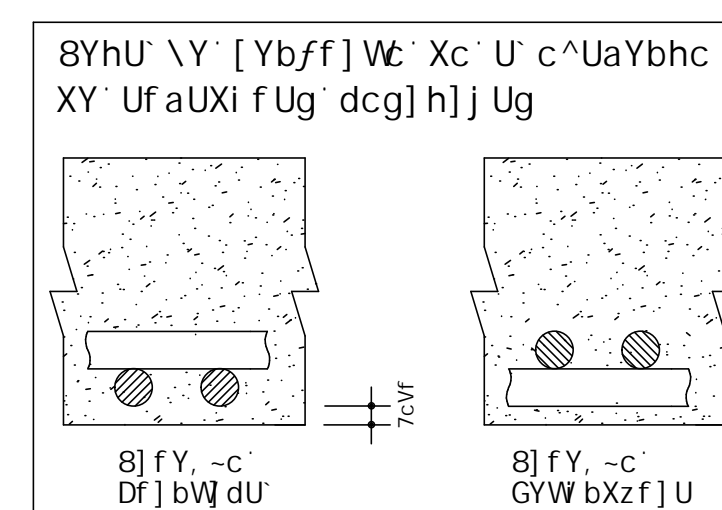
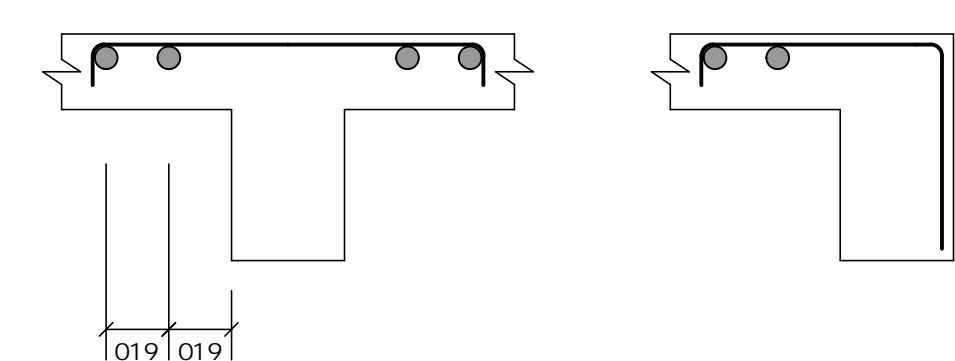
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX.a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U`  
 8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX.a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U`

H=DC ! ' 5faUXi fU' bY[Uh] j U' gYW bXUf] U

%\$L



89H5@9 H4D-7C B9 : 9FFCG  
 89 8-GH=dl =uEC, 89  
 5FA58I F5 B9 5H-J5

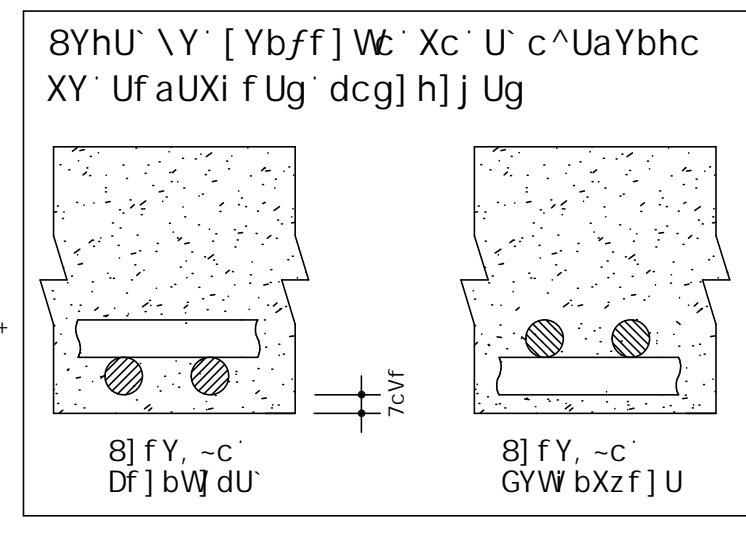
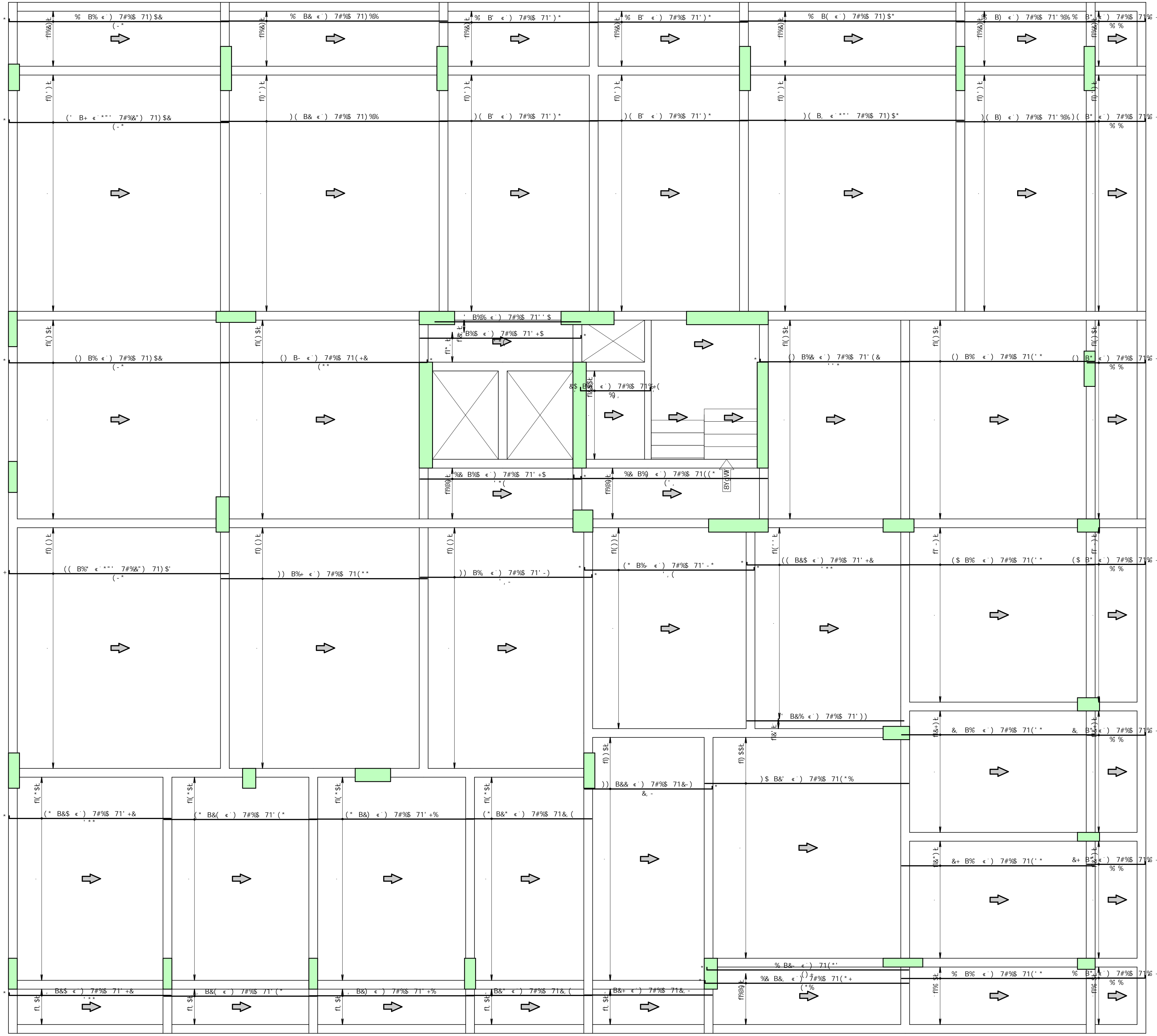


7007940 ZW 1.) ADU 970 T.8. (SA ADU)		\$\$\$ \$\$\$
Vinicis Felzmann projeto de TCC		\$' )
H=DC ! ' 5faUXi fU' bY[Uh] j U' gYW bXUf] U		\$\$\$
895 #5 (#5&5&	90795 % ' )	\$\$\$

H=DC' ! ' 5faUXi f U' dcg] h] j U' df ] bW] dU'

%&L

8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] Wz' dfc] V] Xc' i gc' WcaYfW] U'

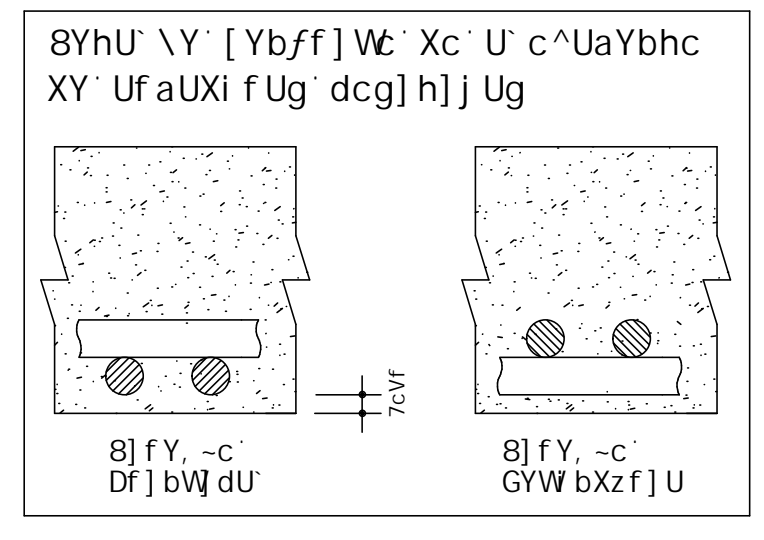
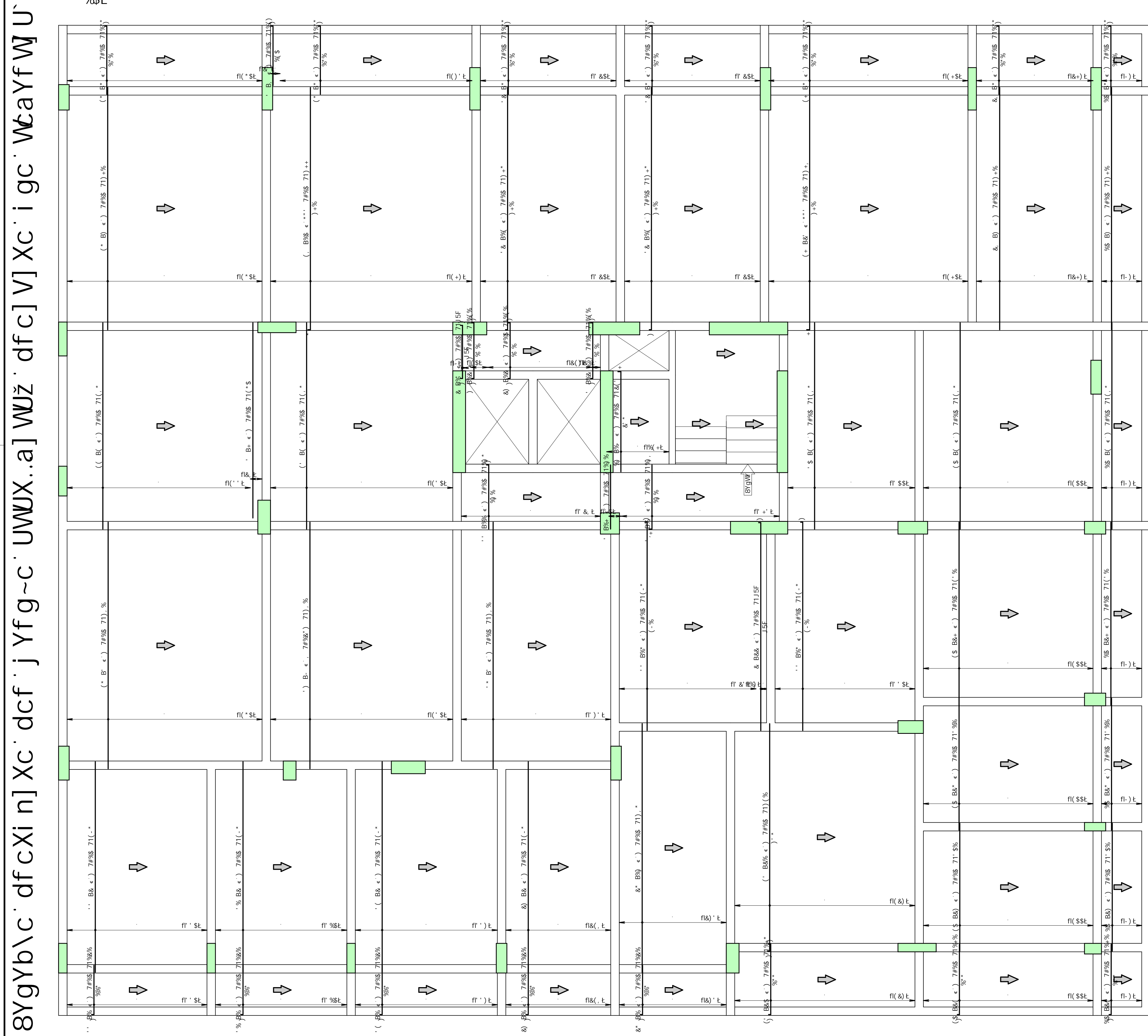


TCC/TF/ARC		ZM. 1.0 ADU		970.1 & (SA ADU)		VINICIS FELZMANN		projeto de TCC		\$\$\$%	
VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		\$' *	
VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		\$\$\$	
VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN		VINICIS FELZMANN	

Vertical text on the left edge of the page, likely a reference or identification number.



H=DC' ! ' 5f aUXi f U' dcg] h] j U' gYW bXUf ] U



8YgYb\c' df cXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' df c] V] Xc' i gc' WcayfW] U'

%SL

<p>TCC/FM/C</p> <p>ZW. 1.) ADU</p> <p>970 T. &amp; SA ADU</p> <p>700-0000</p> <p><b>Vinicius Felzmann</b></p> <p><b>projeto de TCC</b></p>		<p>CMF B - C</p> <p>\$\$\$%</p> <p>BRZ B - C</p>
<p>CMF S</p> <p>BRZ B - C</p>	<p>\$' +</p>	<p>F01 B - C</p> <p>\$\$</p>
<p>H=DC' ! ' 5f aUXi f U' dcg] h] j U' gYW bXUf ] U</p>		
<p>BRZ</p> <p>700 (#5) / #550</p>	<p>BRZ</p> <p>1270 H-04 05-1 S' +1 F55</p>	<p>BRZ</p> <p>1000</p>



