



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCCAS ANDRÉ FELIX SILVA

**PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO DE UMA RESIDÊNCIA DE
ALTO PADRÃO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE CARUARU**

Caruaru

2022

LUCCAS ANDRÉ FELIX SILVA

**PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO DE UMA RESIDÊNCIA DE
ALTO PADRÃO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE CARUARU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Prof. D.Sc. José Moura Soares

Caruaru

2022

AGRADECIMENTOS

À Deus, inefável, por ter me dado sabedoria e força para superar todos os obstáculos nesses anos de graduação.

À minha mãe Andrea, minha avó, e segunda mãe, Salete, meu avô, e pai, Benedito (in memorian), meu irmão Emmanuel, meu primo Carlinhos, minha tia Socorro e meu padraсто Cairo; por toda motivação e esforço que foram indispensáveis para a conclusão deste curso.

Ao meu orientador e amigo professor Moura, ao qual tive o prazer de cursar cinco disciplinas, pelo interesse em contribuir com este trabalho com total dedicação e por todas as conversas e conselhos a qualquer hora.

Ao professor e amigo Pedro Pereira, que me deu oportunidade de ser monitor por quatro períodos, me possibilitando conhecer, de maneira prática, a atividade de docência, que está entre minhas metas de vida.

Aos demais professores que contribuíram para minha formação, em especial: Cléssio Leão, Douglas Mateus, Elder Vasconcelos, Flávio Eduardo, Giuliana Bono, Gustavo Bono, Humberto Correia, Michele Mara, Rubens Silva e Saulo de Tarso.

À Pórtis Jr., ao qual tive oportunidade de contribuir no setor de projetos, que me apresentou a parte prática da Engenharia e me capacitou em projetos estruturais no CypeCAD, capacitação essa que foi crucial para a elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos de graduação: André Inácio, Anthony Santos, Ayrton Victor, Daniel Silva, Daysa Barbosa, Erik Assunção, Gleyce Nair, Jafé Macêdo, João Pedro, Maria Eulália e Priscila Camelo; por todo companheirismo e cooperação neste tempo de graduação e que espero que seja eterno.

Aos meus amigos da época de colégio, que até hoje estão comigo apoiando e dividindo bons momentos, na medida do possível: Dorinha Miranda, Marcos Carlos, Monique Praça e Raí Leite.

E a todos aqueles que, de alguma forma, me desejaram sucesso nesta jornada que se encerra e a outra que se inicia.

“Se vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”

Isaac Newton

Projeto estrutural em concreto armado de uma residência de alto padrão localizada no município de Caruaru

Structural design in reinforced concrete of a high standard residence located in municipality of Caruaru

Luccas André Felix Silva¹

RESUMO

As estruturas de concreto armado possuem destaque no mercado da construção civil, como sendo a mais utilizada no Brasil. Objetivando a aplicação dos conhecimentos estudados na graduação, este presente trabalho descreve a elaboração de um projeto estrutural, em concreto armado, de uma residência de alto padrão com uma complexa arquitetura e, conseqüentemente, diversos desafios estruturais (escada moderna, grandes reservatórios, balanços com grandes vãos e lajes inclinadas). Foram utilizados softwares de dimensionamento estrutural, sendo eles: CypeCAD, para o dimensionamento de vigas, lajes maciças, pilares e fundações; e STG (Software Treliças Gerdau) para o dimensionamento das lajes pré-moldadas. Para o cálculo da escada foi desenvolvida uma rotina no software MathCAD utilizando modelos de cálculo disponíveis na literatura. É preciso definir dimensões iniciais antes de realizar o dimensionamento, etapa denominada de pré-dimensionamento; que utiliza de métodos e fórmulas empíricas para obtenção destes resultados, sendo desenvolvida uma planilha eletrônica com automatizações para este fim. De posse dos dados de pré-dimensionamento, foi feita a modelagem da estrutura no CypeCAD, com as lajes pré-moldadas calculadas pelo STG, e feito o dimensionamento. Após este processo, foram apresentados erros de dimensionamento, que foram corrigidos com soluções embasadas nos conhecimentos de estrutura adquiridos na graduação. Apesar dos erros serem eliminados, é necessário realizar a otimização da estrutura (uniformização dos diâmetros das barras de aço, redução da taxa de aço e correções para facilitar a execução). As decisões tomadas para a correção de erros e otimização dos valores apresentados apresentaram sucesso, de forma que a estrutura final respeita as exigências da ABNT NBR 6118:2014 e maior facilidade de execução, sem gerar gastos desnecessários.

Palavras-chave: concreto; aço; pré-dimensionamento; CypeCAD

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: lucas.fsilva@ufpe.br

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are highlighted in the civil construction market, as the most used in Brazil. Aiming the application of the knowledge studied at graduation, this present work describes the elaboration of a structural project, in reinforced concrete, of a high standard residence with a complex architecture and, consequently, several structural challenges (modern stairs, large reservoirs, cantilevers with large spans and sloping slabs). Structural design software was used, namely: CypeCAD, for the design of beams, solid slabs, column and foundations; and STG (Software de Trelças Gerdau) for the design of lattice slabs. For the calculation of the stairs, a routine was developed in the MathCAD software using calculation models available in the literature. It's necessary to define initial dimensions before carrying out the dimensioning, a step called pre-dimensioning; that uses methods and empirical formulas to obtain these results, being developed an electronic spreadsheet with automations for this purpose. With the pre-dimensioning data, the structure was modeled in CypeCAD, with the lattice slabs calculated by the STG, and the dimensioning made. After this process, design errors were presented, which were corrected with solutions based on the knowledge of structure acquired in university. Despite the errors being eliminated, it is necessary to carry out the optimization of the structure (standardization of the diameters of the steel bars, reduction of the steel rate and corrections to facilitate the execution). The decisions taken to correct errors and optimize the values presented were successful, so that the final structure complies with the requirements of ABNT NBR 6118:2014 and is easier to implement, without generating unnecessary expenses.

Keywords: concrete; steel; pre-dimensioning; CypeCAD.

DATA DE APROVAÇÃO: 3 de novembro de 2022.

1 INTRODUÇÃO

Estruturas é uma das áreas que compõe a Engenharia Civil, tendo como objetivo estudar os elementos responsáveis pela sustentação das construções, que são, essencialmente, as vigas, lajes e os pilares; podendo ser constituídos de materiais distintos, como: concreto armado, aço ou madeira, onde o engenheiro deve decidir qual apresenta melhor viabilidade econômica e técnica para cada aplicação.

Dos materiais citados, o Concreto Armado é o mais utilizando no Brasil, sendo aplicado em qualquer construção: residências, edifícios (residenciais e/ou empresariais) pontes, entre outras. Essas estruturas são caracterizadas por possuírem dois materiais que trabalham em conjunto:

concreto, responsável por combater os esforços de compressão, e aço, que combate os esforços de tração. O Concreto Armado alia as qualidades do concreto (baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água) com as do aço (ductilidade e excelente resistência à tração e compressão) (BASTOS, 2019). As recomendações e diretrizes para o dimensionamento das estruturas de concreto armado estão descritas na Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014.

Com o avanço da computação, vários softwares para engenharia foram desenvolvidos, dentre eles softwares para cálculo estrutural, sendo o CypeCAD um dos mais utilizados. A análise estrutural é realizada nesse software por meio de um pórtico espacial (cada nó possui 6 graus de liberdade: três translações e três rotações), processado por métodos matriciais de rigidez, levando em consideração pilares, vigas, lajes, alvenarias, enfim todos os elementos estruturais presentes na estrutura analisada. (BARBOZA, 2019). O software possibilita fazer o lançamento dos elementos estruturais, cálculo, detalhamento e lista de quantitativos de forma automatizada e eficaz. Entretanto, o software não dispensa a análise do profissional de engenharia, buscando evitar dimensionamentos abaixo do necessário (subdimensionamento) gerando riscos à segurança dos usuários, e dimensionamentos exagerados (superdimensionamento) levando a gastos desnecessários.

A primeira etapa de um projeto estrutural é a concepção, onde o calculista deve dispor os elementos estruturais buscando um arranjo que atenda ao projeto arquitetônico. Antes de realizar o dimensionamento, é necessário definir as dimensões iniciais dos elementos estruturais, denominado de pré-dimensionamento.

Após o lançamento estrutural no software segundo a concepção e o pré-dimensionamento, é necessário lançar os carregamentos atuantes que são normatizados pela ABNT NBR 6120:2019 e presentes também na literatura. Uma vez concluído o processamento e cálculo da estrutura, o software emite um relatório de erros e o memorial de cálculo de todos os elementos, possibilitando uma análise para correção e otimização.

É possível realizar o cálculo de duas formas: A superestrutura isolada (vigas, lajes e pilares) e toda edificação com as fundações. Neste trabalho o cálculo será feito, inicialmente, da superestrutura e, após a correção de erros, serão inseridos os elementos de fundação para o dimensionamento completo.

