



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ANTÔNIA KARLA DA SILVA CRUZ

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO
DE RESERVATÓRIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO

ESTÂNCIA
2022

ANTÔNIA KARLA DA SILVA CRUZ

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO
DERESERVATÓRIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe como pré-requisito para
a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Adysson André Fortuna de
Souza

ESTÂNCIA
2022

Cruz, Antônio Karla da Silva.
C957d Desenvolvimento de Software para dimensionamento de reservatório
elevado de concreto armado. / Antônio Karla da Silva Cruz. - Estância,
2022.
81 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2022.

Orientador: Prof. Me. Adysson André Fortuna de Souza.

1. Reservatório de concreto armado. 2. Dimensionamento. 3. Modelo de
placas. 4. Método de bielas e tirantes. 5. Linguagem de programação
Python. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Sergipe - IFS. II. Souza, Adysson André Fortuna de. III. Título.

CDU: 666.982:004.4

ANTÔNIA KARLA DA SILVA CRUZ

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO
DE RESERVATÓRIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe como pré-requisito para
a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Adysson André Fortuna de Souza
Instituto Federal de Sergipe - IFS

Prof. Esp. Gilberto Messias dos Santos Junior
Instituto Federal de Sergipe - IFS

Prof. Msc. Leonardo Henrique da Silva Bomfim
Instituto Federal de Sergipe - IFS

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, coragem e garra para lutar por meus objetivos.

Ao professor, que é incrível ter como inspiração, Adysson André Fortuna de Souza, meu orientador. Obrigada pelo incentivo, pela transmissão de conhecimentos e disposição em ajudar na concretização desta monografia.

Ao professor, Gilberto Messias dos Santos Junior, pelas aulas sobre dimensionamento de reservatório elevado de concreto armado. Obrigada por ministrá-las da melhor forma possível, as aulas do Senhor foram fundamentais para a minha compreensão acerca deste assunto e para que eu pudesse desenvolver este trabalho.

Aos professores que durante esses anos não mediram esforços para passar o conteúdo com dedicação e sempre da melhor forma (mesmo durante o período de pandemia).

Agradeço aos meus pais, Maria Elze da Silva Cruz e José Domingos Almeida Cruz, bem como aos meus irmãos, pelas pequenas e grandes coisas que fizeram e fazem por mim. Agradeço a minha Estrelinha linda por ser minha companheira nas madrugadas de estudo. Eu amo vocês!

Aos meus colegas pela ajuda durante a graduação e pelos bons momentos que passamos juntos estes anos.

E agradeço a todos os envolvidos de maneira direta e indireta para que eu concluísse o curso de Engenharia Civil.

Obrigada!

“Você pode, você deve e se você for corajoso o suficiente para começar, você vai.” (*Stephen King*)

RESUMO

O reservatório elevado é uma estrutura indispensável em edifícios comerciais e industriais, uma vez que sua função é armazenar um volume de água que possa suprir a demanda de abastecimento e garantir uma reserva contra incêndio, em muitos casos, o concreto armado, é o material utilizado para construir essa estrutura. O reservatório construído em concreto armado é composto por lajes maciças e vigas-paredes, esses elementos são submetidos a carga permanente, acidental e ao empuxo da água. As lajes maciças, calculadas por meio do modelo de cálculo como placas, apresentam altura menor que as demais dimensões e estão sujeitas a ações normais em seu plano. Já as vigas-parede, calculadas por meio de bielas e tirantes, devido à distribuição não linear das tensões e deformações, apresentam relação entre o vão e a altura inferior a dois, no caso de vigas biapoiadas, e inferior a três, no caso de vigas contínuas. O dimensionamento estrutural de reservatório de concreto armado é extenso e quando realizado manualmente com auxílio de calculadora, torna-se demorado, porém com o uso de *softwares* específicos, o processo de cálculo, torna-se mais produtivo e mais preciso, podendo assim, auxiliar na elaboração de projetos estruturais e no caso do programa proposto neste trabalho, pode ajudar estudantes de engenharia civil a criar seus próprios exercícios e compará-los com cálculos feitos de forma manual, podendo também verificar possíveis erros na elaboração de seus cálculos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um programa computacional cuja função é dimensionar as armaduras de um reservatório elevado de concreto armado bem como realizar verificações de segurança segundo os critérios estabelecidos pela NBR 6118: 2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. O *software* foi criado por meio da linguagem de programação Python, pois ela possui funções praticamente ilimitadas, além de ser uma linguagem rápida e objetiva que permite programar com código simples. No intuito de torna-lo intuitivo e didático, optou-se em elaborar uma interface gráfica através do Tkinter, biblioteca que fornece *kit* de ferramentas de janela que está disponível para programador Python através do pacote tkinter e sua extensão, os módulos tkinter.ttk. Os tratamentos de erros no programa foram realizados com o módulo *messagebox*. Para testar as funções do *software* foi proposto o exemplo de um reservatório elevado de concreto armado de uma célula com as quatro paredes apoiadas em pilares situados nas quinas do reservatório, admitindo-se classe de agressividade ambiental ($c = 2,0$ cm) e barras predefinidas de $\varnothing = 5$ mm, os resultados obtidos foram comparados com valores provenientes do cálculo manual, realizado com auxílio de calculadora, onde, comprovou-se semelhança entre eles, dessa forma, constatou-se a eficácia do programa computacional desenvolvido.