## **APÊNDICE E – Detalhamento de vigas tipo**













## **APÊNDICE F – Detalhamento de vigas de transição**

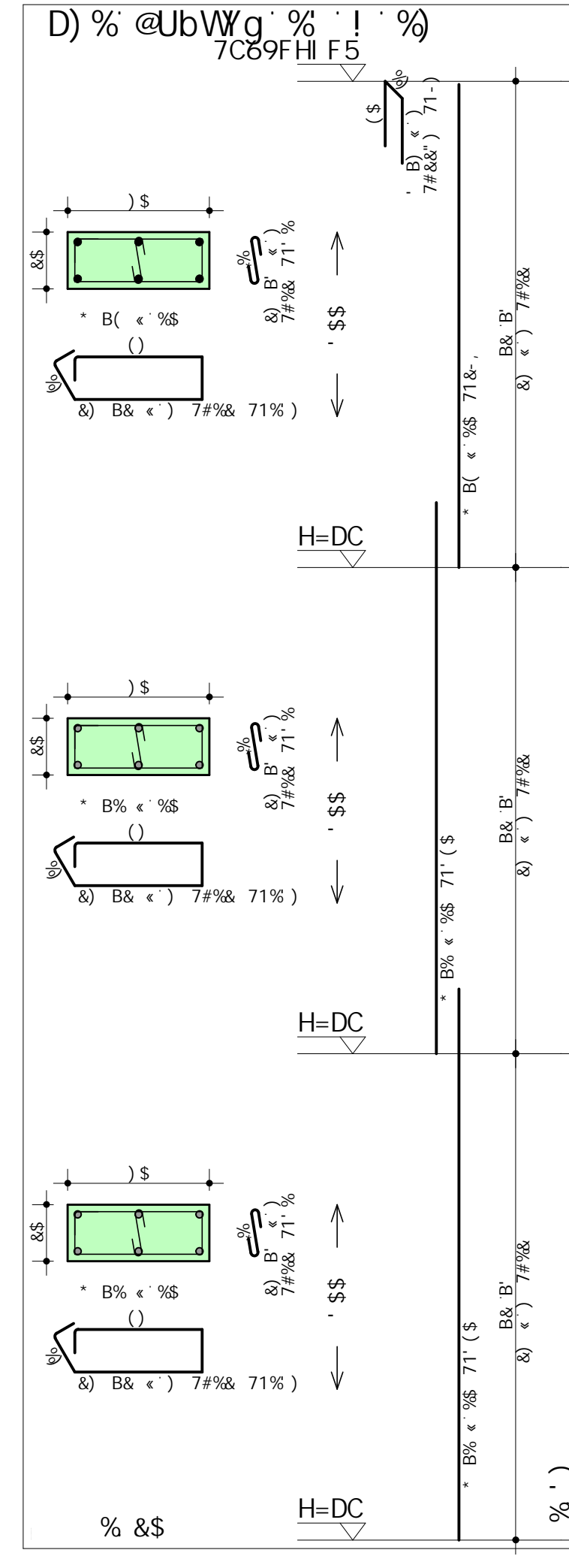




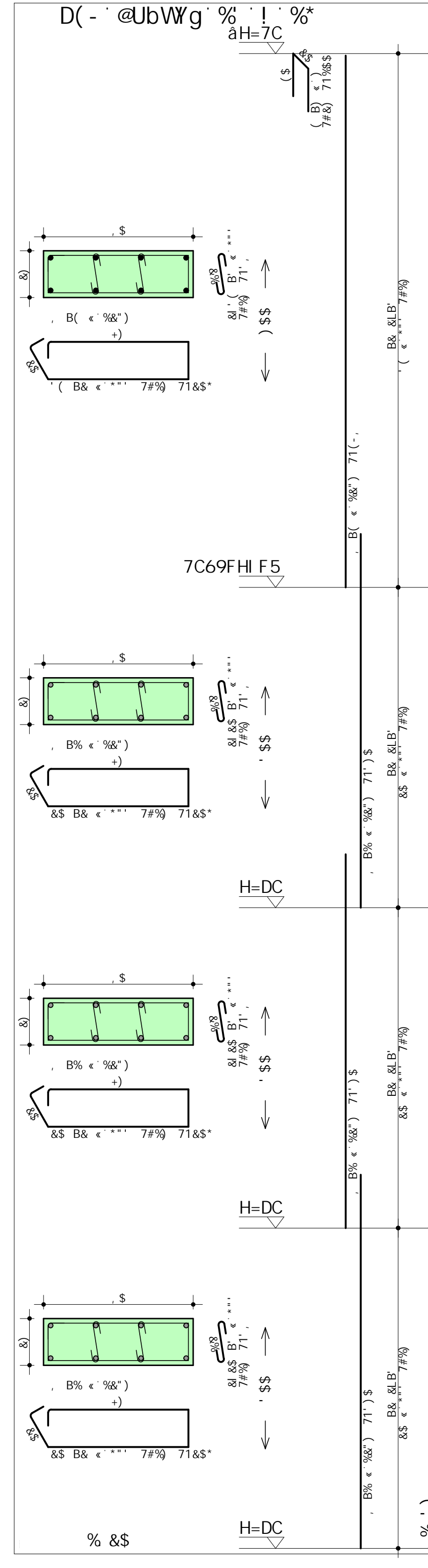
## **APÊNDICE G – Detalhamento de pilares**



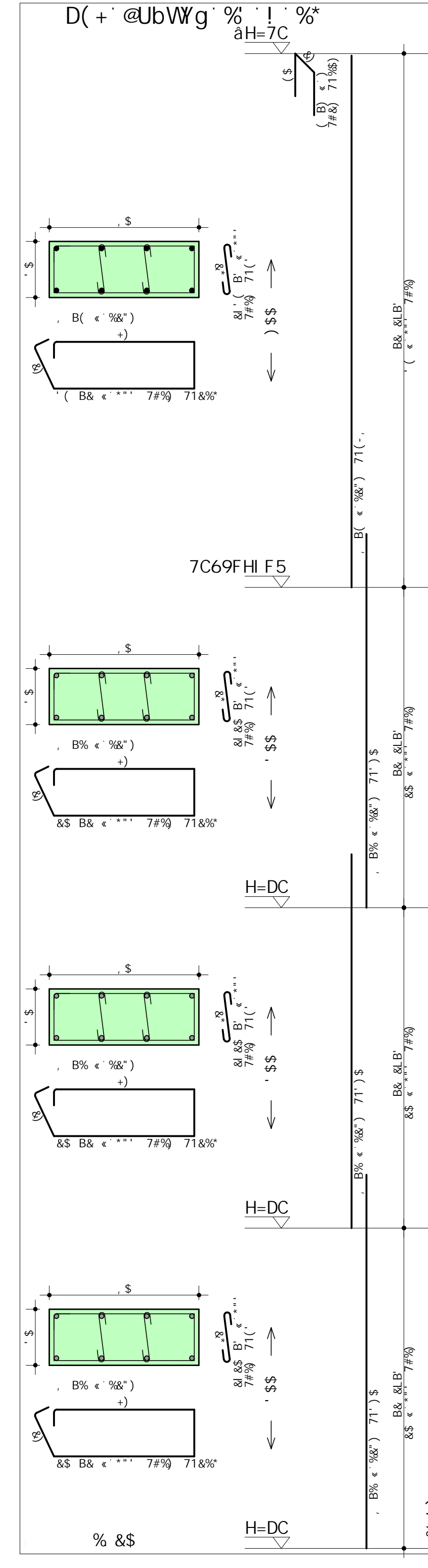
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



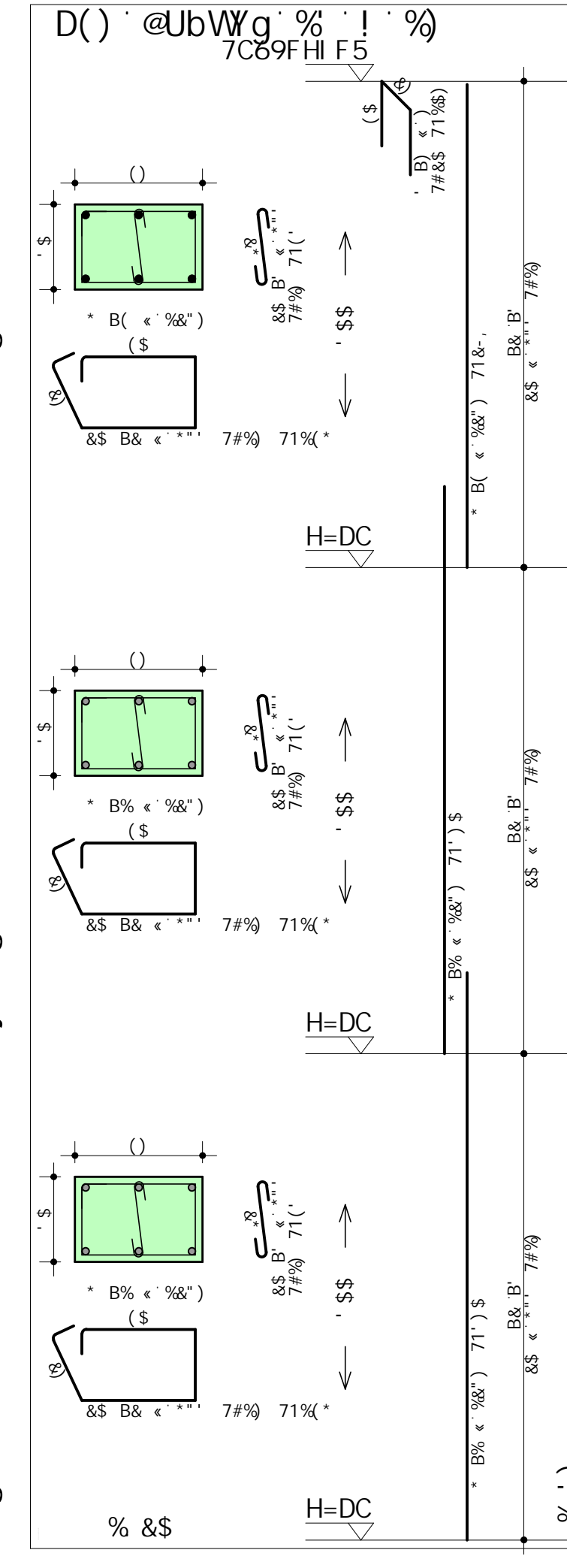
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



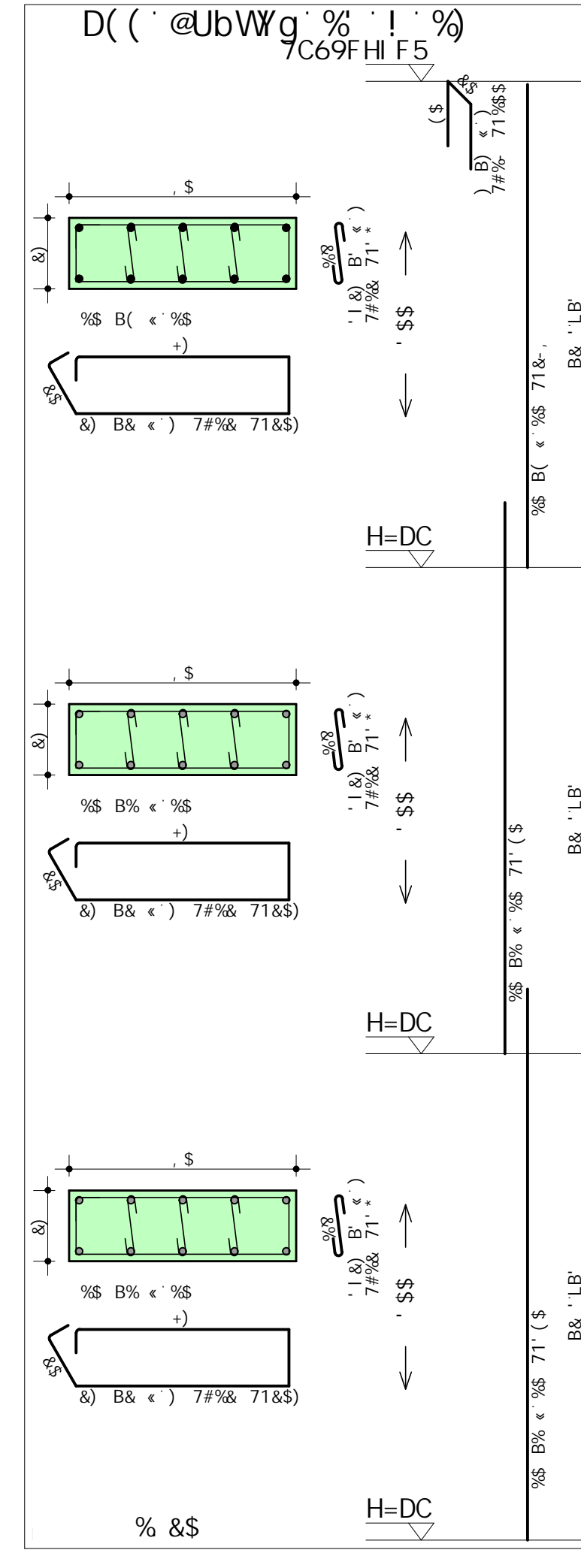
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



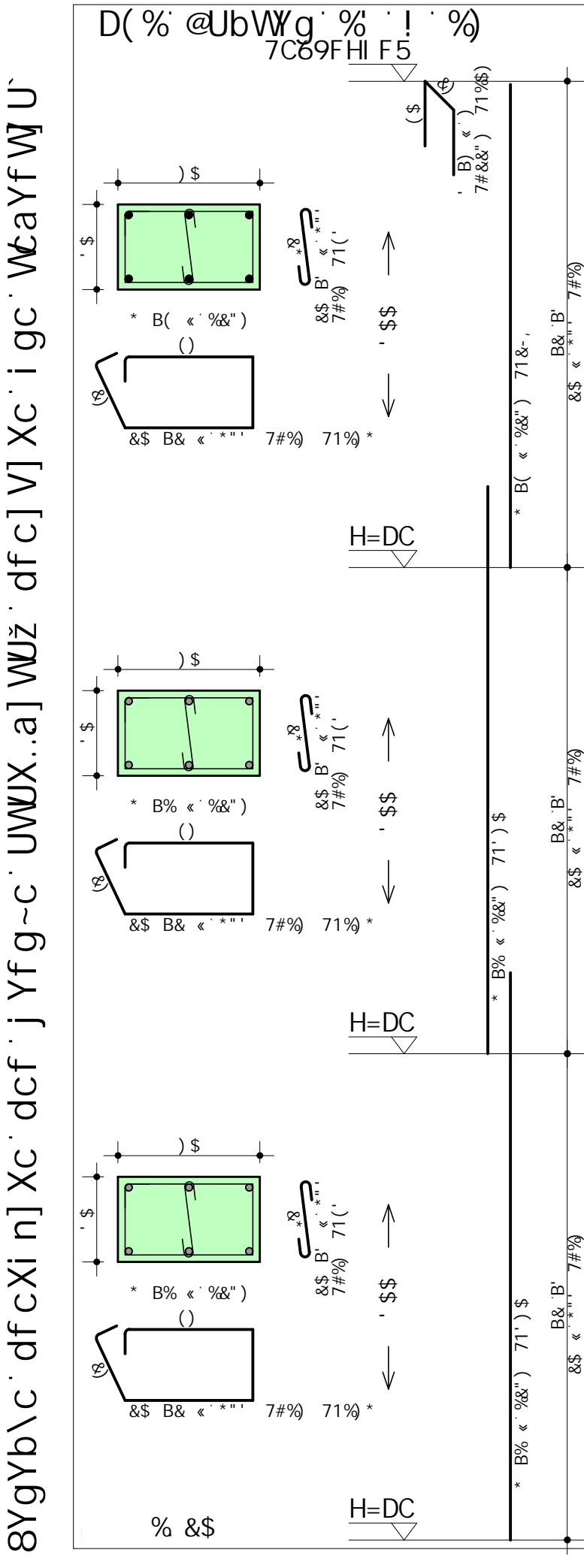
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



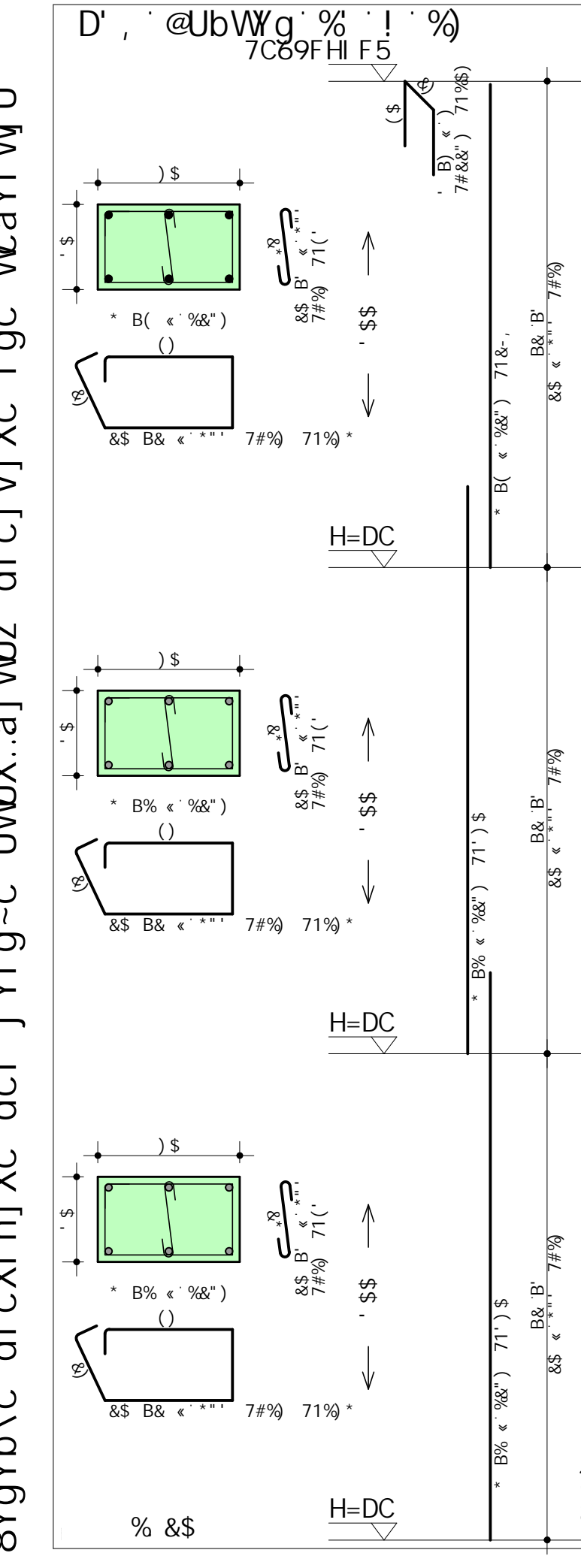
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