A residência de alto padrão escolhida, representada na Figura 1, localizado no município de Caruaru no condomínio Monteverde, possui um pavimento térreo e um superior, além de três grandes reservatórios, escada plissada autoportante, grandes balanços e telhados sobre lajes inclinadas. A complexidade da residência motivou o lançamento estrutural, análise e busca de

soluções para correção de erros de dimensionamento e a otimização da estrutura.

Figura 1 – Modelagem da residência



Fonte: Autor, 2022.

2 METODOLOGIA

A metodologia consistiu nas etapas de: Pré-dimensionamento, concepção estrutural, configuração e lançamento no CypeCAD, dimensionamento das lajes treliçadas, dimensionamento da escada, correção de erros, inserção das fundações e otimização da estrutura; como podemos detalhar nos itens a seguir.

2.1 Pré-dimensionamento

Para o dimensionamento de estruturas de concreto armado é necessário informar dimensões iniciais. Este pré-dimensionamento é feito por meio de equações empíricas e da Mecânica dos Materiais.

O método utilizado para o pré-dimensionamento dos pilares foi o das áreas de influência, Equação 1, onde calcula-se a área da seção do pilar (A_c) a partir da aproximação da carga superficial atuante nas lajes vizinhas do referido pilar, da resistência característica do concreto (f_{ck}) e o número de pavimentos que o pilar engloba (n). Por haver uma aproximação da flexo-compressão, que é o esforço que pilares são comumente submetidos, por compressão simples, é necessário majorar a força normal por uma constante (γ) (Tabela 1) que depende do posicionamento do pilar

$$A_c = \frac{12\gamma A_i(n+0,7)}{0,6f_{ck}+0,84} \quad (1)$$

Tabela 1 – Constante γ

CLASSIFICAÇÃO DO PILAR	γ
Centro	1,8
Extremidade	2,2
Canto	2,5

Fonte: Alva, 2003.

Para as lajes, a espessura é obtida pela razão do menor vão da laje por uma constante (α) (Tabela 2) que depende do método construtivo (maciça, nervurada ou treliçada). Caso espessura esteja abaixo do mínimo especificado em norma, deve ser feita a devida correção. Em vigas o procedimento é bastante semelhante, onde é feita a razão do vão efetivo de cada tramo por uma constante (β) que depende da posição deste (Tabela 3).

Tabela 2 – Constante α

TIPO DE LAJE	α
Maciça	40
Nervurada	30
Treliçada	25

Fonte: Alva, 2003.

Tabela 3 – Constante β

POSIÇÃO DO TRAMO	β
Interno	12
Externo/biapoçada	10
Balanço	5

Fonte: Bastos, 2021

Por ser um procedimento repetitivo e, para a residência em questão, com um elevado número de elementos estruturais, foi elaborada uma planilha no *Excel* com o recurso de MACROS, onde uma automatização e padronização foi aplicado no processo.

Na interface da planilha, Figura 2, onde é possível escolher, por meio de botões, a criação de abas para o pré-dimensionamento de pilares, vigas e lajes. A planilha é construída automaticamente, com o recurso de MACROS, e o usuário consegue cadastrar as informações dos elementos e gerar um banco de dados com o pré-dimensionamento de cada elemento. Na Figura 3 se observa a planilha modelo para pré-dimensionamento dos pilares.

Figura 2 – Interface da planilha de pré-dimensionamento



Fonte: Autor, 2022.

Figura 3 – Planilha de pré-dimensionamento de pilares

ENTRADA							CADASTRAR	Dados de entrada	
PILAR	CLASSIFICAÇÃO	NÍVEL INICIAL	NÍVEL FINAL	ALTURA (M)	ÁREA DE INFLUÊNCIA (M ²)	NÚMERO DE PAVIMENTOS		Carga superficial [kN/m ²]	
								fck [MPa]	
								Taxa de armadura [ad]	
								Módulo de elasticidade do aço [GPa]	
								Esbeltez máxima	
Coeficientes de flexão composta									
Classificação								Coeficiente	
Centro								1,8	
Extremidade								2,2	
Canto								2,5	

Fonte: Autor, 2022.

Além do pré-dimensionamento, são feitas algumas verificações dos valores obtidos, como: Dimensões mínimas de pilares e lajes maciças, correção de esbeltez dos pilares e escolha de treliças comerciais para as lajes pré-moldadas.

2.2 Concepção estrutural

A concepção estrutural consiste em “montar” o pórtico espacial, ou seja, fazer a disposição de todos os elementos estruturais priorizando a arquitetura, a economia e a facilidade de execução. É uma etapa crucial na elaboração de projetos estruturais, pois há diversas formas de conceber a estrutura de um mesmo projeto arquitetônico e cada uma delas apresentará resultados distintos, onde o desejável são os arranjos com mais econômicos.

Na disposição dos pilares é necessário fazer a alocação em locais possíveis encontros de vigas. Deve-se estar atento com as aberturas de escadas, reservatórios, esquadrias, balanços e estacionamentos, que são regiões onde os pilares não podem ser posicionados para conservar as exigências arquitetônicas. Para uma concepção econômica, a direção do maior lado do pilar deve ser posicionada direção de maior viga em contato com esse pilar, pois a direção de maior flambagem coincide com a maior inércia, reduzindo a área de aço, desde que permitido pelo projeto arquitetônico.

Uma possibilidade para que se respeite a arquitetura e mantenha os elementos em direções econômicas é dispor pilares que mudam de direção, visto que a direção viga de maior vão pode se modificar à medida que os pilares chegam a novos pavimentos.

Outra solução é inserir pilares que nascem em vigas (vigas de transição). Esta solução não é

muito indicada do ponto de vista econômico, pois aumenta significativamente o esforço em vigas e, conseqüentemente, a área de aço; porém é uma saída para residências com arquiteturas que apresentem maiores graus de complexidade.

Na concepção das vigas é preciso realizar o travamento dos pilares, para reduzir os comprimentos de flambagem dos elementos verticais, e vãos que definam as lajes, já que o dimensionamento das lajes está diretamente ligado à carga atuante e ao menor vão de cada laje. Como a laje adotada para os pisos foi a laje treliçada, é importante manter vãos entre 3 e 4 metros, para evitar a utilização de treliças com altura acima de 12 cm (TG12645), resultando em uma altura de laje de 13 cm e 17 cm.

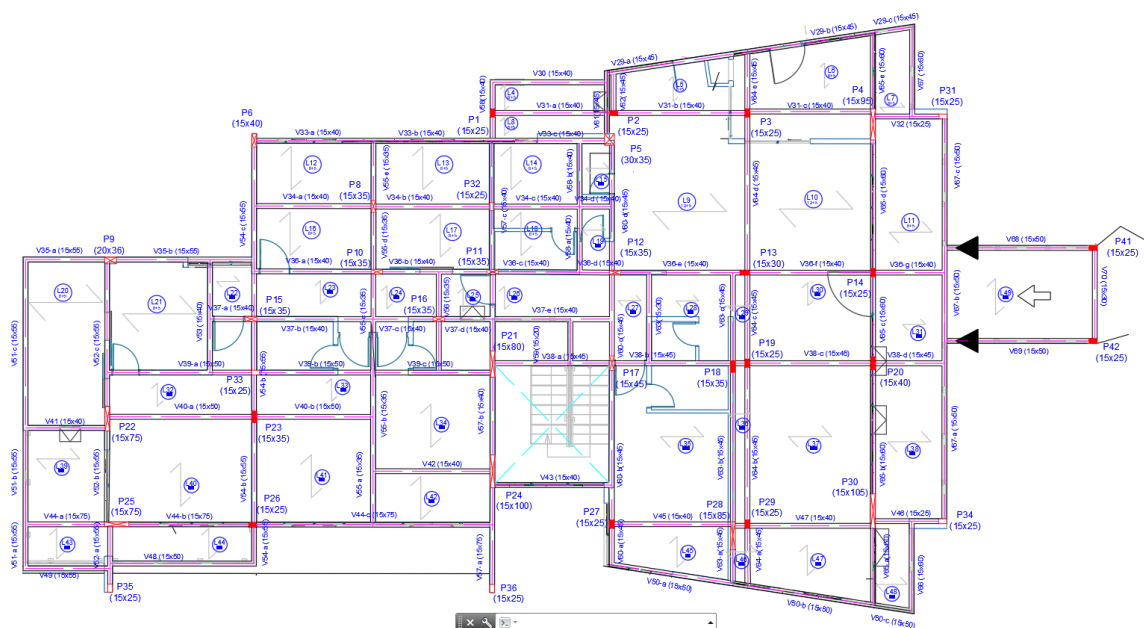
É recomendado que as vigas possuam a maior quantidade de apoios possível, sejam pilares ou outras vigas, para evitar acúmulo de esforços. Empiricamente é dito que vãos de 2,5 a 6 metros (BITTENCOURT et al, 2022), para vigas apoiadas, estão dentro de um dimensionamento econômico.