Palavras-chave: Reservatório de concreto armado. Dimensionamento. Modelo de placas. Método de bielas e tirantes. Linguagem de programação Python.

ABSTRACT

The elevated reservoir is an indispensable structure in commercial and industrial buildings, as its function is to store a volume of water that can meet the supply demand and guarantee a reserve against fire, in many cases, reinforced concrete is the material used to build this structure. The reservoir built in reinforced concrete is composed of massive slabs and wall-beams, these elements are subjected to permanent, accidental load and water thrust. The solid slabs, calculated using the calculation model as plates, have a lower height than the other dimensions and are subject to normal actions in their plane. On the other hand, the wall beams, calculated by means of struts and tie rods, due to the non-linear distribution of stresses and strains, present a relationship between the span and the height of less than two, in the case of double-supported beams, and less than three, in the case of continuous beams. The structural design of reinforced concrete reservoir is extensive, and when performed manually with the aid of a calculator, it becomes time consuming. With the use of specific software, the calculation process becomes more productive and more accurate, thus being able to assist in the elaboration of structural projects, and in the case of the program proposed in this work, it can help civil engineering students to create their own exercises and compare them with calculations made manually, and can also verify possible errors in the elaboration of their calculations. This work presents the development of a computer program whose function is to dimension the reinforcements of an elevated reservoir of reinforced concrete as well as to carry out safety checks according to the criteria established by NBR 6118: 2014 - Project of Concrete Structures - Procedure. The software was created using the Python programming language, as it has practically unlimited functions, in addition to being a fast and objective language that allows programming with simple code. In order to make it intuitive and didactic, it was decided to develop a graphical interface through Tkinter, a library that provides window toolkits that are available to Python programmers through the tkinter package and its extension, the tkinter.ttk modules. Error handling in the program was performed with the messagebox module. To test the functions of the software, the example of an elevated reservoir of reinforced concrete of a cell with the four walls supported by pillars located in the corners of the reservoir was proposed, assuming a class of environmental aggressiveness ($c = 2.0$ cm) and predefined bars of $\varnothing = 5$ mm, the results obtained were compared with values from the manual calculation, carried out with the aid of a calculator, where similarity between them was proved, thus, the effectiveness of the developed computer program was verified.

Keywords: Reinforced concrete reservoir. Sizing. Plates template. Connecting rods and tie rods method. Python programming Language.