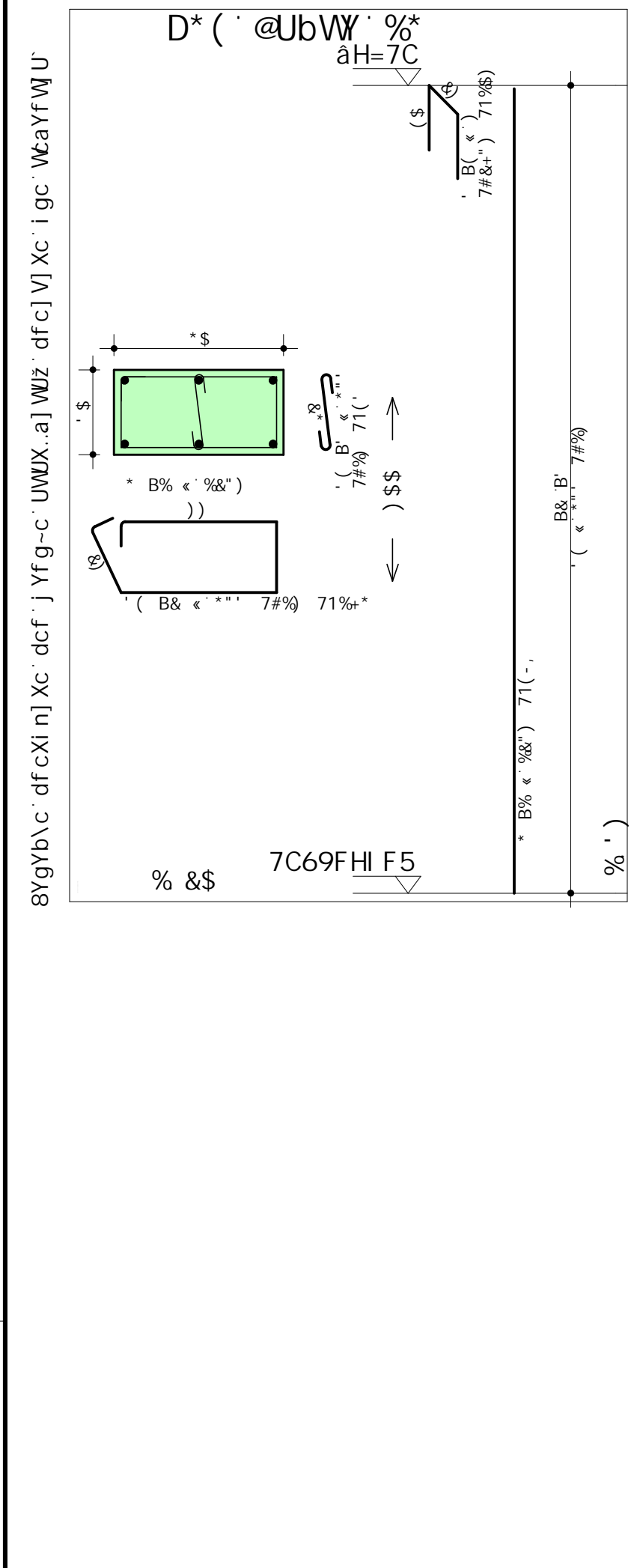
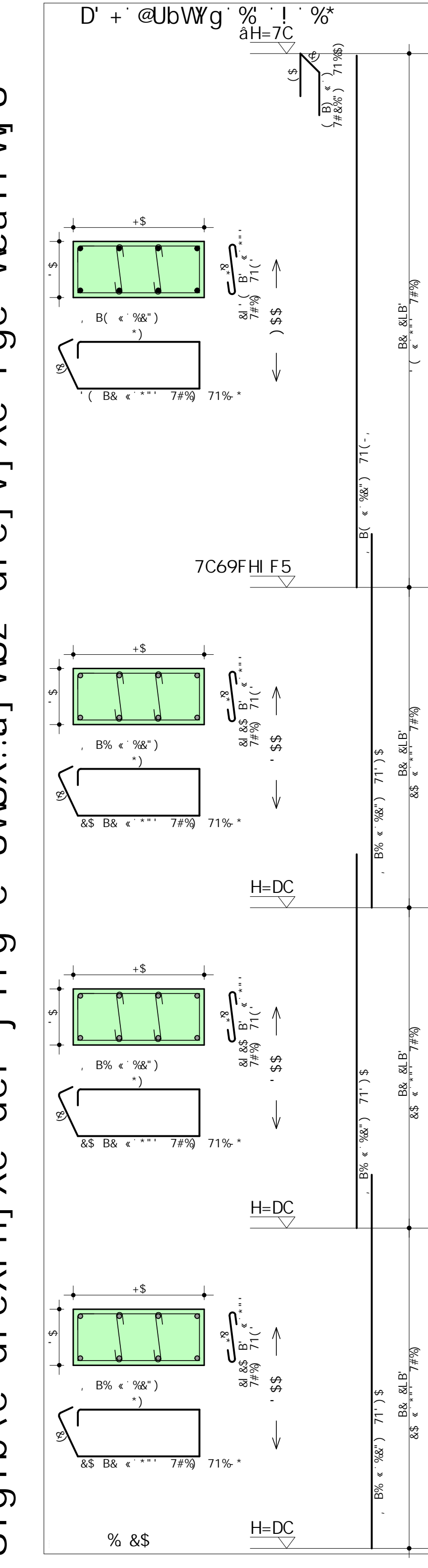
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



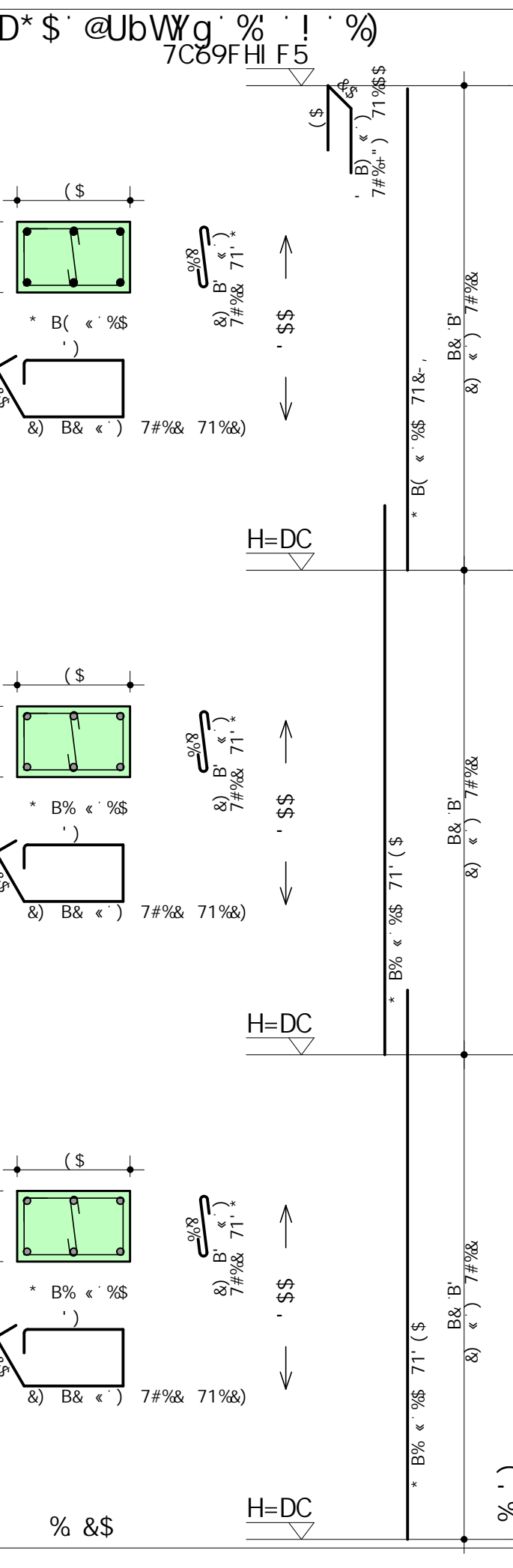
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



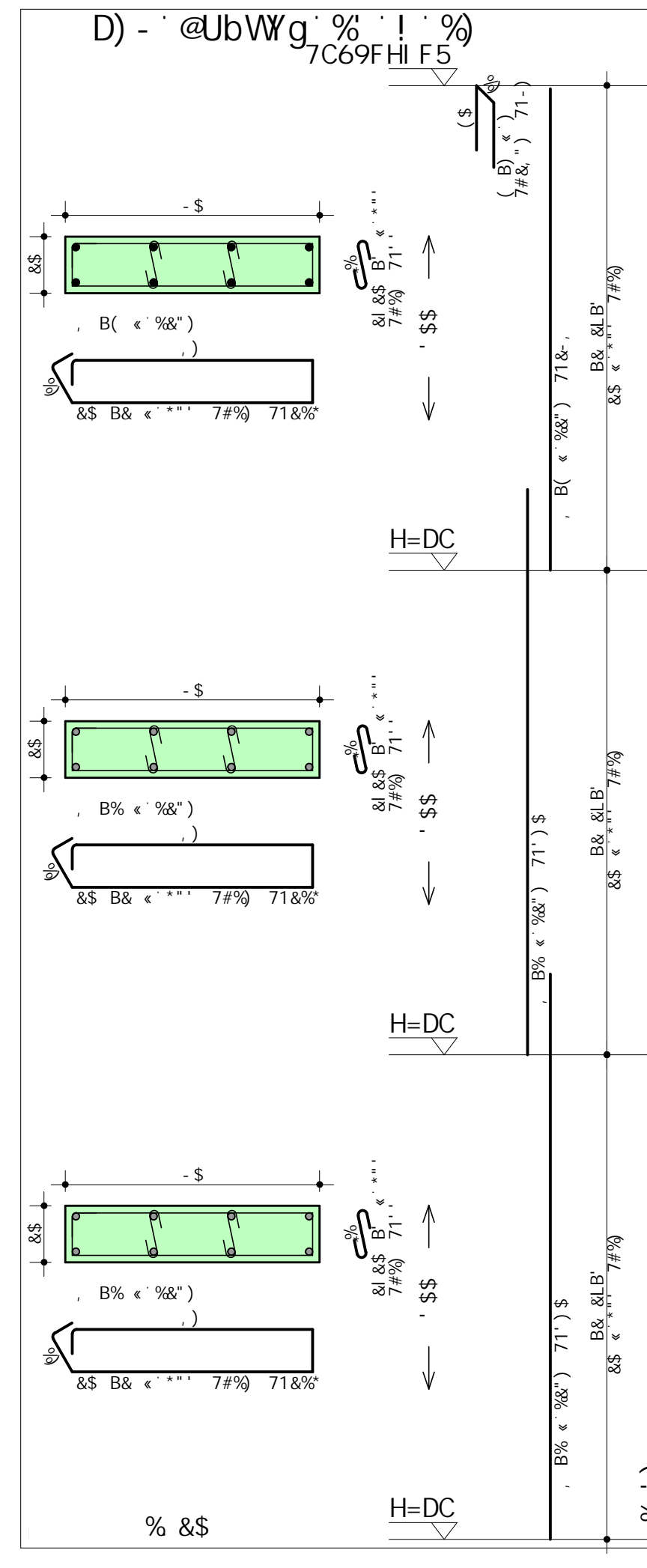
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



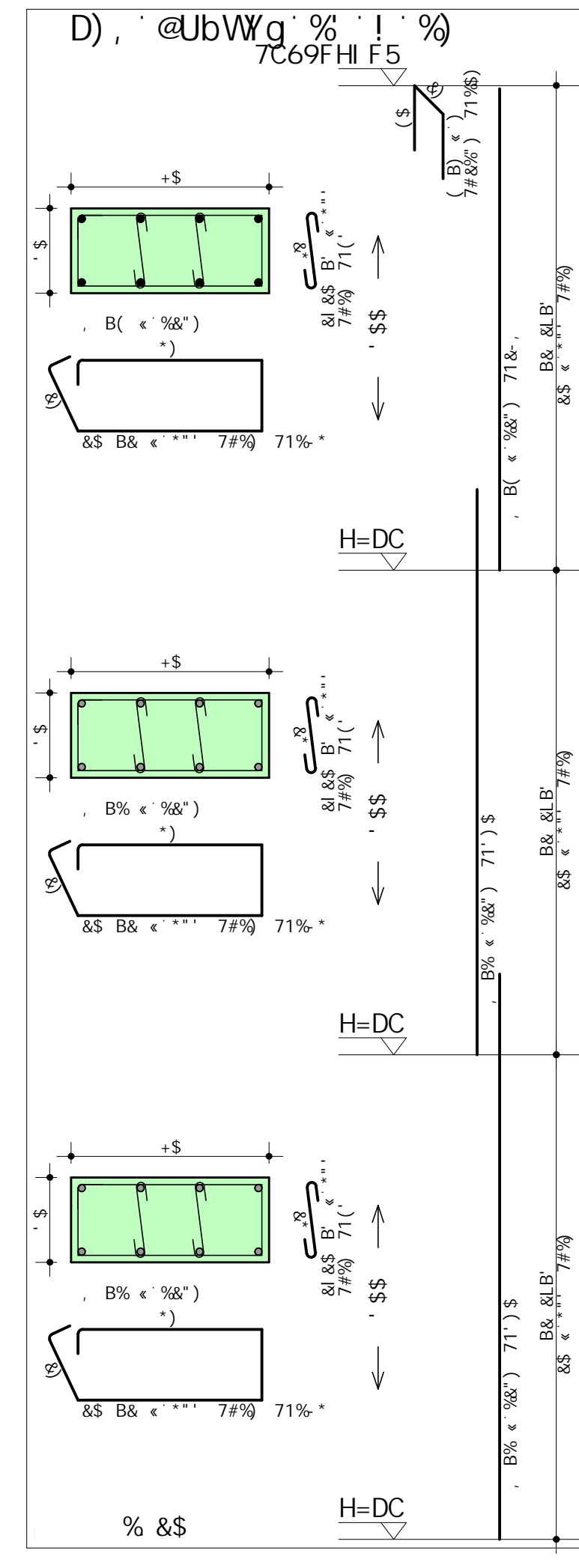
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



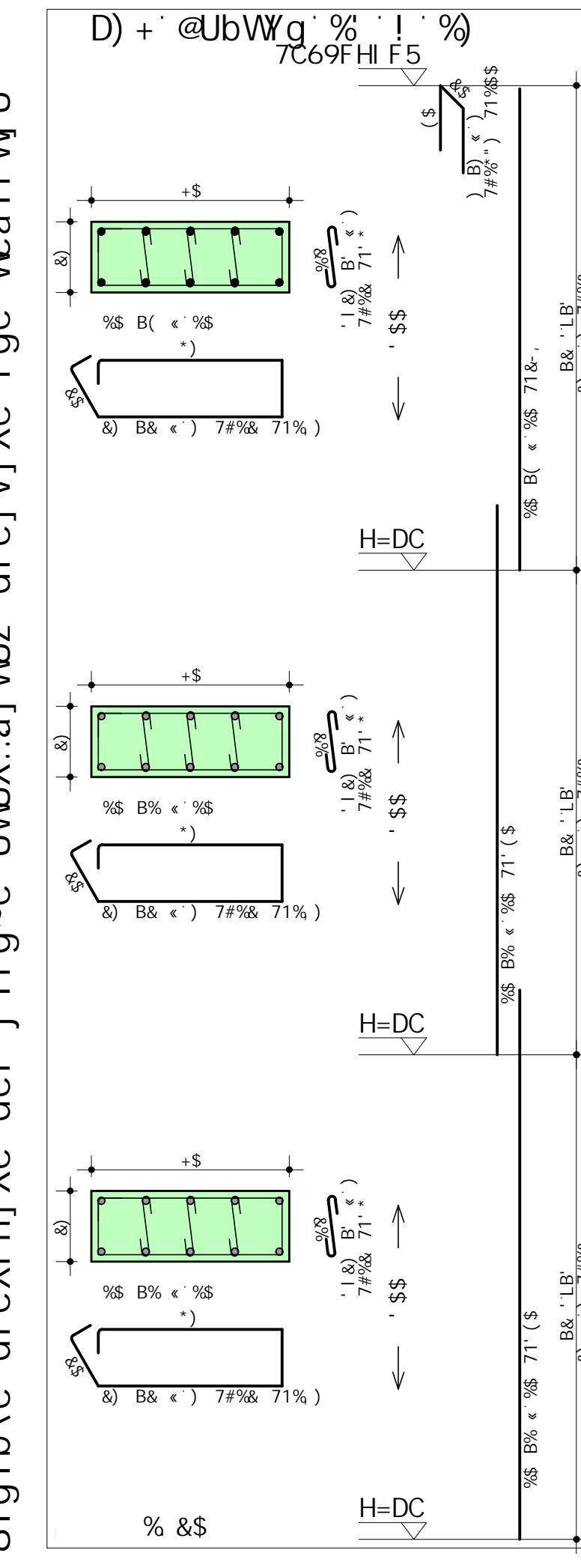
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