Lajes são elementos que dependem da disposição das vigas, como dito anteriormente, que, para lajes treliçadas, os vãos econômicos estão entre 3 e 4 metros, portanto as treliças devem ser dispostas na direção do menor vão entre as vigas.

De acordo com a necessidade, é possível utilizar lajes maciças, que apresentam resistência bastante superior, porém com custos mais elevados em relação a laje pré-moldada. Neste projeto foram adotadas as lajes maciças para: Fundos/tampas de reservatório e lajes inclinadas da coberta.

A Figura 4 representa a concepção do pavimento superior, a partir da arquitetura, feita com o software *AutoCAD* com os elementos pré-dimensionados, de todos os elementos. As plantas de forma serão utilizadas como base para o lançamento estrutural no *CypeCAD*.

Figura 4 – Concepção e pré-dimensionamento do pavimento superior



Fonte: Autor, 2022.

2.3 Configuração e lançamento no CypeCAD

Inicialmente é preciso realizar as configurações no software, sendo as principais: escolher as normas vigentes, resistência do concreto, agregado graúdo, classe de agressividade, tensão admissível do solo e cargas de vento.

Foi adotado um f_{ck} de 25 MPa para todos os elementos com agregado graúdo de basalto 19 mm, conhecida comercialmente como brita 19. Este concreto é comumente utilizado em obras de residências e apresenta facilidade de compra em usinas no município de Caruaru.

A residência se enquadra na classe de agressividade II (urbano), logo a configuração de cobrimento dos elementos segue as recomendações da ABNT NBR 6118:2014 com 2,5 cm para lajes e 3 cm para vigas e pilares, e limite de fissuração de 0,3 mm.

Devido à ausência de laudos de SPT, foi adotado, na profundidade de assentamento de das fundações de 2 m, um número de 20 golpes, onde, empiricamente, a tensão admissível (em kgf/cm^2) do solo pode ser obtida pela razão do número de golpes (NSPT) por 5, porém esta consideração só pode ser feita para um número de golpes máximo de 20 e mínimo de 5 (BOTELHO E CARVALHO, 2007).

Essa profundidade de assentamento é característica para regiões do Planalto da Borborema, no qual o município de Caruaru se localiza, e onde observa-se elevadas resistências a pequenas profundidades (cerca de 2m), muitas vezes encontrando-se rochas graníticas. Estas características levam a adoção de fundações rasas (sapatas isoladas e/ou associadas), segundo a ABNT NBR 6122:2022 (Projeto e execuções de fundações).

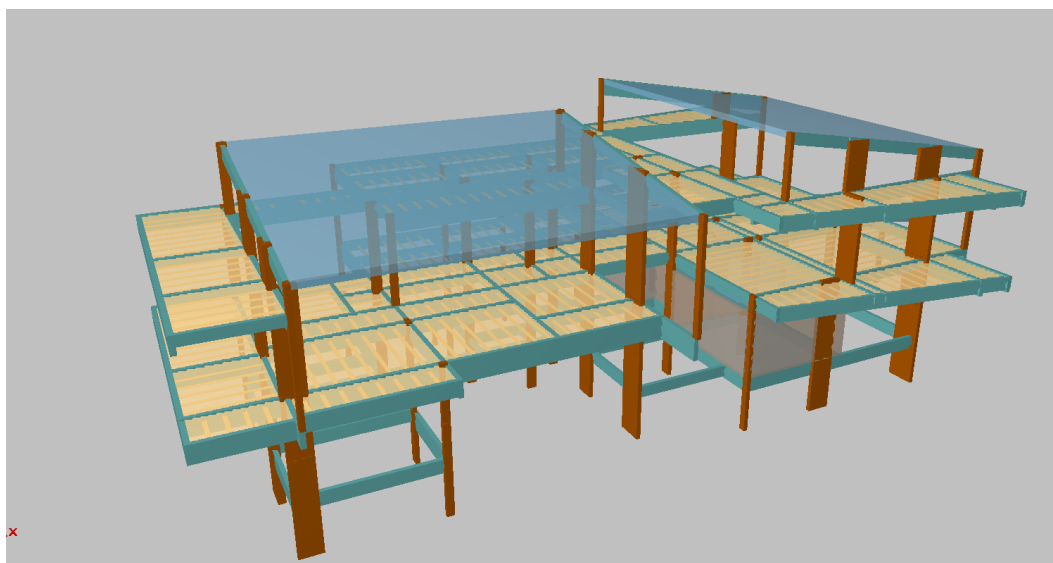
Os efeitos de vento foram configurados seguindo os critérios da ABNT NBR 6123:1988 com uma velocidade básica de 30 m/s para a região de Caruaru, categoria II, classe B e fator probabilístico do grupo II. Foi habilitado os efeitos de segunda ordem, que considera a peça de nos pilares o surgimento de um momento devido à excentricidade gerada pela carga de vento, com isso é possível um dimensionamento mais seguro dos elementos verticais.

A modelagem foi feita com os valores obtidos pelo pré-dimensionamento. O CypeCAD modela pórtico em planta e a apresenta a visualização tridimensional. Inicialmente não foram inseridos os elementos de fundação, Figura 5, já que é possível realizar o cálculo inicialmente com vigas, lajes, pilares e cortinas de concreto e, posteriormente, o dimensionamento das fundações.

Para a laje de fundo do reservatório foi considerada uma espessura mínima de 12 cm, por ser a região mais solicitada e as paredes devem possuir uma espessura mínima de 12 cm (MILTON, 2010), que para este trabalho foi adotado 15 cm e uma espessura de 8 cm para a tampa com aberturas para limpeza.

Com a modelagem da edificação concluída, foram inseridas as cargas nas lajes (sobrecarga, cargas de telhas e caixa d'água), vigas (cargas de parede) e carga triangular nas cortinas de concreto (paredes dos reservatórios) com o peso específico da água, com os valores determinados pela ABNT NBR 6120:2019. Para auxiliar no cálculo das cargas de alvenaria e caixa d'água, foi feita uma rotina no software *MathCAD*, Figura 6, com os valores normativos para o peso específico da alvenaria e revestimentos; e valores comerciais de cargas de caixas d'água.

Figura 5 – Modelagem inicial



Fonte: Autor, 2022.

Figura 6 – Rotina MathCAD – Cálculo de cargas.

1. Carga de paredes

$$\gamma_{\text{bloco}} := 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \gamma_{\text{revest}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad (\text{Informações na NBR 6120:2019})$$

$$h_{\text{parede}} := 1.5 \text{ m} \quad e_{\text{parede}} := 9 \text{ cm} \quad e_{\text{revest}} := 6 \text{ cm}$$

$$q_{\text{dist}} := \gamma_{\text{bloco}} \cdot h_{\text{parede}} \cdot e_{\text{parede}} + \gamma_{\text{revest}} \cdot h_{\text{parede}} \cdot e_{\text{revest}} = 4.14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{\text{dist}} = 422.163 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

2. Carga nas lajes:

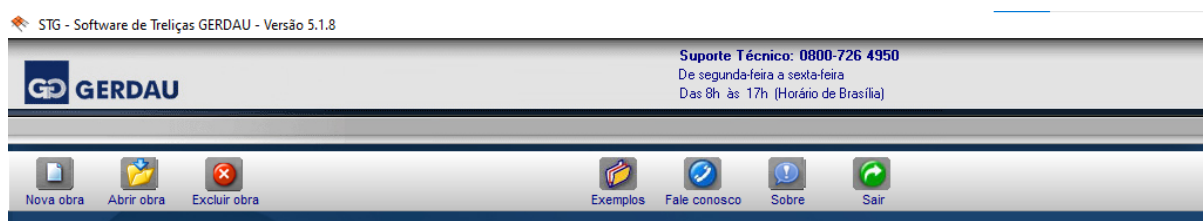
$$q_{\text{piso}} := 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{\text{amb}} := 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Informações na NBR 6120:2019})$$

$$q_{\text{piso}} = 152.957 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Fonte: Autor, 2022.

2.4 Lajes treliçadas

Neste trabalho optou-se por calcular as lajes treliçadas no software *STG* (Software de Treliças Gerda), Figura 7, da empresa Gerda, destaque no mercado na venda de insumos metálicos para construção (aço, prego, arame, treliças de lajes, etc).

Figura 7 – STG - Interface

Fonte: Autor, 2022.

Por ser de uma empresa do mercado da construção civil, o software disponibiliza as treliças, enchimento e bitolas de aço comerciais, além de realizar o dimensionamento das armaduras de reforço e contraflecha, caso necessário.

Para o cálculo, foi considerado a carga de revestimento de 150 kgf/cm², sobrecarga dos ambientes descritos na ABNT NBR 6120:2019, camada de compressão de 5 cm, enchimento em blocos de EPS, a tela Q-61 e apoios de segundo gênero nos extremos das treliças; o peso próprio é calculado automaticamente. A Figura 8 representa a interface do software com os parâmetros de entrada. Após o cálculo, é determinado a contraflecha e a armadura de reforço, se houver, Figura 9; caso a treliça escolhida não seja suficiente, um aviso de erro é apresentado e o usuário

deve escolher um modelo de maior altura. O software também fornece uma planilha de quantitativos, facilitando o orçamento e a montagem de pranchas.

Figura 8 – STG – Parâmetros

Fonte: Autor, 2022.

Figura 9 – STG – Resultado do cálculo

Fonte: Autor, 2022.

2.5 Escada

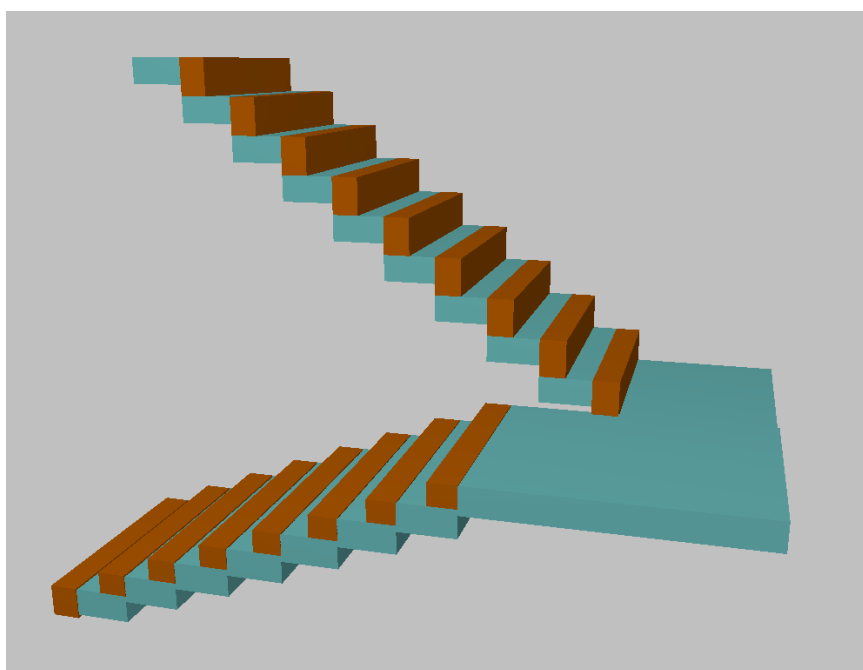
No projeto arquitetônico foi estabelecida a escada plissada, também chamada de cascata, com o patamar em balanço, ou seja, do tipo autoportante. O CypeCAD possui uma quantidade limitada de escadas que é feito o dimensionamento das armaduras, não sendo a escada plissada uma delas.

É necessário realizar o dimensionamento e detalhamento manualmente, porém é possível

utilizar o Cype3D (software integrado do CypeCAD) para fazer a modelagem da estrutura, lançamento de cargas e cálculo dos esforços, que são lançados na estrutura global após a modelagem.

A estrutura foi modelada no Cype3D, Figura 10, e para o dimensionamento foi utilizado o modelo de cálculo apresentado no livro “Curso de Concreto Armado”, volume 4, de José Milton de Araújo: Com uma seção de dimensionamento retangular, de base 100 cm e altura de acordo com a altura de laje e tamanho do espelho, se a escada for armada transversalmente, os pisos dos degraus são calculados como lajes horizontais apoiadas nos espelhos, os quais são calculados como vigas (MILTON, 2010).

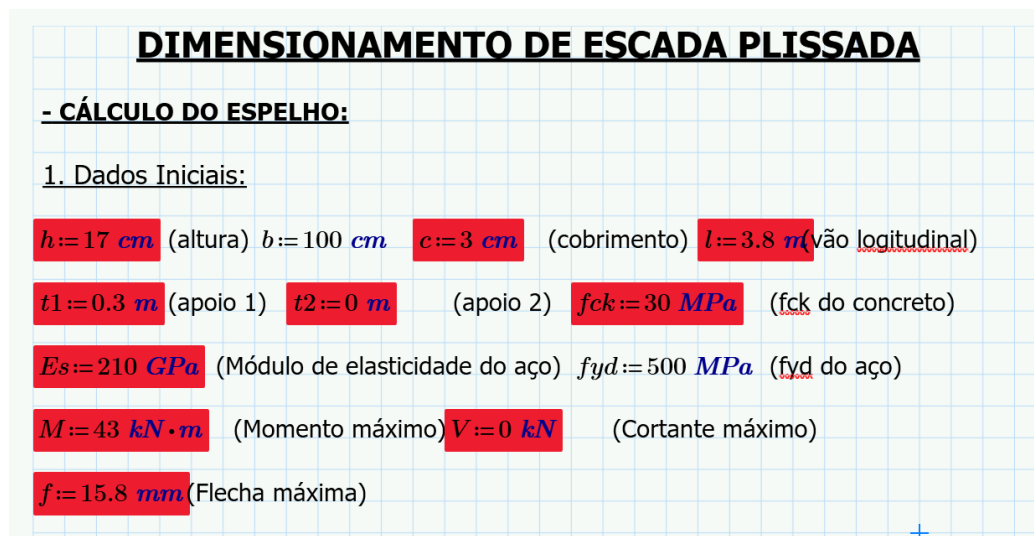
Figura 10 – Cype3D – Modelagem de escada plissada autoportante



Fonte: Autor, 2022.

Foi organizada uma rotina no software *MathCAD*, Figura 11, com o procedimento para cálculo dos pisos, degraus e patamar a partir dos esforços obtidos com o cálculo da estrutura isolada no Cype3D.

Figura 11 – MathCAD – Dimensionamento de escada plissada autoportante

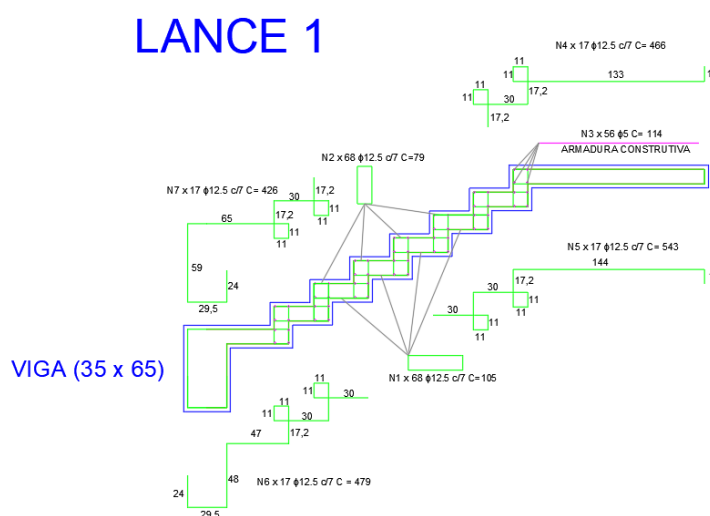


Fonte: Autor, 2022.

Para evitar o empuxo no vazio, há duas formas de armar uma escada com esta geometria: por estribos ou por armaduras de ligação. Por questões de execução, foi adotado nas partes centrais da escada a armação por estribo e armadura contínua nas regiões próximas ao apoio, com objetivo de garantir a ancoragem com as vigas de apoio.

O cálculo resultou em uma armadura de diâmetro com 12,5 mm com espaçamento de 7 cm ao longo de sua largura e armaduras construtiva de diâmetro de 5 mm para fixar a armadura principal, Figura 12. Para reduzir a espessura da laje de fundo, foi adotado um concreto de 30 MPa exclusivamente para a escada, resultando em uma espessura de laje de 17 cm e uma contraflecha de 2 cm na ponta do patamar.

Figura 12 – Detalhamento da escada



Fonte: Autor, 2022.

2.6 Correção de erros de dimensionamento e inserção das fundações

Após o dimensionamento do pórtico, uma série de erros foram apresentados e precisaram ser corrigidos com base nos conhecimentos de estruturas. Os elementos que precisaram ser corrigidos, na ordem de distribuição das cargas, foram: lajes, escada, reservatórios, vigas e pilares.

Nas lajes treliçadas, foi apontado erro de momento fletor nos apoios das lajes, pelo fato do lançamento considerar os apoios engastados, logo, pela mecânica dos materiais, há momento negativo nos apoios, momento esse que é danoso para lajes treliçadas devido à falta de concreto na região de compressão. As lajes foram calculadas como apoiadas no STG e foi preciso realizar a articulação das vigotas com as lajes, zerando o momento negativo e compensando o positivo, para o qual já foi feito o dimensionamento externamente.