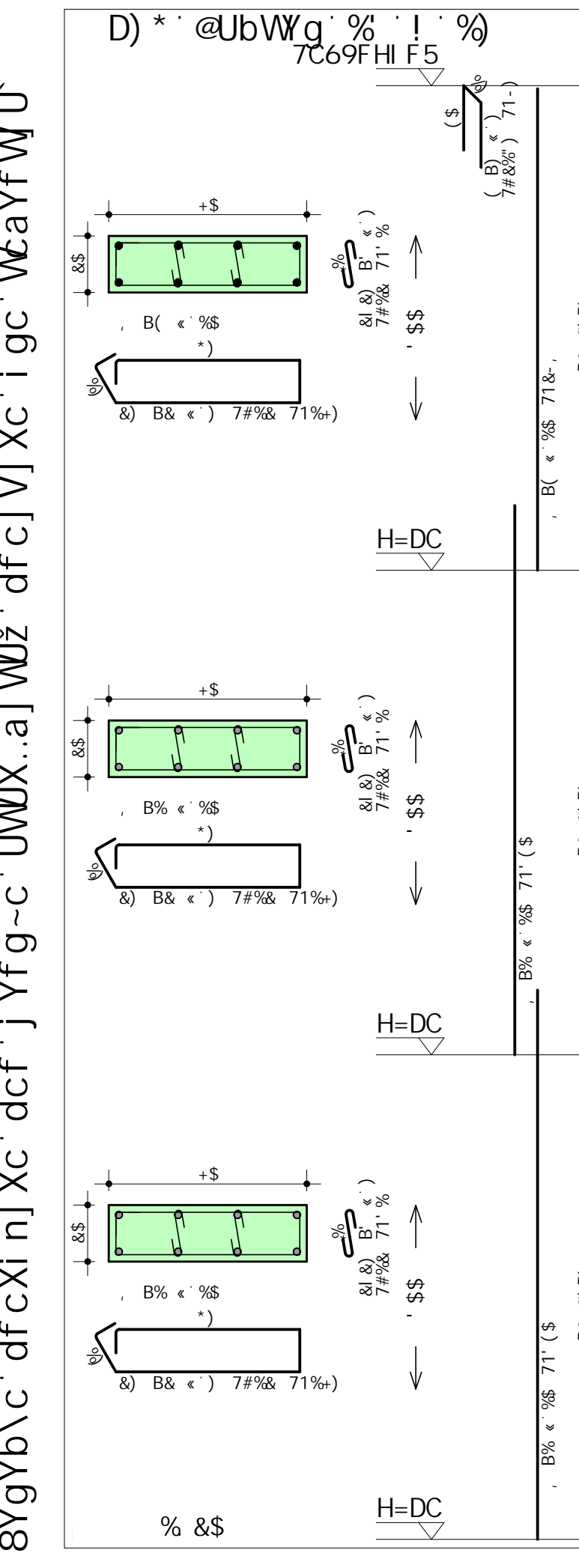
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



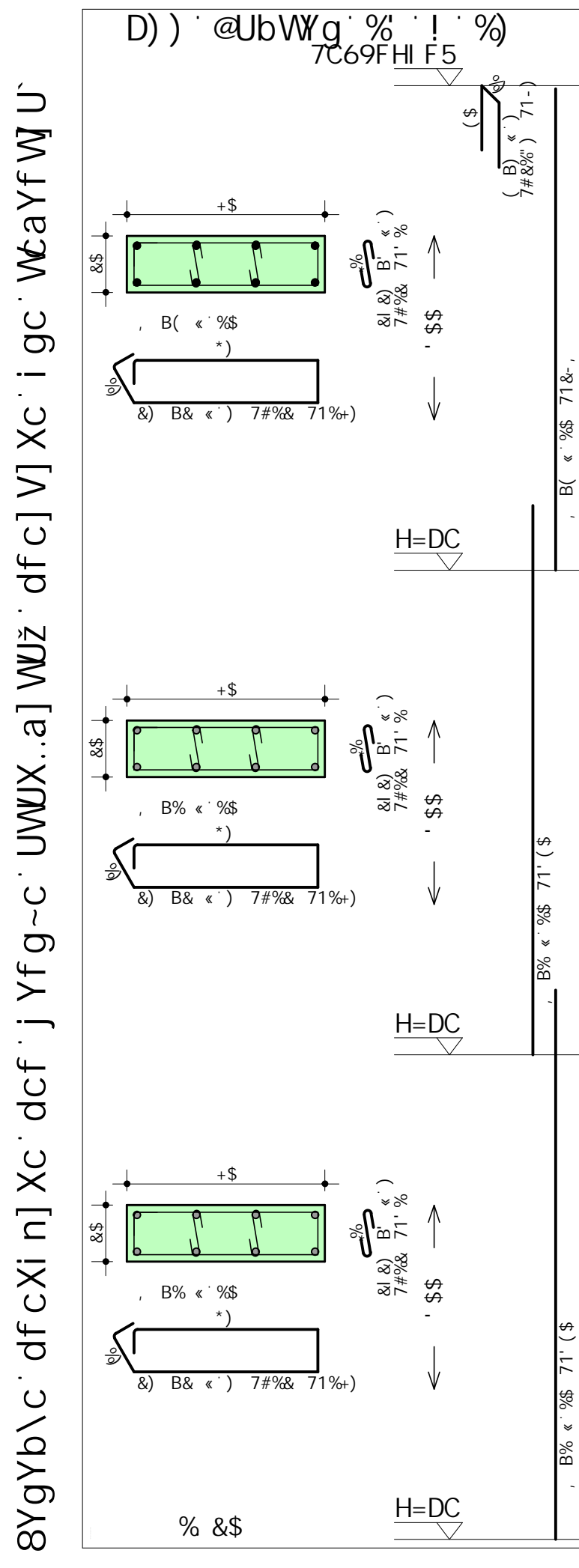
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



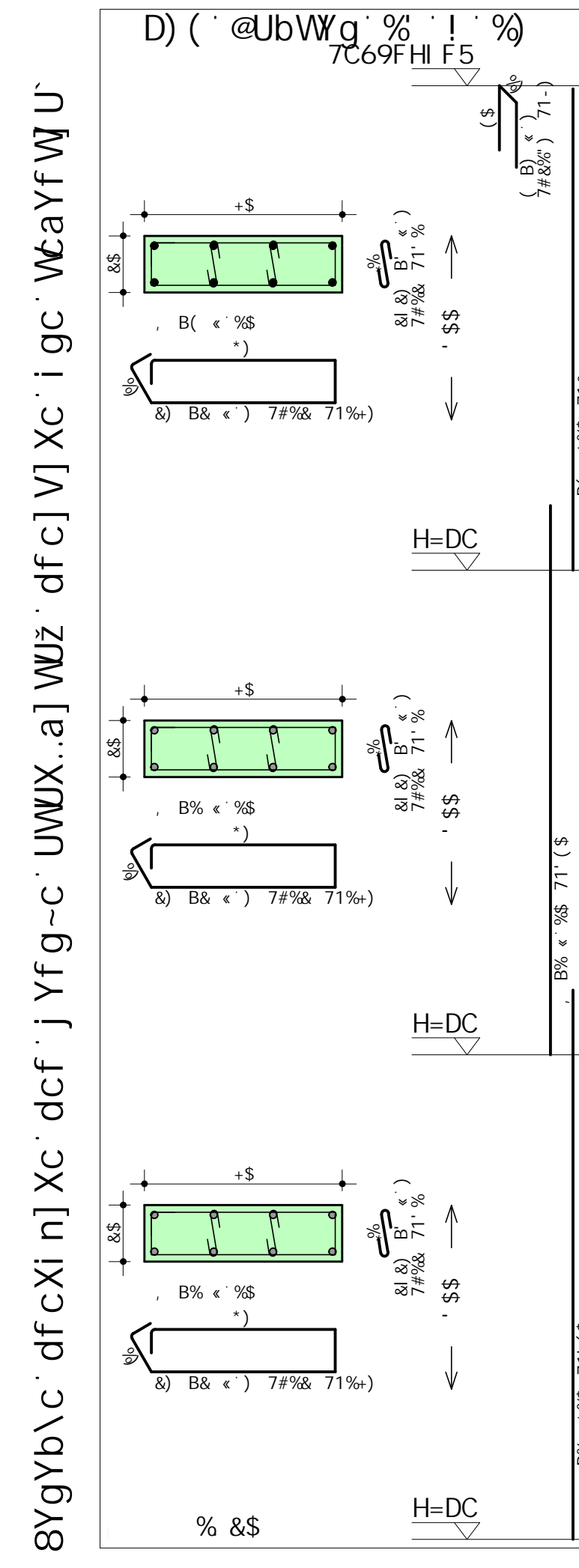
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U



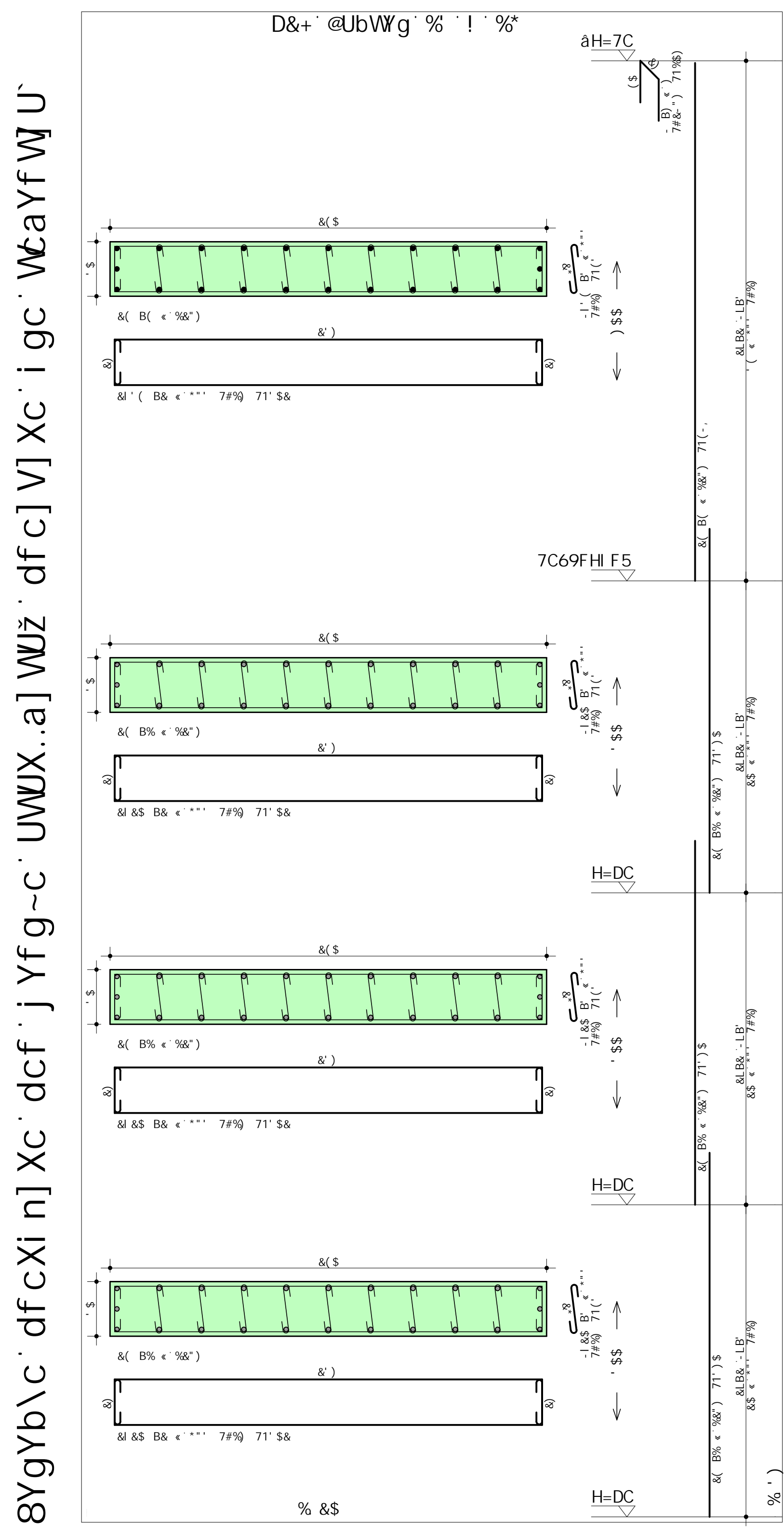
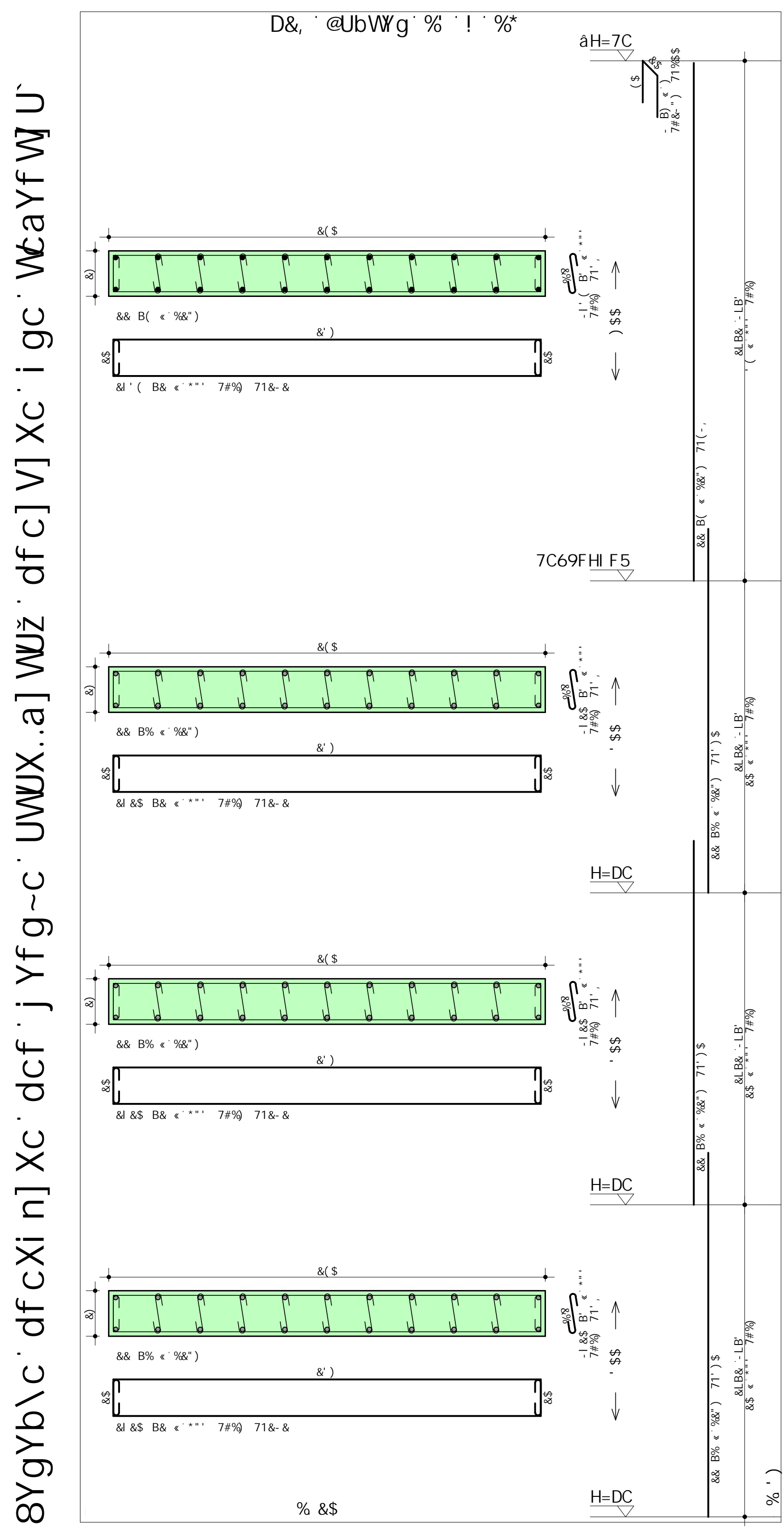
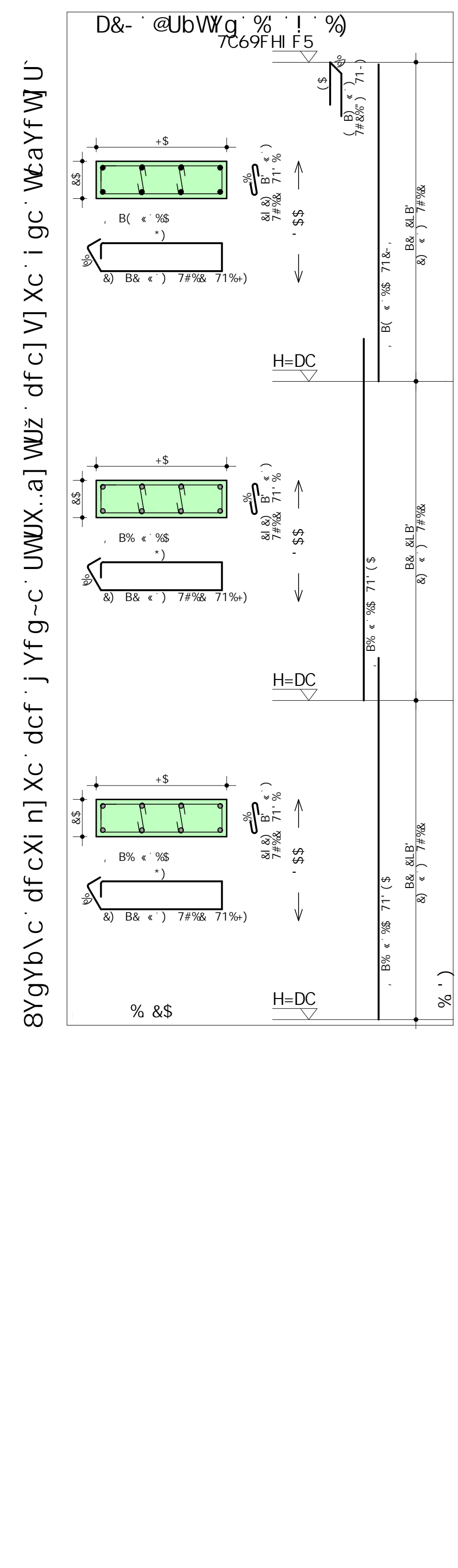
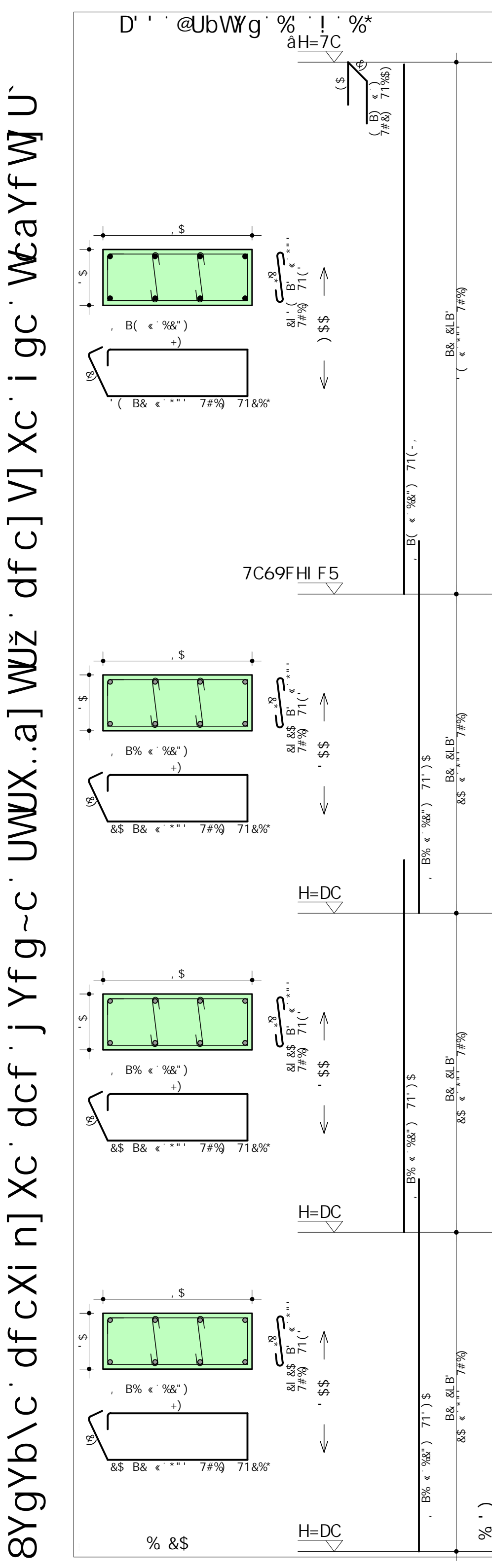
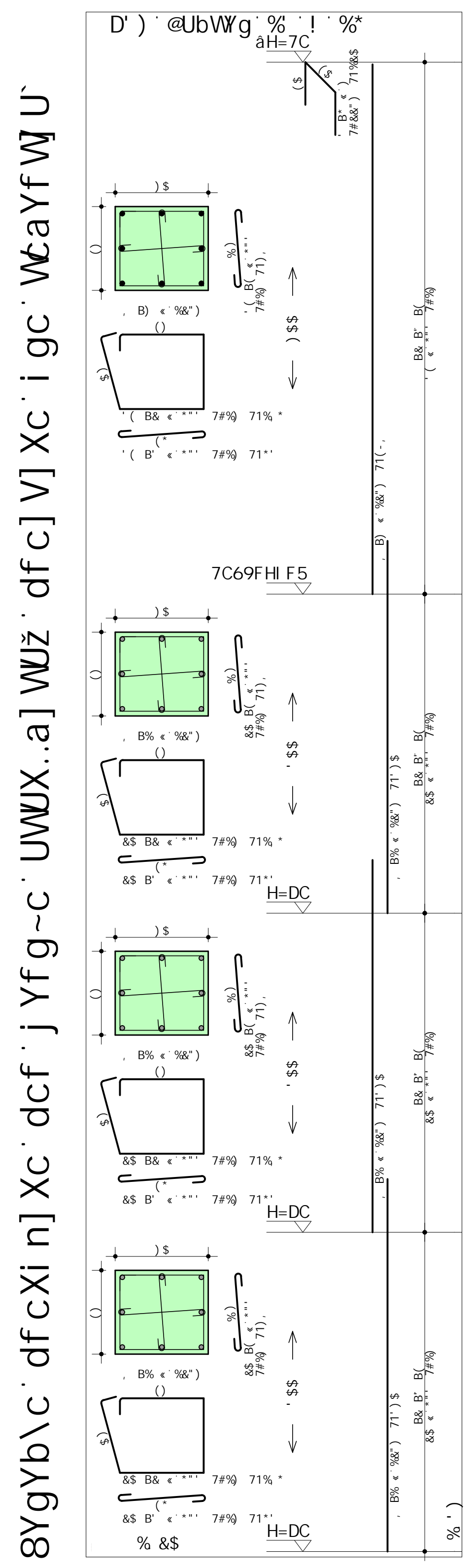
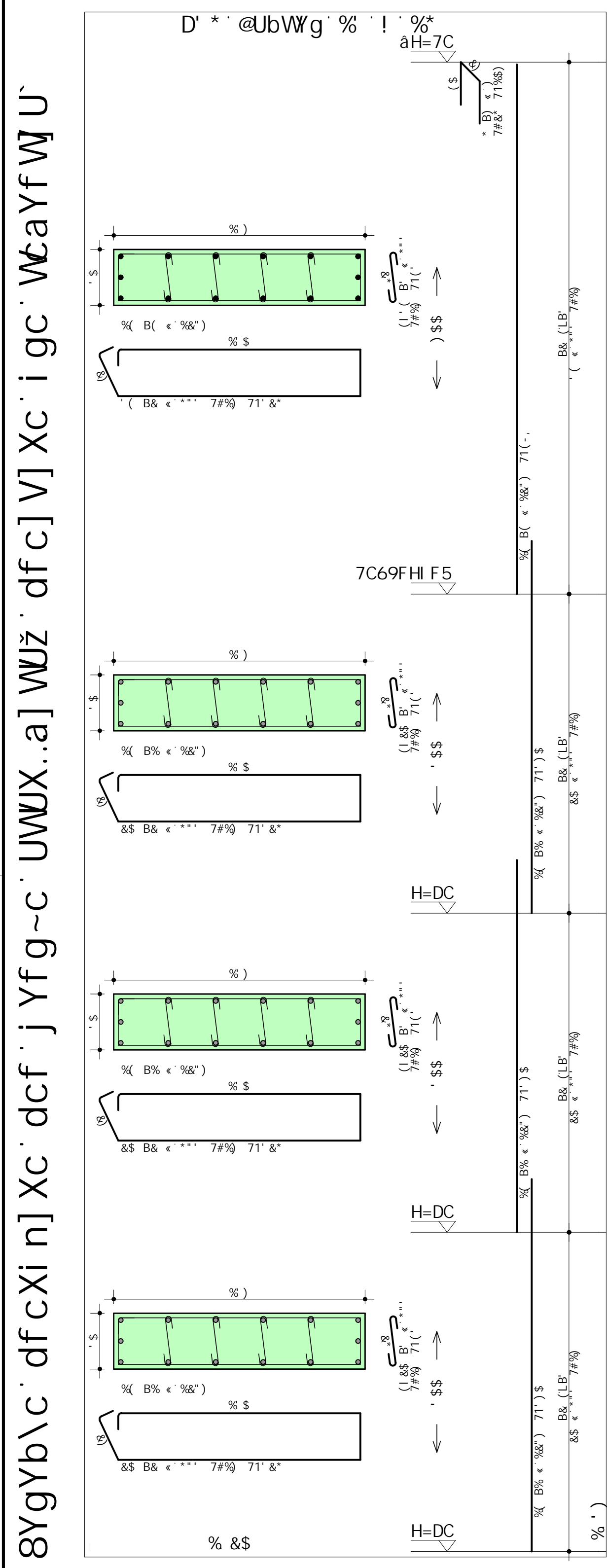
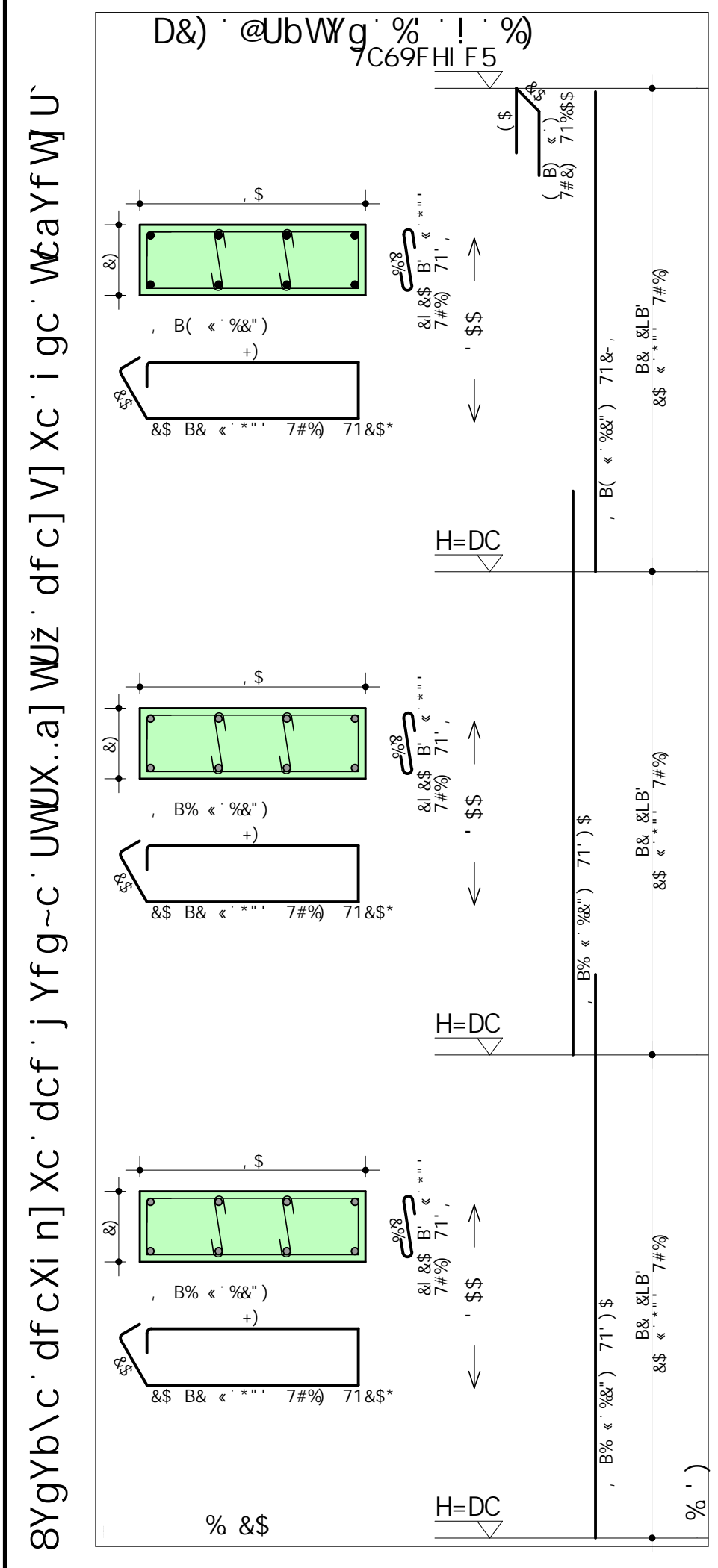
8YgYb\c' dFcXi n] Xc' dcf' j Yfg-c' UWX..a] WUz' dfc] V] Xc' i gc' W'aYfW] U

Table with columns: Suc, DOG, 6-H, E1 SBH, 7CADF-A9BHC, I B-H, HO450, Wb. It contains numerical data for various dimensions and materials.

Table with columns: Suc, F9GIAC, B9 Suc, 7CADF, D9GC. It contains numerical data for various dimensions and materials.

Project information block including: 7C69FHI F5, ADU, 970 T JZF DUABURBU, Vinicis Felzmann, projeto de TCC, and pricing details like \$\$\$ and \$\*1.