Nas lajes maciças da cobertura houveram valores elevados de flecha, chegando a 5 cm na cobertura da fachada principal, grandes quantidades de aço em ambas as direções e esforços elevados nos pilares ao redor, onde uma grande taxa de aço e concreto não estava suprindo o combate a esses esforços nos elementos verticais; tal fato se deve ao fato de a concepção inicial não ter vigas na direção dos vãos menores. Foram adicionadas vigas, na ordem de 12 metros com objetivo de distribuir melhor os esforços na estrutura.

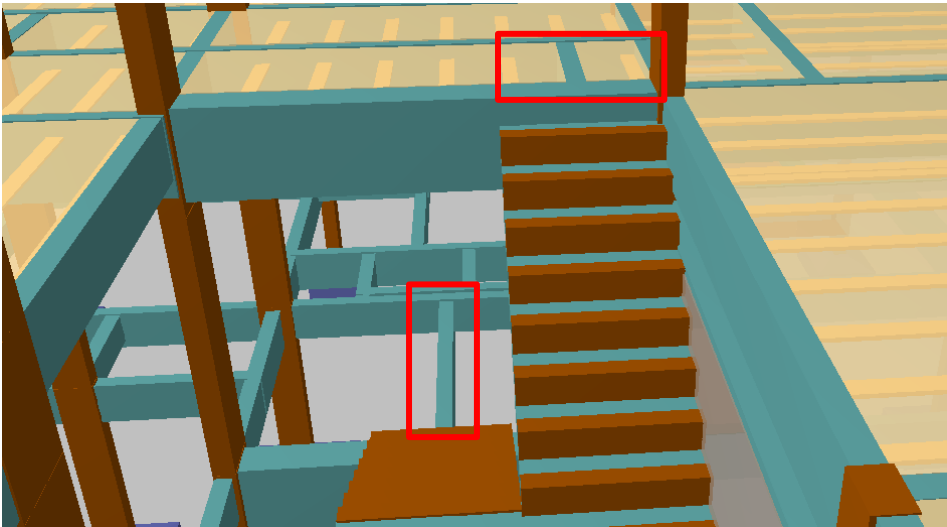
A escada ao ser calculada em conjunto com a estrutura global, reconsiderando a rigidez do pórtico inteiro, apresentou valores de deformação na ordem de 30 cm, que é uma deformação totalmente fora de norma e que levam a estrutura ao colapso.

Como solução, foram adicionadas vigas perpendicularmente ao apoio de cada lance (nível térreo e superior), Figura 13, com a finalidade de aumentar a rigidez no apoio e, pelos métodos de análises da estrutura, transferir parte do momento fletor da escada para as vigas e, consequentemente, reduzir a deformação.

As cortinas de concreto (muros) dos reservatórios apresentaram necessidades de reforço em determinadas direções. O software apresenta em seu relatório as recomendações de reforço e em qual direção a partir de indicações em vermelho, Figura 14, e por meio de um relatório, Figura 15. Todos os reforços foram adicionados, seguindo as recomendações do relatório e as irregularidades foram sanadas.

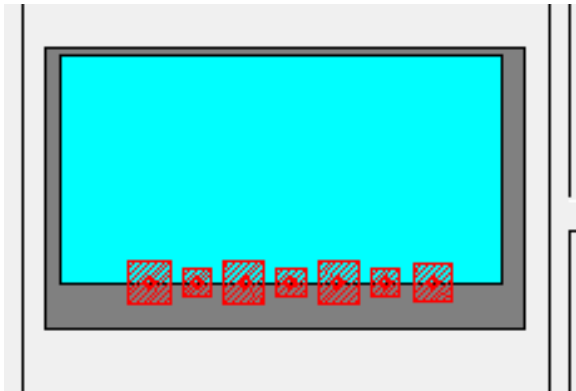
Os erros em vigas apresentaram uma maior diversidade, onde diversas correções foram feitas, baseadas na mecânica dos materiais. Os erros mais comuns foram: Flecha excessiva, resistência ao cisalhamento, resistência à esforços normais e ruptura por torção (nas vigas de apoio das escadas).

Figura 13 – Vigas no apoio dos lances da escada.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 14 – Indicações de reforço nos reservatórios.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 15 – Relatório de reforço nos reservatórios

Cortina: C2 (Terreo - Reservatorio)
Coordenadas do ponto = 3.96 , 0 m
Dimensões do reforço = 0.19 x 0.19 m
Fração da área em planta = 1.34 %

	Fator quantidade	Incremento armadura
Armadura vert. direita	0.56	---
Armadura vert. esquerda	1.02	Ø6.3c/25 cm
Armadura horiz. direita	0.21	---
Armadura horiz. esquerda	0.82	---
Armadura transversal	0.00	---
Espessura	0.19	---

Fonte: Autor, 2022.

Como solução para reduzir a flecha, e a resistência aos esforços normais, foi aumentado a rigidez (EI) da seção transversal aos esforços de flexão ($M(x)$), método mais eficiente matematicamente pela equação da linha elástica, Equação 2, pelo aumento da altura da seção retangular.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (2)$$

É sabido, das teorias de concreto armado, que a armadura responsável para combater as tensões de cisalhamento, resultado do esforço cortante, é a armadura transversal, denominada estribos. A redução do espaçamento entre os estribos e, em casos isolados, aumento do diâmetro da armadura foi a decisão tomada para garantir resistência às tensões cisalhantes.

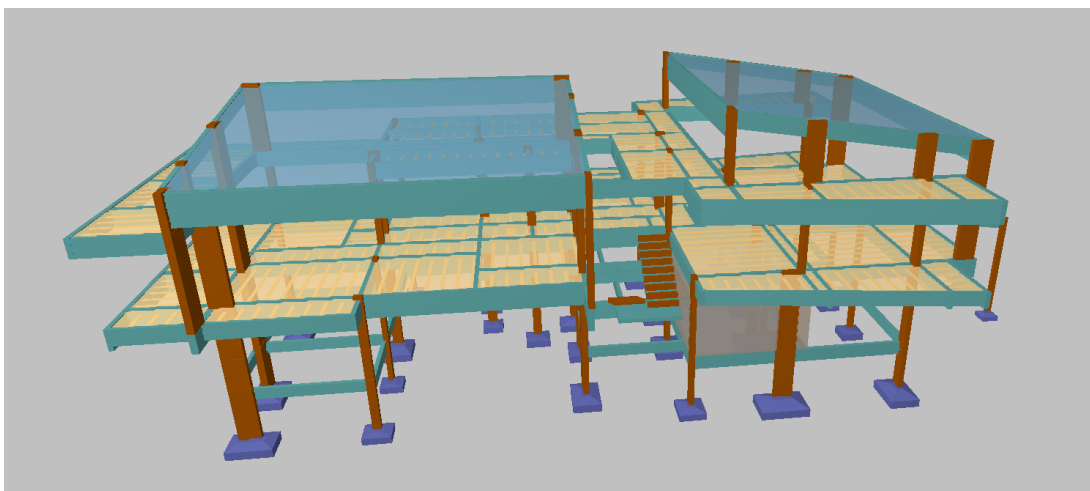
A grandeza que determina a resistência à torção é o momento de inércia polar, Equação 3 (seções retangulares). Erros por torção foram acusados nas vigas que apoiam os lances da escada. Como solução, foi elevada a inércia polar (J) dos tramos com erros de torção, buscando deixar a seção mais próximo possível de um quadrado (lados iguais), aumentando a base (b) da seção para aproximar-se da dimensão da altura (h) da seção

$$J = \frac{bh}{12}(b^2 + h^2) \quad (3)$$

No relatório de erros de pilares foram apresentados erros de menor variedade, sendo eles: Resistência aos esforços normais e resistência ao cisalhamento. Para a correção das combinações normais, foi alterada a seção na direção em que os esforços apresentaram valores mais elevados, garantido uma maior rigidez para as posições com maiores solicitações.

Para a correção de erros de cisalhamento, foi adotada a mesma solução para as vigas com a redução do espaçamento dos estribos e, em alguns casos, o aumento do diâmetro da armadura. Em alguns casos foi necessário modificar a seção, já que o espaçamento de estribos estava abaixo dos valores normativos.

Após a correção, foram adicionados os elementos de fundação, Figura 16, que, como já mencionado, o caso em questão permite a utilização de fundações rasas por meio de sapatas isoladas e associadas, para os casos de pilares próximos. O CypeCAD apresenta uma grande variedade de geometrias de sapatas, sendo escolhida a sapata em concreto armado retangular centrada piramidal, por proporcionar um dimensionamento em ambas as direções e uma melhor economia.