8YgYb\c' d f c X i n] Xc' d c f' j Yf g - c' UW X . a] W U Z' d f c] V] Xc' i g c' W a Y f W U

SUC	DOG	6-H	EI	SBH	7CADF	A9BHC
D&	@UbWg % ! %	8.5	80	150	12	150
D&+	@UbWg % ! %	8.5	80	150	12	150
D'	@UbWg % ! %	8.5	80	150	12	150
D*	@UbWg % ! %	8.5	80	150	12	150
D&	@UbWg % ! %	8.5	80	150	12	150
D'	@UbWg % ! %	8.5	80	150	12	150
D*	@UbWg % ! %	8.5	80	150	12	150

SUC	F9GIAC	B9	SUC	D9GC
Dygc	HCHU	SS 1		12
Dygc	HCHU	SS 1		12

7C69FH F5

ADU

**Vinicius Felzmann**

projeto de TCC

\$\$\$%

\$\* (

\$\$\$

D& @UbWg % ! %

D&+ @UbWg % ! %

D' @UbWg % ! %

D\* @UbWg % ! %











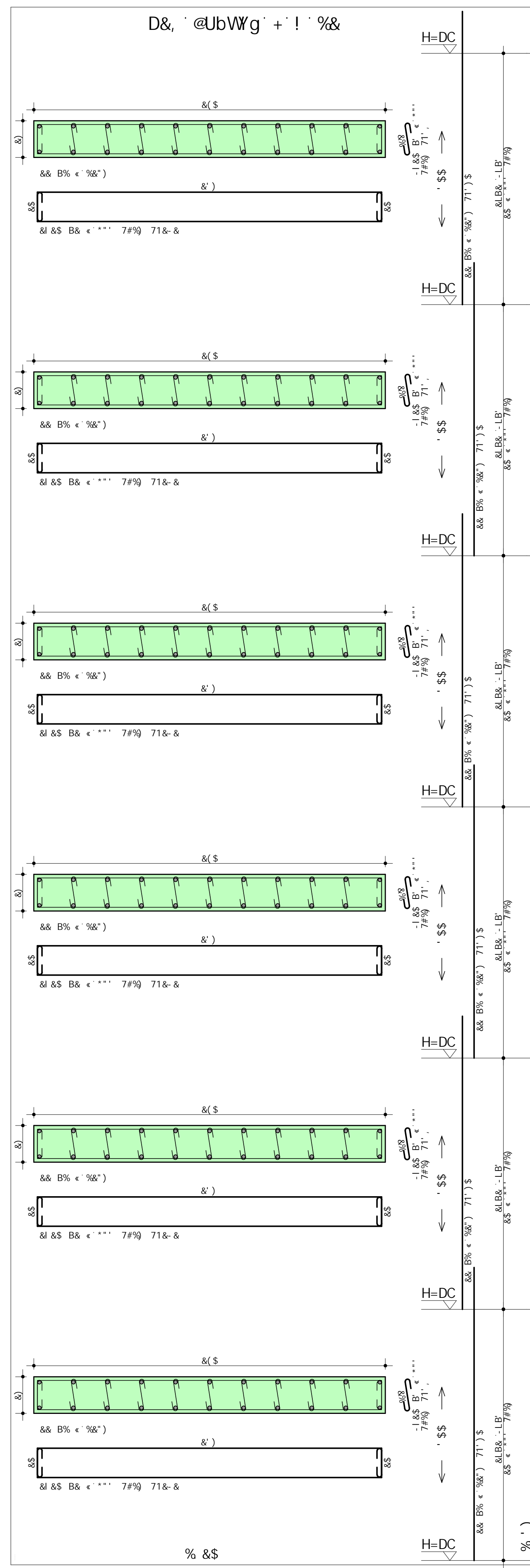




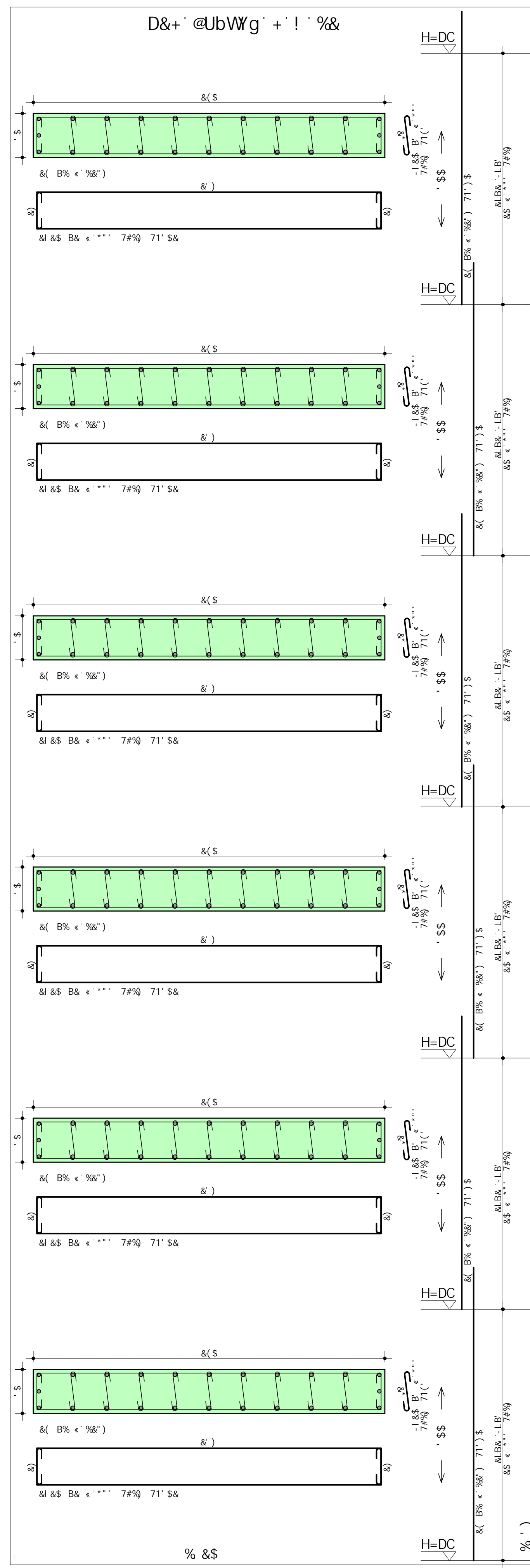




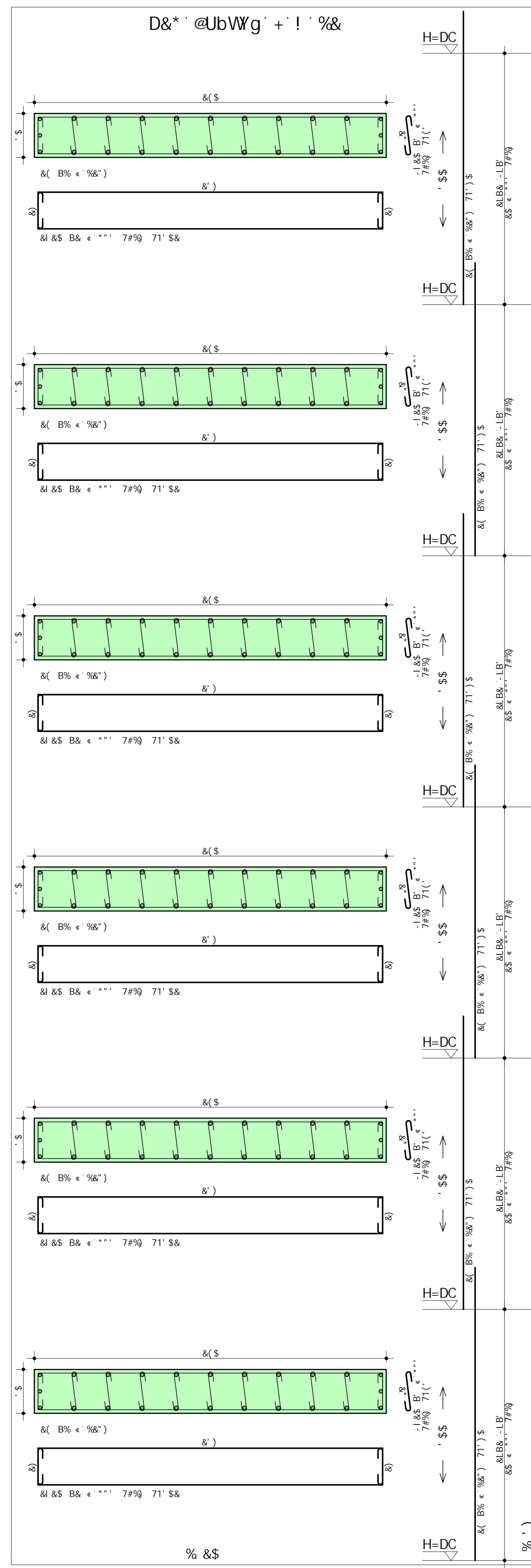
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] Wž' dfc] V] Xc' i gc' WəYfW] U`



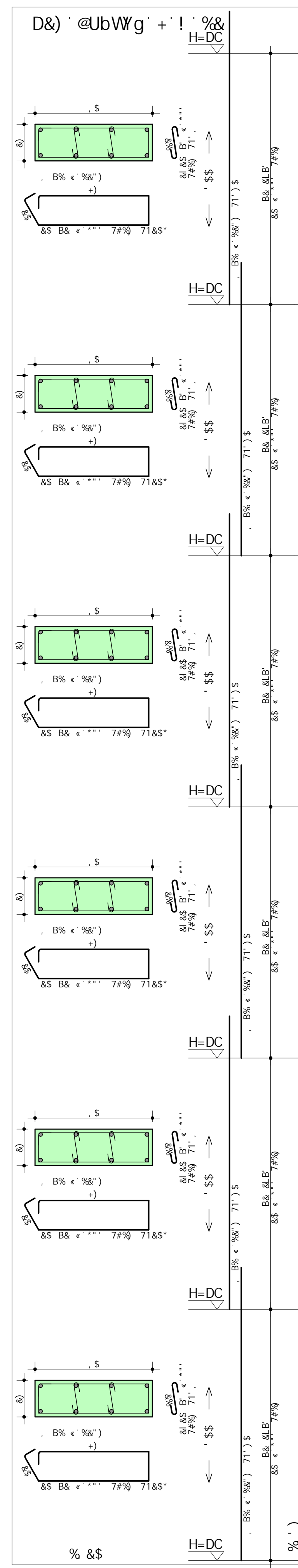
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] Wž' dfc] V] Xc' i gc' WəYfW] U`



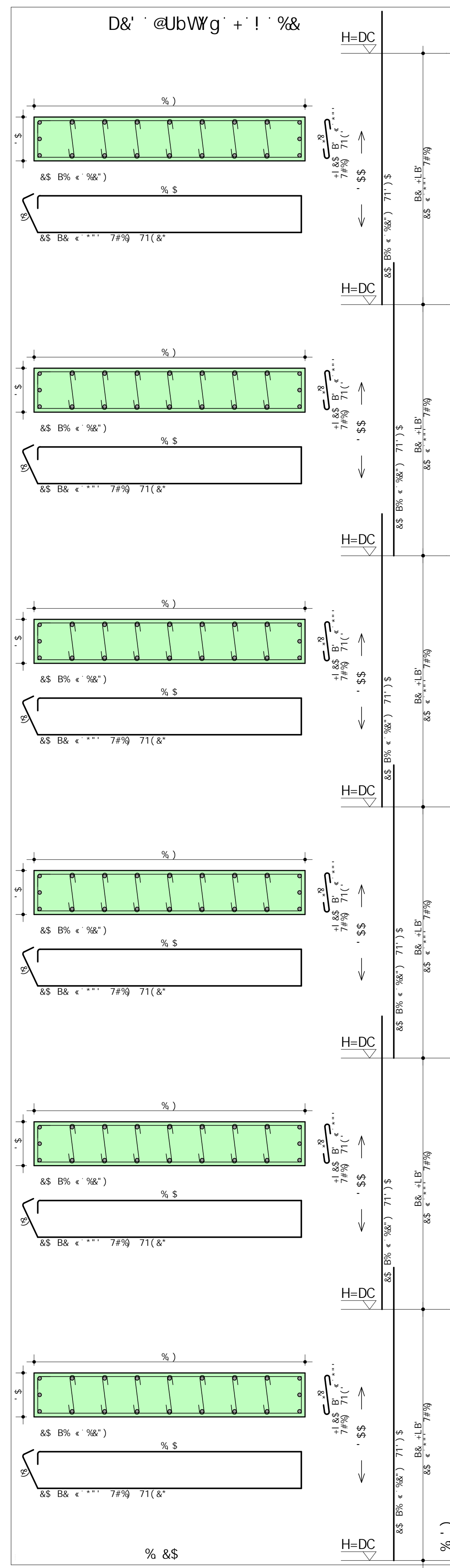
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] Wž' dfc] V] Xc' i gc' WəYfW] U`



8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] Wž' dfc] V] Xc' i gc' WəYfW] U`



8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] Wž' dfc] V] Xc' i gc' WəYfW] U`



SUC	DOG	6-H	EI	SBH	7CADF	A9BHC	HCH50	W
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100
D& @UbWg + ! %&	1	960	100	100	100	100	100	100

TCC/FHC ZM. 1.) ADU 970 1 JYF DUBUBDU		\$\$\$
Vinicius Felzmann projeto de TCC		\$* -
D& @UbWg + ! %& D& @UbWg + ! %& D& @UbWg + ! %& D& @UbWg + ! %& D& @UbWg + ! %&		\$



















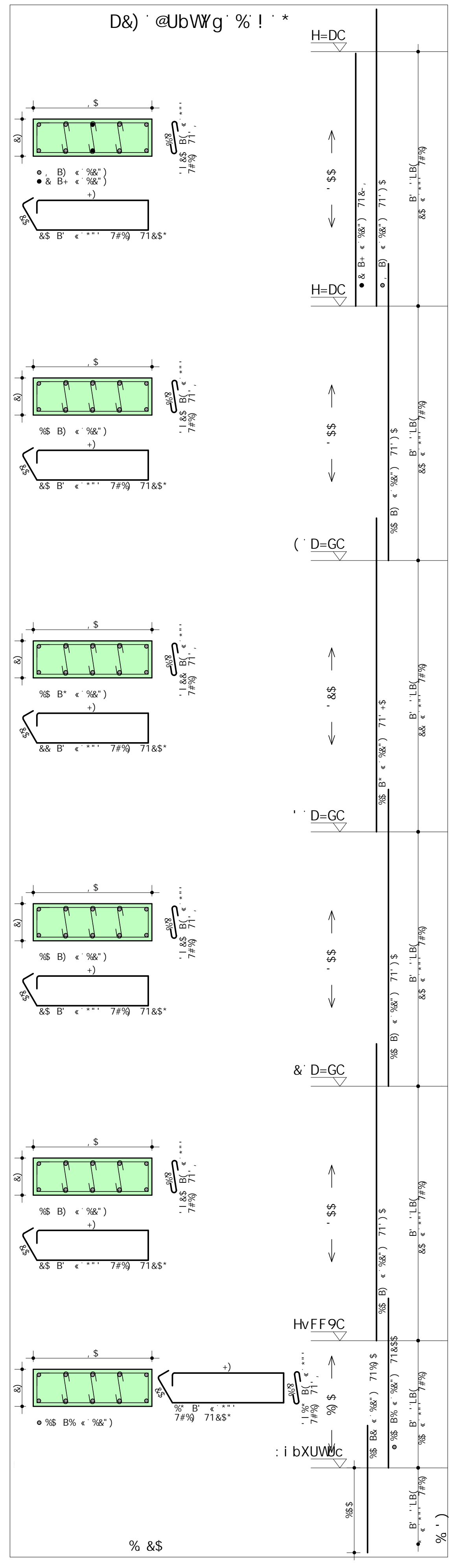




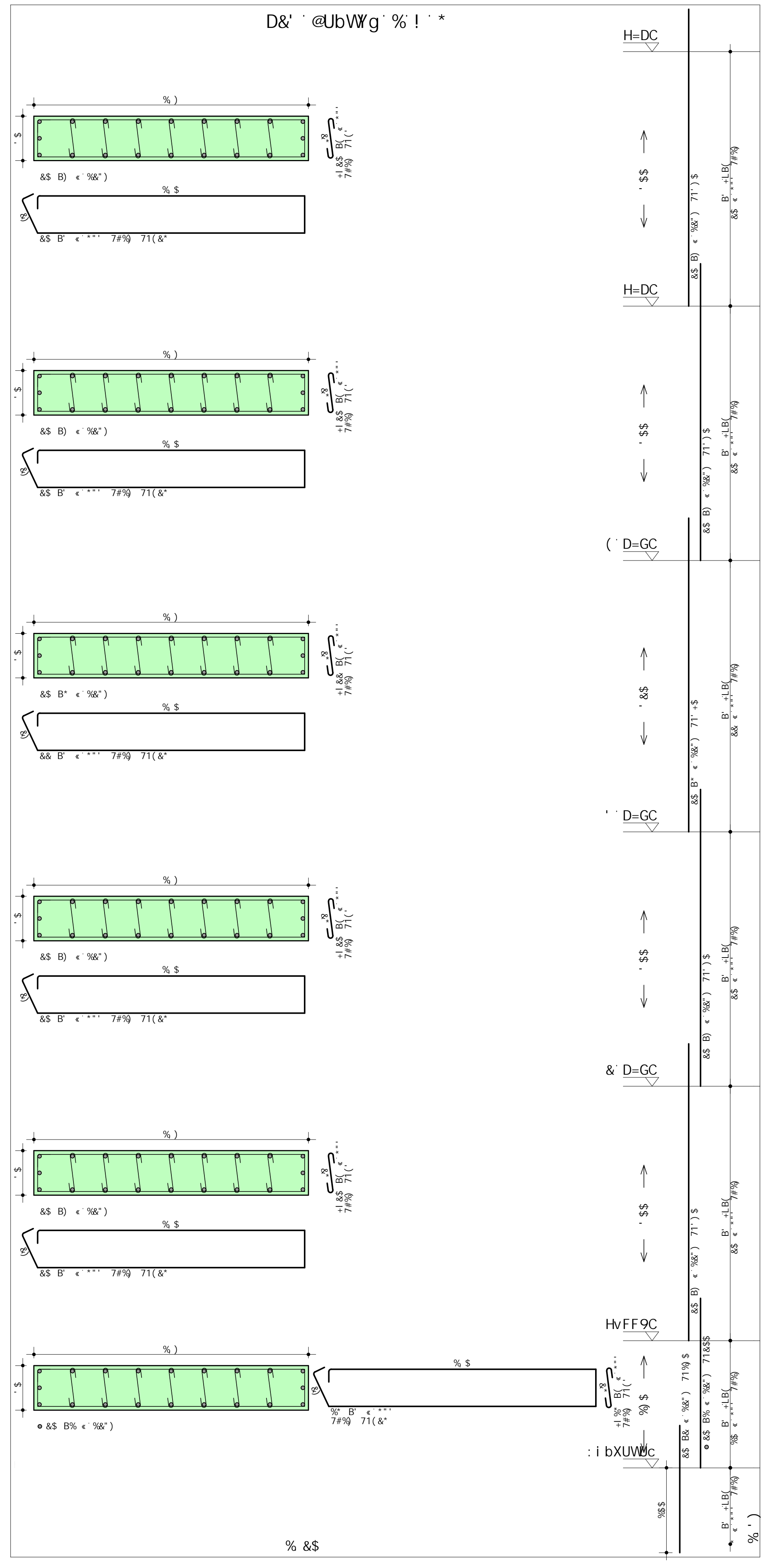




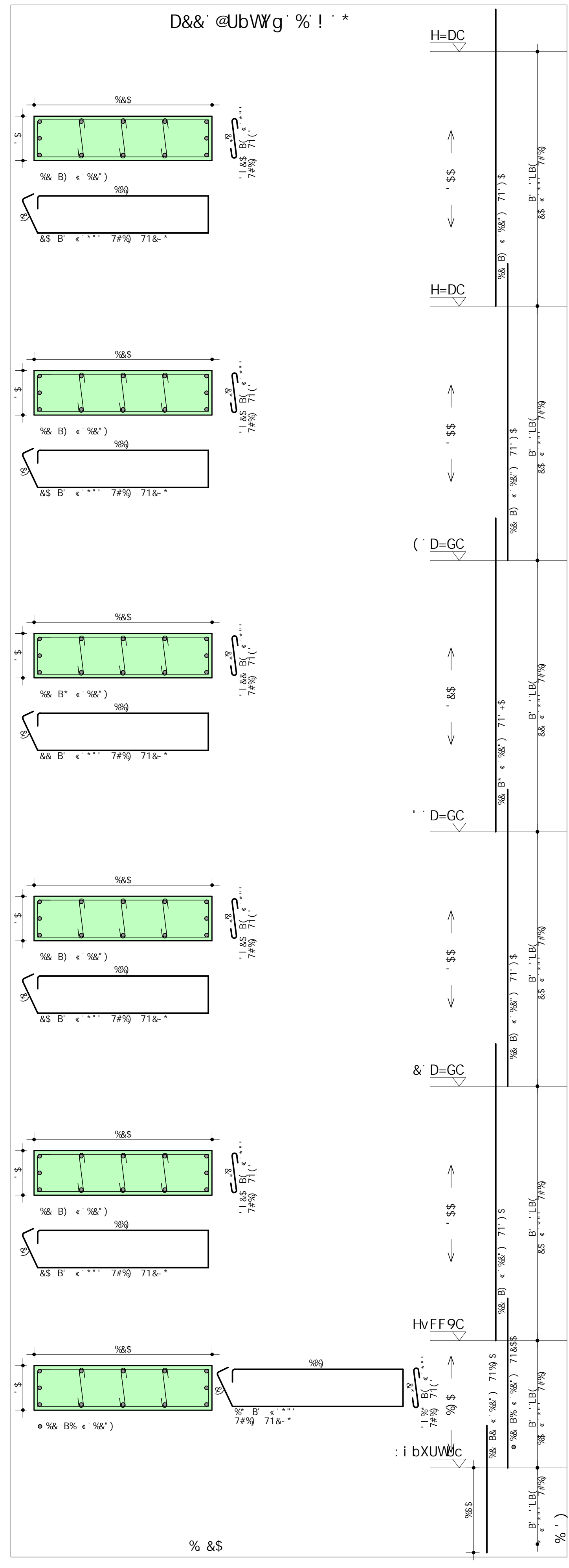
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' W̄aYfWU'`



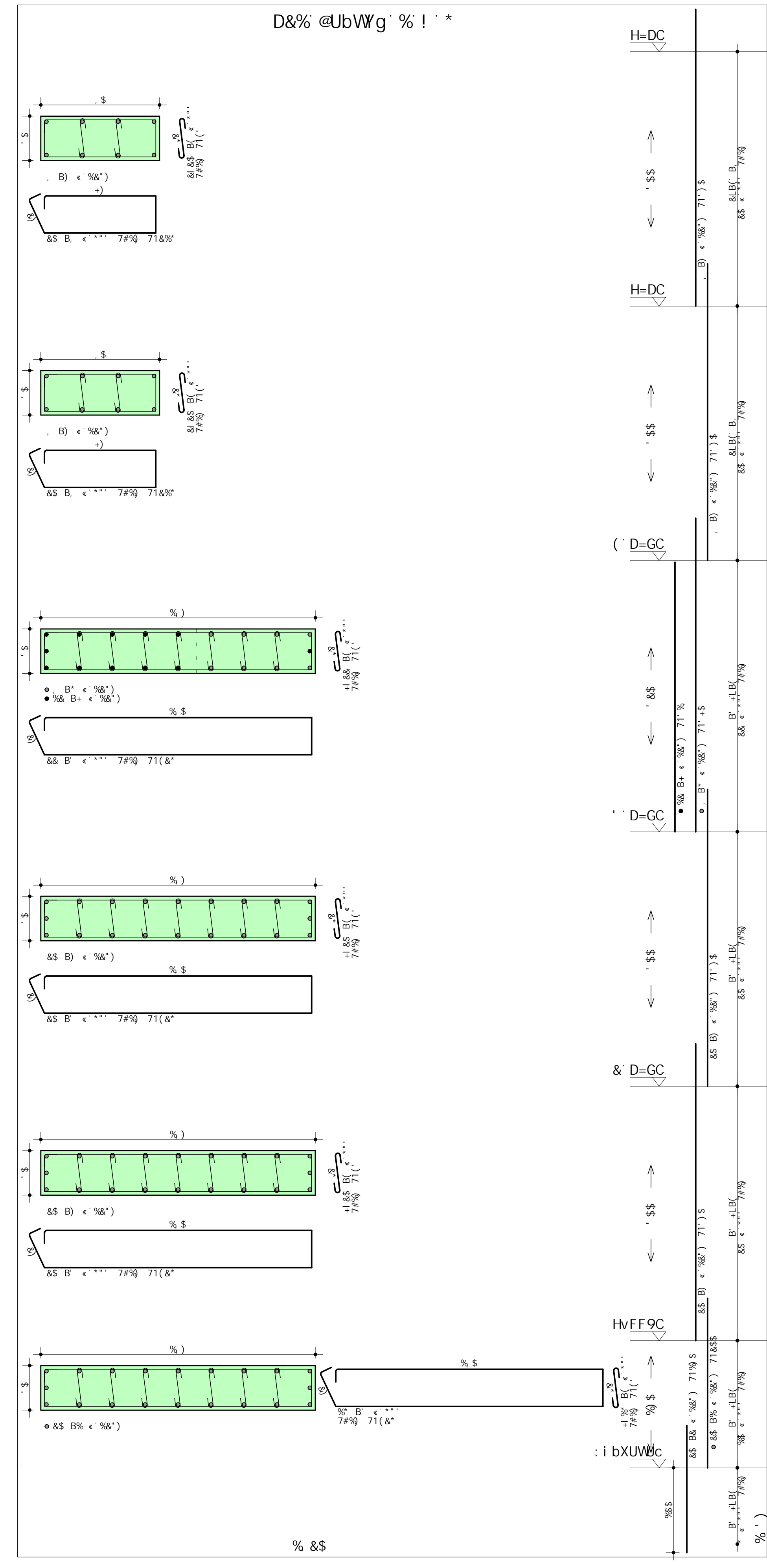
8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' W̄aYfWU'`



8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' W̄aYfWU'`



8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' W̄aYfWU'`



8YgYb\c' dfcXi n] Xc' dcf' j Yfg~c' UWUX..a] WUž' dfc] V] Xc' i gc' W̄aYfWU'`

SUC	DOG	6-H	EI SBH	ZCADF-A9BHC	IB-H	HCH50
W	W	W	W	W	W	W
D&% @UbWg % ! *	...	...	...	...	...	...
D&& @UbWg % ! *	...	...	...	...	...	...
D& @UbWg % ! *	...	...	...	...	...	...
D& @UbWg % ! *	...	...	...	...	...	...

SUC	6-H	B9	SUC	D9CC
W	W	a	W	W
DYgc HCHU	...	...	...	...
...	...	...	...	...

TCC/FHC  
ZW. 1.) ADU  
970 T JJK DUBURHU

**Vinicius Felzmann**  
projeto de TCC

\$\$\$  
\$+\*

\$

\$

\$

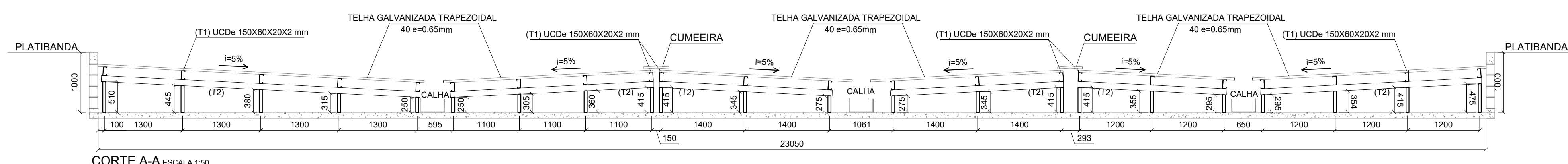
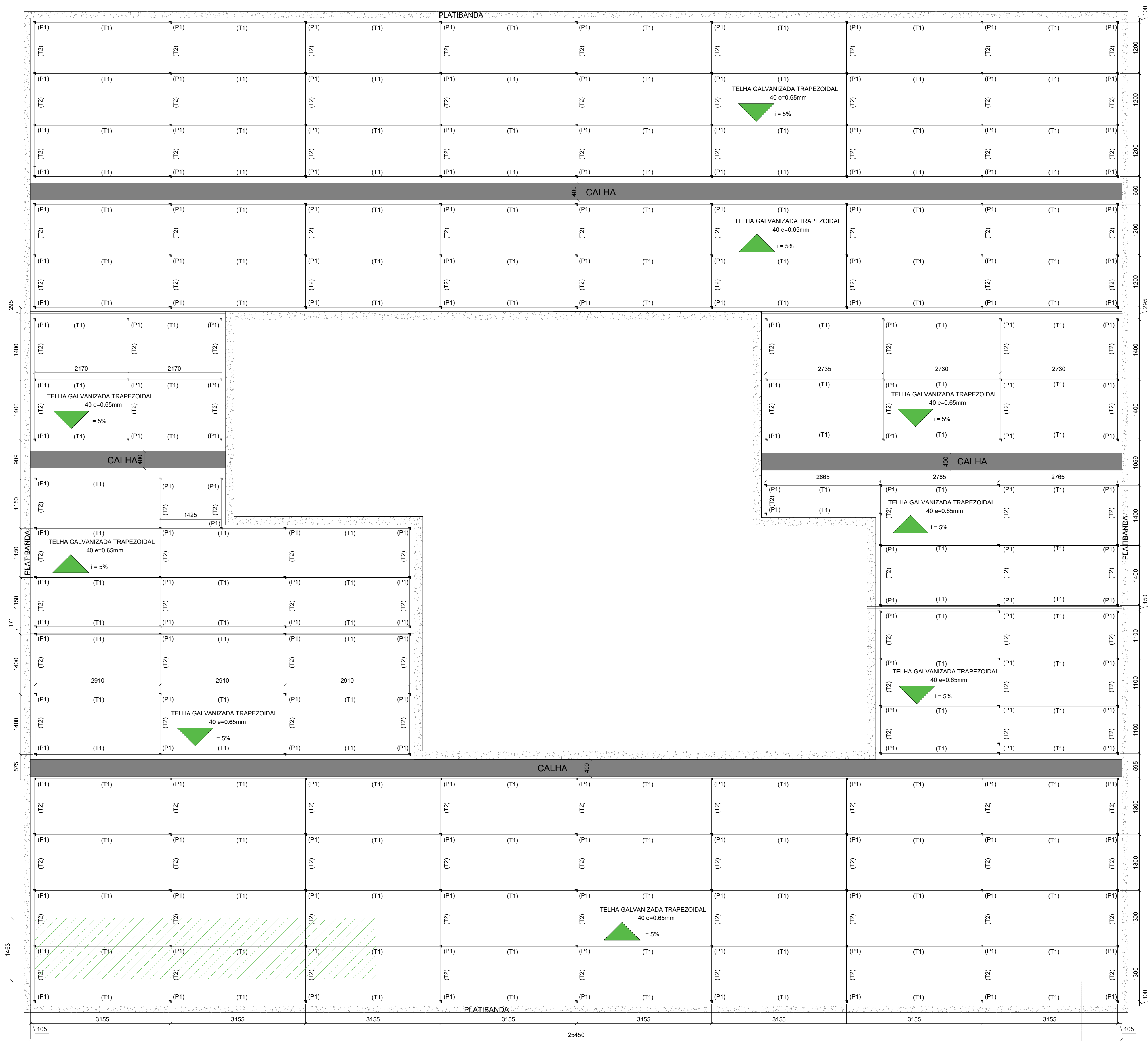