Figura 16 – Modelagem completa

Fonte: Autor, 2022.

2.7 Otimização da estrutura

Mesmo com a correção de erros, é possível deixar a estrutura mais econômica e com uma melhor facilidade de execução realizando algumas modificações nos elementos sem comprometer a segurança.

O software STG determinou armaduras de reforço com aço CA-60 que, em diâmetros acima de 5 mm, não são facilmente encontradas no mercado, podendo levar a atrasos na execução do projeto. Por essa razão, tais armaduras foram substituídas por aço CA-50 no próprio software, onde é feito a compatibilização com as resistências dos dois tipos.

Nas lajes maciças do telhado inclinado, pelo pré-dimensionamento a espessura deveria ser de 23 cm, porém foi feita uma redução para 20 cm, objetivando diminuir o consumo de concreto e fôrma.

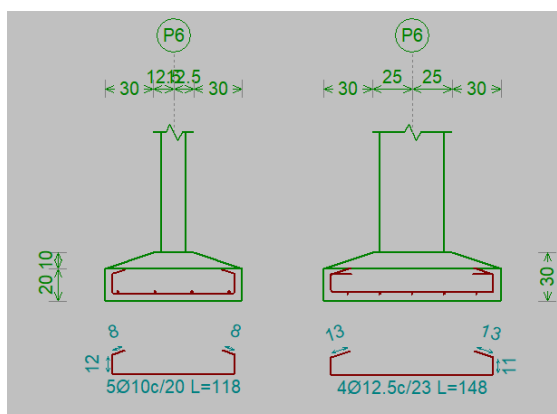
Em todas as lajes maciças, o software realiza a armação com armaduras de diversos tamanhos e diâmetros, dificultando a execução, Figura 17, por isso foi feito uma uniformização dos diâmetros e de quantidades de armaduras, Figura 18, facilitando o trabalho por parte dos operários de armação.

Um processo semelhante das lajes foi feito para as vigas, Figura 19, onde diversas partições de armadura foram feitas automaticamente pelo programa, dificultando a execução e aumentando os riscos de erros, podendo gerar subdimensionamentos, Figura 20. Também foi feita uma uniformização das seções das vigas, levando a uma menor variabilidade e uniformizando a construção das fôrmas para a concretagem.

Os diâmetros foram uniformizados em cada elemento de fundação, Figura 22.

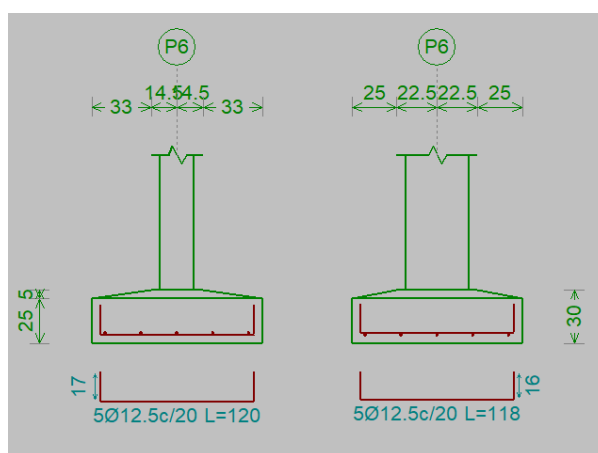
A ancoragem da armadura das sapatas no software, por limitação de altura, é feita muitas vezes com curvas na ponta das armaduras, Figura 21, dificultando a execução por parte dos armadores, logo tais curvas foram removidas e a ancoragem feita exclusivamente em “L”, Figura 22.

Figura 21 – Sapata – Armação inicial



Fonte: Autor, 2022.

Figura 22 – Sapata – Armação otimizada



Fonte: Autor, 2022.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Agora serão discutidos, nos itens a seguir, os resultados do dimensionamento com as dimensões calculadas a partir do pré-dimensionamento, das medidas adotadas para corrigir problemas de dimensionamento e modificações para otimização dos elementos.

3.1 Pré-dimensionamento

Da planta de forma inicial com as dimensões do pré-dimensionamento e o resultado final da estrutura houveram algumas modificações, como esperado, entretanto, as vigas foram os elementos que apresentaram maiores divergências, principalmente nos tramos em balanço. Tal

fato se deve ao pré-dimensionamento das vigas considerar apenas o vão e ter diversas variáveis desprezadas, como: Reações de lajes, pilares apoiados em vigas, balanços, cargas de alvenaria, entre outros.

As áreas das seções dos pilares após o dimensionamento apresentaram baixas diferenças em relação ao pré-dimensionamento, devido ao fato de que o método de áreas de influência leva em consideração diversos fatores, diferente do método de vigas, como: Cargas superficiais, domínios de deformação, classificação dos pilares (diretamente relacionado à flambagem) e as propriedades do concreto armado.

As dimensões obtidas no pré-dimensionamento da laje apresentaram o melhor desempenho. Todas as treliças calculadas, inclusive de altura de 12 cm, atenderam o dimensionamento. O bom desempenho do pré-dimensionamento de lajes se deve à concepção das vigas, onde foram gerados vãos dentro das dimensões recomendadas para o dimensionamento econômico (3 e 4 metros). Para a laje maciça da cobertura, houve uma pequena diminuição de espessura no processo de otimização, porém ainda muito próximo dos valores obtidos no pré-dimensionamento.

3.2 Soluções para correção de erros de dimensionamento

A solução para redução dos esforços nas lajes maciças da cobertura em apoiar os dois bordos que estavam livres apresentou sucesso na redução da flecha, de 5 cm para 2 cm, e na taxa de armadura.

Os pilares ao redor da laje inclinada tiveram uma grande redução nos esforços, podendo haver uma redução na taxa de concreto armado nestes elementos e atender o dimensionamento. Era esperado os resultados, já que, da mecânica vetorial, uma estrutura mais apoiada apresenta uma melhor distribuição dos esforços.

A escada ao ser calculada isoladamente apresentou pequenos valores de flecha, na ordem de 3 cm, entretanto ao ser calculada junto da estrutura global, onde as considerações de rigidez mudam significativamente, os valores de flecha máxima chegaram a 50 cm, como já destacado. A decisão de adicionar duas vigas perpendiculares aos pontos de apoio de cada lance, Figura 12, fez com que a flecha máxima fosse reduzida para 2 cm, uma redução de 96%, representando uma solução extremamente válida e sem afetar a arquitetura, mantendo o patamar em balanço.

A redução da flecha na escada é resultado de um aumento na rigidez do apoio, onde o engaste apresenta melhor desempenho e, conseqüentemente, a redução de momento fletor nos lances e também da flecha máxima. As vigas inseridas mostraram valores elevados de momento, já que uma parte do esforço foi transferido para as mesmas.

As modificações na inércia das vigas por meio do aumento da altura, que é a forma mais eficiente, reduziram as flechas das vigas que apresentaram valores acima dos limites

normativos, assim como a resistência ao esforço normal, que é combatido com uma maior área da seção transversal.

A redução de espaçamento dos estribos para correção dos erros de tensões de cisalhamento foi uma decisão eficiente na maior parte das vigas, entretanto algumas seções precisaram ser modificadas, pois os valores de espaçamento estavam abaixo do mínimo determinado pela norma. Ao realizar a correção das flechas, ocorreu também a reparação da resistência ao cisalhamento. A redução do espaçamento dos estribos aumenta a área de aço transversal, garantindo maior resistência ao esforço cortante.

Para o combate à torção nas vigas de apoio da escada, foi ampliada a base da seção transversal, aproximando a geometria de um quadrado e elevando a inércia polar da seção, gerando uma maior rigidez transversal para combater o esforço de torção, solução essa que se mostrou viável e corrigiu o erro para os dois tramos que apoiam os lances da escada.

Para os pilares que apresentaram erro de dimensionamento, foi aumentada a seção na direção do maior esforço, aumentando a rigidez do elemento na direção de maior carga, com isso as falhas de resistência ao esforço normal foram supridas. A solução adotada para o combate ao esforço cortante foi a mesma das vigas, com a redução do espaçamento dos estribos e, em alguns casos, modificações na seção dos pilares.

3.3 Otimização da estrutura

A uniformização das armaduras nas lajes maciças, vigas e sapatas resultaram em uma armação de fácil execução pelos operários, com um projeto menos poluído e uma menor quantidade de informações a serem consideradas, reduzindo as chances de erros e “correções” em obra que levem ao subdimensionamento dos elementos.

Com a substituição do aço CA-60 por CA-50, dos diâmetros acima de 5 mm, os insumos das lajes treliçadas apresentam maior disponibilidade no mercado, evitando atrasos e facilitando a logística pelas equipes de compra da construtora responsável.