## **APÊNDICE H – Detalhamento da cobertura metálica**



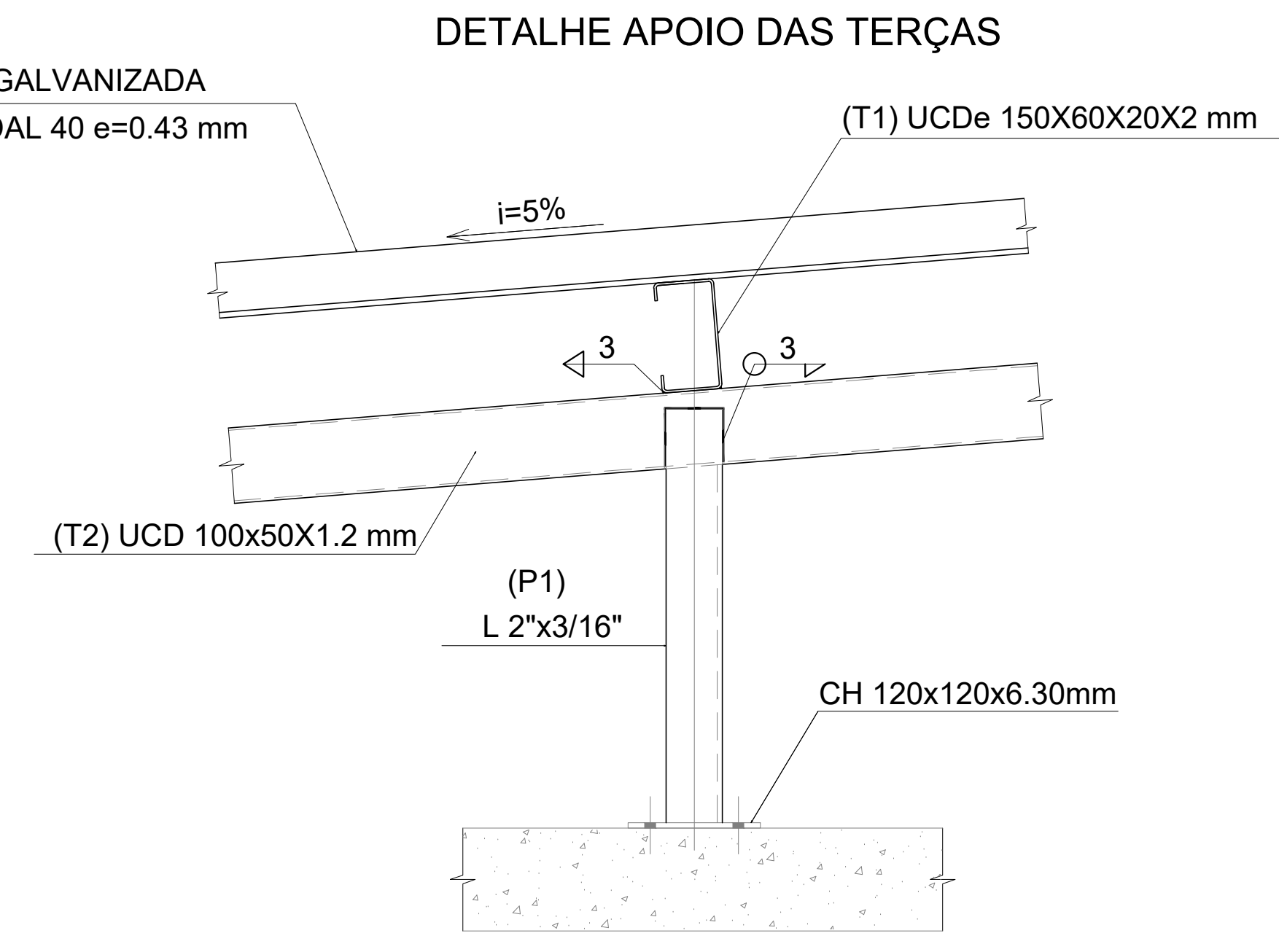
ESTRUTURA METÁLICA COBERTURA DO TELHADO (PROJETO 1 - CONCRETO ARMADO)  
ESCALA 1:50



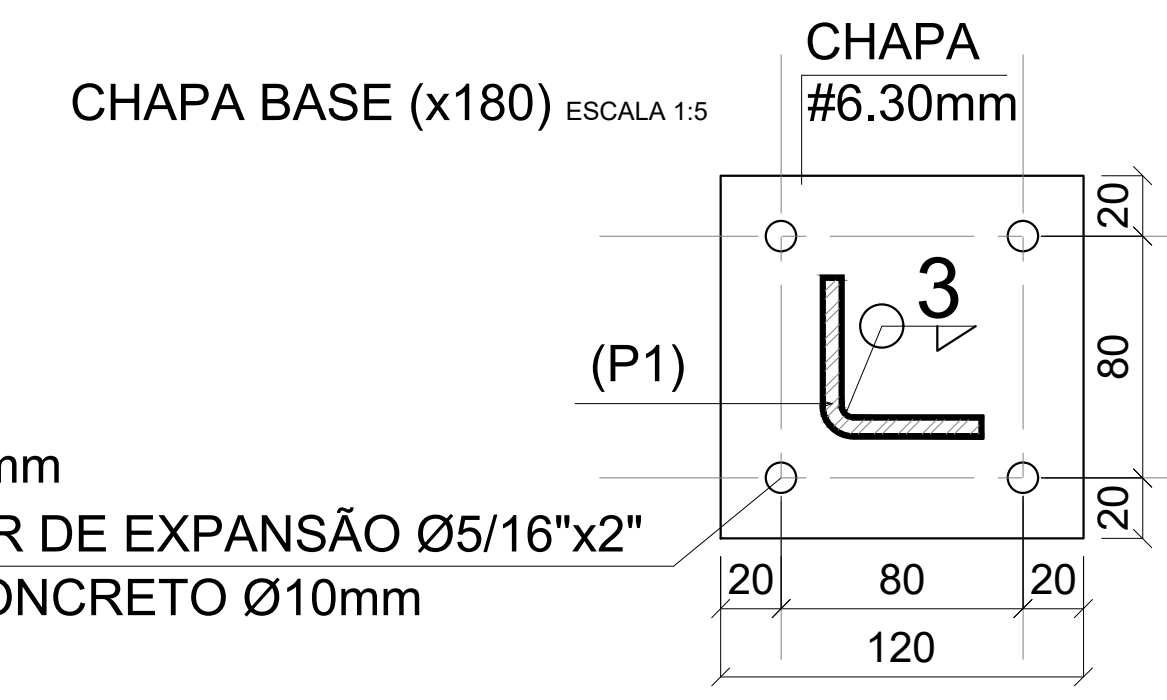
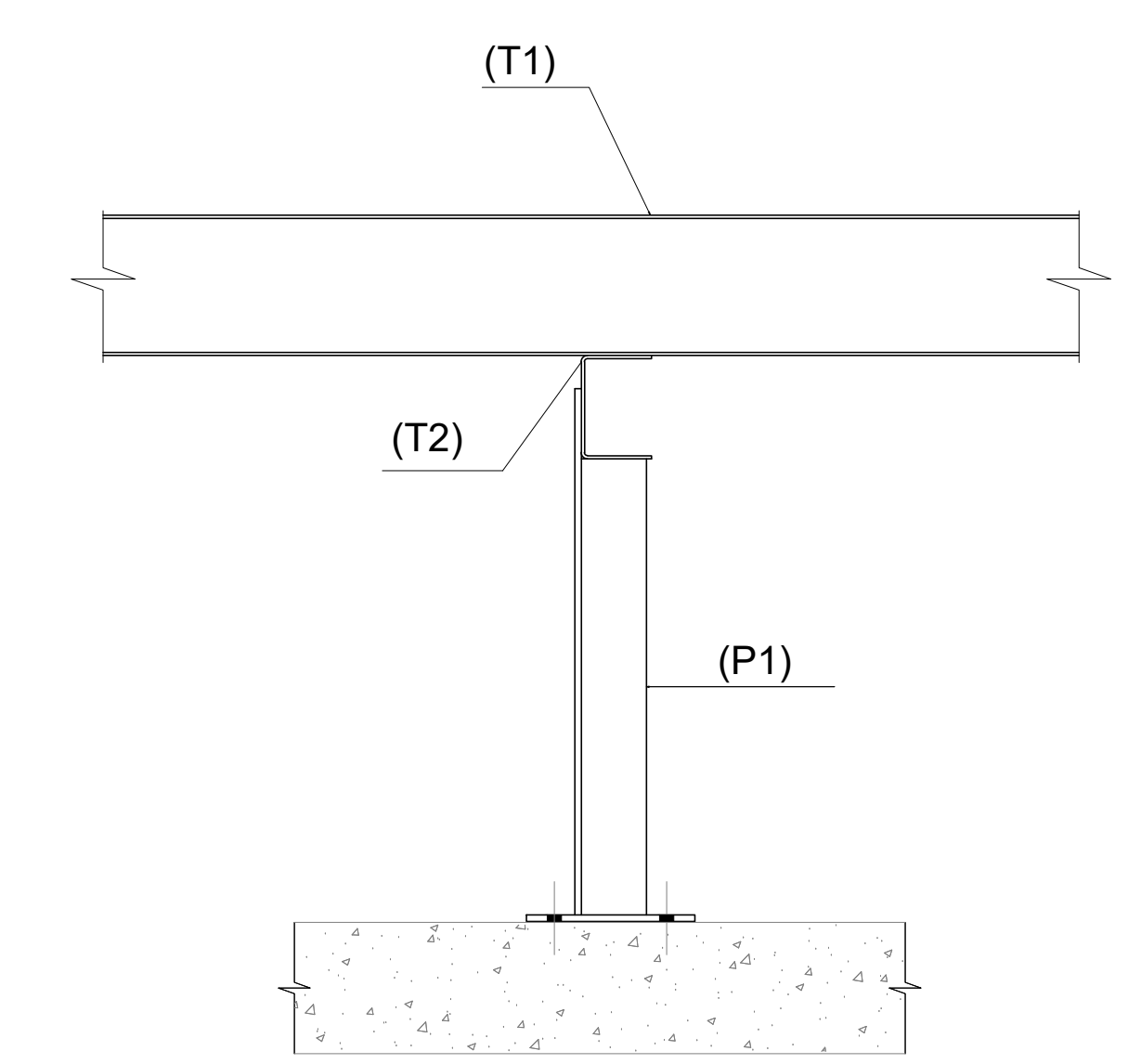
RESUMO DE MATERIAL

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT	UN	PESO (kgf)
T1	UCDe 150X60X20X2 mm	444	m	2060
T2	UCD 100x50x1,2 mm	166	m	312
PILARES	L 2"x3/16"	65	m	234
CHAPAS	CHAPA 120X120X6,3mm	2.6	m²	128
TOTAL				2734

CHUMBADOR DE EXPANSÃO Ø5/16"x2" = 720 un  
TELHA GALVANIZADA TRAPEZOIDAL 40 e=0.43 mm = 465 m²



VISTA LATERAL

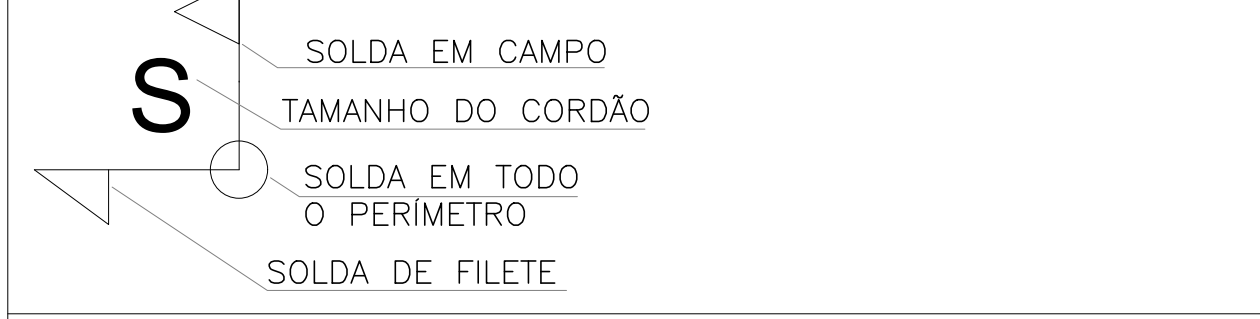


FUROS Ø10mm  
CHUMBADOR DE EXPANSÃO Ø5/16"x2"  
FURO NO CONCRETO Ø10mm

NOTAS

- ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS:
  - A. AÇOS:
    - CHAPAS \_\_\_\_\_ ASTM A-36
    - PERFIS DOBRADOS \_\_\_\_\_ ASTM A-36
    - PERFIS LAMINADOS \_\_\_\_\_ ASTM A-36
    - PERFIS W LAMINADOS \_\_\_\_\_ ASTM A 572 G-50
    - CHUMBADORES \_\_\_\_\_ SAE 1020
    - BARRAS CIRCULARES \_\_\_\_\_ ASTM A-36
  - B. ELETRODOS \_\_\_\_\_ E70-XX
  - C. PARAFUSOS E PORCAS \_\_\_\_\_ ASTM A-307// Classe 8.8
- UNIDADES: ESTRUTURA METÁLICA EM mm
- CONFERIR MEDIDAS NA OBRA.
- FAZER PRÉ-MONTAGEM EM TODAS AS PEÇAS DA ESTRUTURA METÁLICA
- Os desenhos de estrutura, arquitetura e instalações se completam.
- LIGAÇÕES PARAFUSADAS:
  - As conexões parafusadas deverão ter no mínimo dois parafusos, exceto para as conexões secundárias.
  - Os furos devem respeitar as folgas determinadas por norma.
- SOLDA ELÉTRICA (ELETRODO E70-XX)
  - As peças deverão ser soldadas em todo o perímetro de contato.
  - As superfícies a serem soldadas deverão estar limpas e livres de escórias, ferrugem, óleo, graxa, umidade, restos de tinta e outras impurezas.
  - Na execução das costuras de solda, deverá ser utilizada a sequência apropriada a fim de minimizar as deformações das peças conectadas e as tensões residuais.
  - Espessuras mínimas e máximas de solda de ângulo e penetração parcial conforme tabela abaixo:

ESPESSURA DA PEÇA BASE	ESPESSURA MÍNIMA DA SOLDA
DE 1/4" INCLUSIVE.	1/8" (3mm.)
DE 1/4" ATÉ 1/2".	3/16" (5mm.)
DE 1/2" ATÉ 3/4".	1/4" (6mm.)



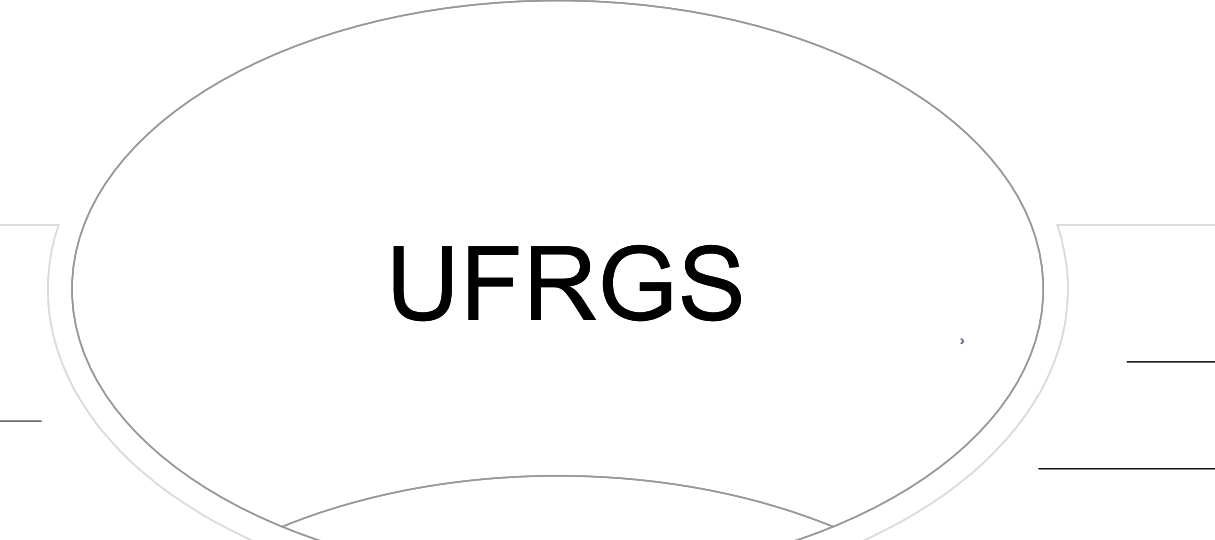
ESPESSURA DA PEÇA BASE	ESPESSURA MÁXIMA DA SOLDA
ATÉ 1/4".	1/4".
> 1/4".	ESPESSURA DA PEÇA - 1/16".

- PINTURA:
  - Ambiente com agressividade baixa.
  - Preparo superficial com jato de areia abrasivo ao metal quase branco conforme padrão Sa 2 1/2.
  - Graxas, óleos, poeira, ferrugem e carepa devem ser cuidadosamente removidos antes da aplicação do fundo.
  - Fundo apropriado nas soldas feitas na obra, com duas demãos, 35 micrômetros/demão.
  - Tinta de acabamento Esmalte/35 micrômetros, duas demãos, na cor a ser definida pela arquitetura.

PROCEDIMENTOS P/ ANCORAGEM COM CHUMBADOR MECÂNICO

- 1 - FURAR O CONCRETO EXISTENTE COM FURADEIRA, SENDO O DIÂMETRO DA BROCA UMA BITOLA MAIOR QUE O Ø DO PARAFUSO, COM PROFUNDIDADE CONFORME COMPRIMENTO DO PARAFUSO;
- 2 - LIMPEZA COM REMOÇÃO DA POEIRA, NATA DE CIMENTO, GRAXAS E DE PARTES SOLTAS, COM USO DE JATO DE AR;
- 3 - REMOÇÃO DO REVESTIMENTO DAS VIGAS EXISTENTES EM CONTATO COM A ESTRUTURA A SER EXECUTADA.

PROJETO E EXECUÇÃO  
VINICIUS FELZMANN



TIPO DE PROJETO: COBERTURA METÁLICA

Rua Geraldo Pereira nº 560  
Bairro Alto da Bronze  
Estrela - RS

PROJETO DE TCC

Data:  
2023