A solução de alterar a menor dimensão de 15 cm, Figura 23, para 19 cm, com intuito de reduzir em 20% a taxa de aço, resultou em uma elevada redução no consumo de aço dos pilares, Figura 24. Pilares com uma elevada quantidade de barras foram otimizados para o mínimo previsto na norma (4 barras de 10 mm). A substituição da menor dimensão por uma maior medida foi compensada com a redução da maior dimensão, buscando a manutenção do consumo de concreto

Figura 23 – Pilar – Armação inicial

Edição da armadura							
			Dimensão		Armadura longitudinal		
			X (cm)	Y (cm)	Cantos		Face X
Coberta	6.2 m		40	15	4	Ø10	4 Ø10
Superior	3.1 m		40	15	4	Ø16	6 Ø16
Reservatório	2.3 m		40	15	4	Ø16	6 Ø16
Terreo	0 m		40	15	4	Ø16	6 Ø16
Subsolo	-2 m				4	Ø16	6 Ø16

Fonte: Autor, 2022.

Figura 24 – Pilar – Armação otimizada

			Dimensão		Armadura longitudinal		
			X (cm)	Y (cm)	Cantos		Face X
Coberta	6.2 m		35	19	4	Ø10	0 --
Superior	3.1 m		35	19	4	Ø10	0 --
Reservatório	2.3 m		35	19	4	Ø10	0 --
Terreo	0 m		35	19	4	Ø10	0 --
Subsolo	-2 m				4	Ø10	0 --

Fonte: Autor, 2022.

Como já demonstrado, a otimização levou a uma estrutura mais fácil de ser executada, com menor chance de erros e com insumos mais fáceis de serem encontrados no mercado. Entretanto, é preciso realizar uma análise custo antes e depois da otimização, buscando evitar o encarecimento da estrutura.

Como houveram diversas modificações nos resultados dados pelo software, é válido analisar se houve aumento de custos. Para isso foi feito o orçamento a partir das composições da SINAPI e ORSE onde está incluso as despesas de insumos e mão de obra. Como o CypeCAD disponibiliza relatórios de quantitativos de consumo de concreto, aço e forma de todos os elementos, facilita a elaboração do memorial de cálculo. Os quantitativos das lajes treliçadas foram fornecidos pelo STG, que gera uma planilha com o consumo de aço, vigotas e blocos individualmente.

O orçamento da estrutura antes da otimização, Tabela 5, apresentou um custo maior que a estrutura otimizada, Tabela 6, apesar de ter tido o aumento isolado de alguns itens. A redução do valor total foi de R\$ 326,71. Isoladamente a maior redução foi a dos pilares, de R\$ 17.095,62, que causou a compensação dos demais elementos que tiveram aumento no custo.

Conclui-se que não houve elevação no custo total com as alterações feitas, além de resultar em uma estrutura melhor executável e em acordo com todos os critérios de segurança estabelecidos pelas normas brasileiras

Tabela 5 – Orçamento inicial

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR DO ÍTEM
1.0	FUNDAÇÃO	R\$ 23.699,96
2.0	PILARES	R\$ 107.864,32
3.0	VIGAS	R\$ 216.173,57
4.0	RESERVATÓRIOS	R\$ 132.847,45
5.0	LAJES MACIÇAS	R\$ 105.776,54
6.0	LAJES TRELIÇADAS	R\$ 101.947,48
7.0	ESCADA	R\$ 19.756,57
CUSTO TOTAL		R\$ 708.065,89

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 6 – Orçamento após a otimização

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR DO ÍTEM
1.0	FUNDAÇÃO	R\$ 23.768,76
2.0	PILARES	R\$ 90.768,70
3.0	VIGAS	R\$ 226.491,06
4.0	RESERVATÓRIOS	R\$ 135.959,29
5.0	LAJES MACIÇAS	R\$ 107.031,53
6.0	LAJES TRELIÇADAS	R\$ 103.963,27
7.0	ESCADA	R\$ 19.756,57
CUSTO TOTAL		R\$ 707.739,18

Fonte: Autor, 2022.

3.4 Plotagem dos detalhamentos

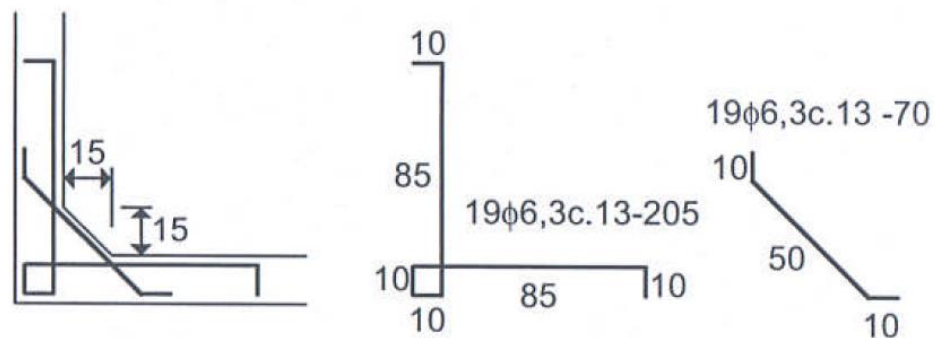
O CypeCAD gera o detalhamento dos elementos da estrutura minuciosamente, além da tabela de quantitativos, facilitando o trabalho de montagem das pranchas para impressão e entrega ao cliente.

Algumas alterações precisaram ser feitas manualmente, como: cotagem das plantas de forma, destaque de pilares que mudam de direção, indicação de contraflecha, simplificação do detalhamento de lajes maciças, detalhamento de ancoragem dos reservatórios, detalhamento manual da escada e das lajes treliçadas.

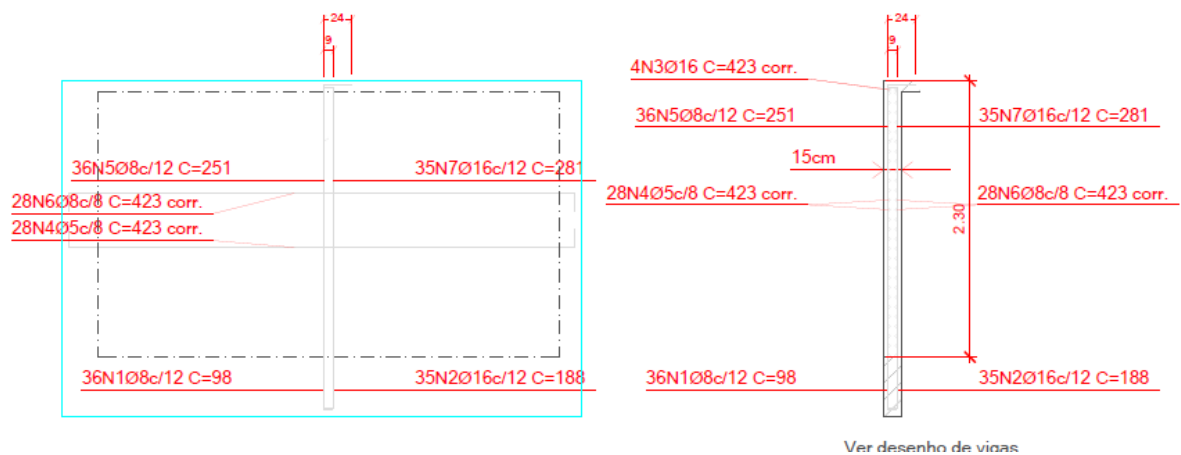
Segundo o livro: “Curso de Concreto Armado”, volume 4, de José Milton Araújo; a ligação entre paredes-paredes e paredes-lajes, deve apresentar a amarração por armaduras de ligação, Figura 25, entretanto o detalhamento gerado automaticamente pelo software é feito com os elementos isolados, Figura 26. Por essa razão, foi feito a indicação na prancha, manualmente, da ligação entre os elementos, levando o responsável pela execução garantir a amarração adequada dos elementos, Figura 27.

Figura 25 – Amarração dos elementos do reservatório

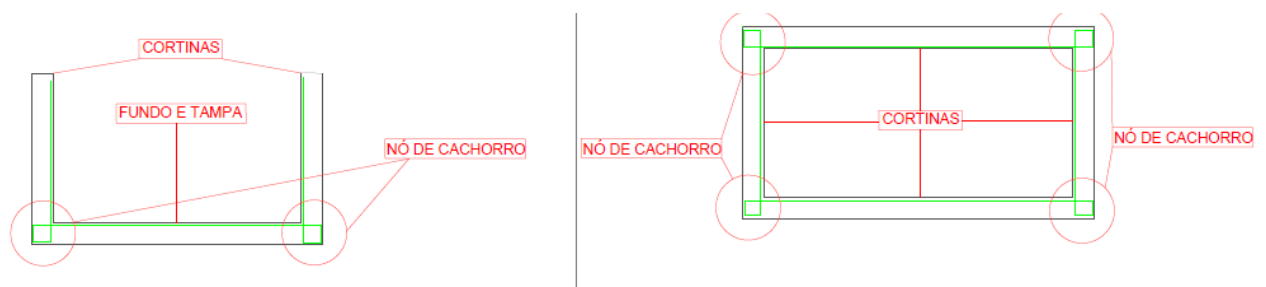
Ligação parede-parede (4 vezes)



Fonte: Araújo, 2010.

Figura 26 – Detalhamento das cortinas gerado pelo CypeCAD

Fonte: Autor, 2022.

Figura 27 – Indicação da amarração dos reservatórios na prancha

Fonte: Autor, 2022

As plotagens foram feitas em folhas de tamanho A1 (841 x 594 mm) com um total de 30 páginas com escala de 1:50, facilitando a visualização, e as tabelas de quantitativos dos elementos apresentados em cada prancha.

A legenda das pranchas, Figura 28, há indicações importantes, como: Legenda de simbologias presentes nas plantas de forma, cobertura dos elementos, fck do concreto e indicações de autoria.

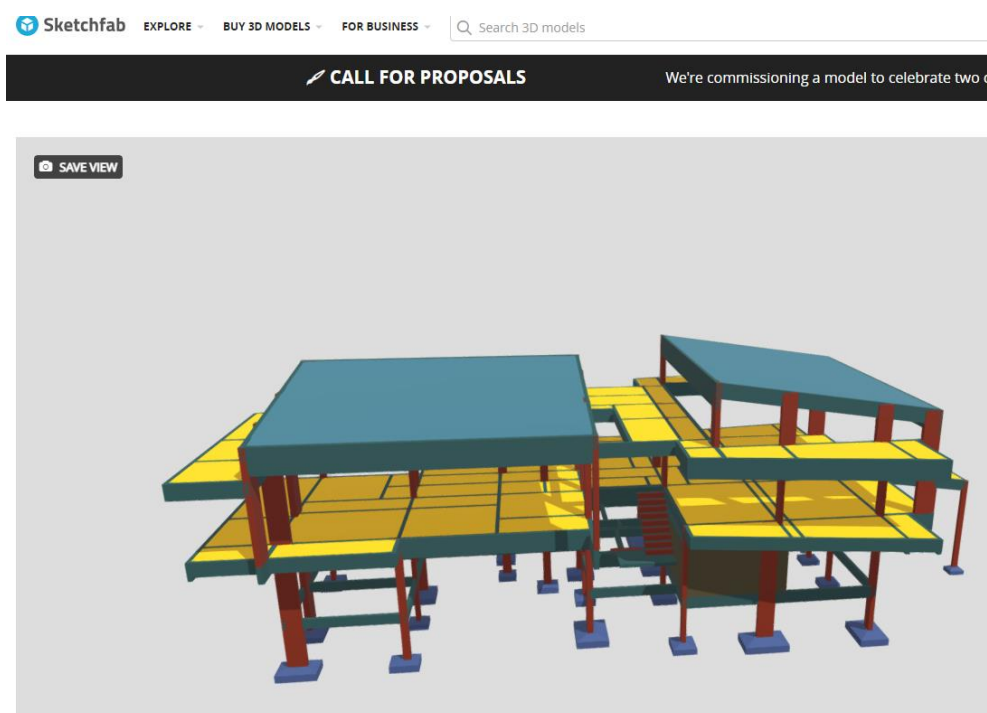
Figura 28 – Legenda das pranchas

Legenda: Pilar que nasce Pilar que sobe Pilar que morre X Vazado			
Modelagem 3D: 		Cobrimentos: Viga e pilar: 3 cm Cortinas: 3 cm Laje e escada: 2,5 cm Sapatas: 4 cm Fck do concreto: Vigas, lajes e pilares: 25 MPa Escada: 30 MPa	
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  Campus AGRESTE			
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE) CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE (CAA) NÚCLEO DE TECNOLOGIA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL			
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
Aluno e orientador: Luccas André Felix Silva José Moura Soares			Data: Out/2022
Escala: Conforme no projeto		Obra: Residência unifamiliar	
Local: Condomínio Monte Verde	Folha: 27/30	Projeto: Estrutural	Papel: A1 841 x 594 mm

Fonte: Autor, 2022

Foi adicionado um QR-Code na legenda, onde é possível acessar o link para o site *Sketchfab* onde foi carregada a visualização 3D da estrutura, Figura 29. É possível, no próprio site, rotacionar o pórtico tridimensional e facilitar a visualização do responsável técnico pela execução, sanando dúvidas imediatas em obra. O *Sketchfab* é bastante otimizado, o que possibilita o acesso pelo smartphone por qualquer usuário com acesso às pranchas em obra, seja impressa ou em visualização digital.

Figura 29 – Visualização 3D do pórtico no Sketchfab



Fonte: Autor, 2022

4 CONCLUSÕES

1. Os métodos de pré-dimensionamento de pilares e lajes apresentaram um bom desempenho, tendo pequenas alterações em relação ao final do dimensionamento;
2. O pré-dimensionamento das vigas apresentou maiores divergências, devido à simplicidade do método, que despreza variáveis importantes, como: carregamentos e resistência do concreto;
3. Apesar de não dimensionar a escada plissada, a modelagem no Cype3D auxilia no dimensionamento manual, fornecendo os esforços e a integração com o pórtico espacial;
4. As medidas adotadas para a solução de erros apresentaram bom desempenho, onde foi possível a correção de mais de uma natureza de erro simultaneamente com a mesma medida, facilitando o processo;
5. Como a escada autoportante apresenta elevados carregamentos e apenas um apoio engastado, é necessário a inserção de vigas perpendiculares ao engastamento, visando a melhoria do desempenho do apoio e a consequente redução de esforços nos lances;
6. A armação feita automaticamente pelo CypeCAD busca seguir fidedignamente o diagrama de esforços, entretanto acaba formando uma estrutura de difícil execução, onde é necessário realizar a, manualmente, a uniformização dos diâmetros e comprimentos;

7. Os métodos de otimização resultaram em uma estrutura melhor executável, segura, com insumos de maior disponibilidade no mercado e sem elevação de custos;
8. O detalhamento dos reservatórios feito pelo software é insuficiente, necessitando de armaduras específicas normalmente utilizadas em projetos de estruturas, aplicado como união e reforço dos elementos componentes do reservatório.

REFERÊNCIAS

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA**. Santa Maria: Ufsm, 2003. 20 slides, color. Disponível em: https://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec802/Lancamento/Pre-dimensionamento_EESC.pdf. Acesso em: 30 abr. 2022.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Cidade Nova: Editora Dunas, 2010. (Volume 4).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2022. 108 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2019. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: Abnt, 1988. 60 p.

BASTOS, Paulo Sérgio. **LAJES DE CONCRETO ARMADO**. São Paulo: Unesp, 2021. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BASTOS, Paulo Sérgio. **VIGAS DE CONCRETO ARMADO**. São Paulo: Unesp, 2021. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BEER, Ferdinand; JOHNSTON, Russell; DEWOLF, John; MAZUREK, David. **Mecânica dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BITTENCOURT, Túlio; BELLAS, João Carlos Dellas; PEREGRINO NETO, Januário; GRAZIANO, Francisco Paulo. **Estruturas de Concreto I**: concepção estrutural. São Paulo: Universidade de São Paulo, [20--]. 14 slides, color. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/EDE-ROLIVEIRA11/concepo-estrutural-ii-slide>. Acesso em: 18 out. 2022.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; CARVALHO, Luis Fernando Meirelles. **4 edifícios x 5 locais de implantação = 20 soluções de fundações**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

DEICHMANN, Alexandre. **PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE DOIS PAVIMENTOS**. 2016. 2014 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171374/TCC-Alexandre_deichmann.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 30 abr. 2022.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P.. **PRÉ-DIMENSIONAMENTO**. In: PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P.. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**. São Carlos: USP, 2007. p. 36-41. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf. Acesso em: 30 abr. 2022.

ROCHA, Anderson Moreira da. **CONCRETO ARMADO**. São Paulo: Lis Gráfica e Editora Ltda, 1986.

ANEXO – ARQUIVOS CITADOS

Todos os arquivos utilizados para a elaboração deste trabalho se encontram no Google Drive que pode ser acessado pelo link ou pelo QR-Code.

https://drive.google.com/drive/folders/1978A_K_7sQwGNBaDe2-tBJg2zSncwkeJ?usp=sharing



LUCCAS ANDRÉ FELIX SILVA

**PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO DE UMA RESIDÊNCIA DE
ALTO PADRÃO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE CARUARU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Aprovado em 3 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. José Moura Soares (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. D.Sc. Humberto Correia Lima Júnior (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

B.Sc. Washington Martinez Bezerra da Silva (Avaliador)
Engenheiro Civil