LISTA DE SÍMBOLOS

$\emptyset$ – Diâmetro da barra

f_{ck} – Resistência característica à compressão do concreto

γ – Peso específico da água

l_x – Vão da laje na direção x

l_y – Vão da laje na direção y

M_x – Momento fletor positivo no centro da laje na direção x

M_y – Momento fletor positivo no centro da laje na direção y

M_{xe} – Momento fletor negativo no centro da laje na direção x

M_{ye} – Momento fletor negativo no centro da laje na direção y

R_x – Reação de apoio no lado l_x quando este lado for um apoio simples

R_{xe} – Reação de apoio no lado l_x quando este lado for um engaste

R_y – Reação de apoio no lado l_y quando este lado for um apoio simples

R_{ye} – Reação de apoio no lado l_y quando este lado for um engaste

$m_x, m_y, r_x, r_y, m_{xe}, m_{ye}$ – Coeficientes tabelados

p – Carga que atua na laje

x_p – Média dos momentos negativos na ligação parede-parede

x_1, x_2 – Momentos obtidos nos engastes das paredes

y_p – Média dos momentos negativos na ligação do fundo com a parede

y_f – Momento negativo da laje de fundo

y_1 – Momento negativo da parede

ΔM_x – Incremento do momento positivo no eixo x

ΔM_y – Incremento do momento positivo no eixo y

Δx – Variação do momento negativo no eixo x

Δy – Variação do momento negativo no eixo y

γ_x^1, γ_x^2 – Coeficientes para correção dos momentos positivos no eixo x

γ_y^1, γ_y^2 – Coeficientes para correção dos momentos positivos no eixo y

d – Altura útil da laje

h – Altura da laje

C – Cobrimento mínimo estabelecido por norma para proteger a armadura

μ – Momento fletor reduzido

γ_f – Coeficiente de segurança do concreto
 M_k – Momento fletor característico
 σ_{cd} – Tensão resistente de cálculo
 λ – Coeficiente que depende do f_{ck}
 b – Largura de 100 cm para cálculo da armadura laje
 ξ – Taxa de armadura relativa
 ρ_{min} – Taxa de armadura mínima de flexão
 ρ_1 – Taxa de armadura aderente
 A_s – Área de aço calculada
 $A_{s,min}$ – Área de aço mínima
 f_{cd} – Resistência de cálculo a compressão do concreto
 f_{yd} – Tensão de cálculo de escoamento do aço
 V_{rd1} – Força cortante resistente
 V_{sd} – Força cortante solicitante
 b_w – Largura mínima da seção da laje ao longo da altura útil (d)
 σ_{cp} – Tensão proveniente da força longitudinal na seção causada pelo carregamento
 k – Coeficiente para obtenção da cortante resistente
 τ_{rd} – Tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento
 f_{ctd} – Resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento
 $f_{ctk,inf}$ – Resistência característica inferior à tração do concreto
 $f_{ctd,m}$ – Resistência média à tração do concreto
 ρ_1 – Taxa de armadura aderente
 N_{sd} – Força longitudinal na seção da laje causada pelo carregamento
 A_{s1} – Área de aço definida para a laje
 l – Vão da laje
 P_k – Carga de serviço
 M_d – Momento fletor de projeto
 Z – Braço de alavanca
 f_{cd2} – Tensão máxima na biela na região nodal
 σ_c – Tensão no apoio causada pela biela de compressão
 θ – Ângulo de inclinação da biela
 γ_c – Coeficiente de ponderação da resistência no estado-limite último do concreto

ac – Área da biela

R_k – Reação de apoio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. JUSTIFICATIVA	15
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. Objetivo Geral	16
1.2.2. Objetivos Específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. RESERVATÓRIO DE CONCRETO ARMADO	17
2.2. MODELO ESTRUTURAL: RESERVATÓRIO RETANGULAR ELEVADO	18
2.2.1. Dimensões mínimas das lajes maciças de concreto armado	18
2.2.2. Condições especiais de exposição	19
2.2.3. Controle de fissuração	20
2.2.4. Consideração nas cargas do reservatório	21
2.3. CONSIDERAÇÃO PARA O CÁLCULO COMO PLACAS	22
2.3.1. Determinação das condições de contorno	23
2.3.2. Determinação dos momentos fletores e reações de apoio	23
2.3.3. Compatibilização dos momentos fletores negativos	25
2.3.4. Correções dos momentos fletores positivos na laje de fundo	26
2.3.5. Dimensionamento da armadura longitudinal	27
2.4. VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO	28
2.5. VIGAS-PAREDES	30
2.5.1. Conceito	30
2.5.2. Comportamento estrutural (descontinuado)	31
2.5.3. Modelos com bielas e tirantes	32
2.5.4. Equação para o cálculo das vigas-paredes	33
2.5.4.1. Momento fletor máximo de vigas-paredes	33
2.5.4.2. Armadura principal (A_s)	34
2.5.4.3. Armadura mínima de tração ($A_{s, \text{mín}}$)	34
2.5.4.4. Resistência das bielas	34
2.6. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	36
2.6.1. Tkinter	37
3. DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40

4.1. INTERFACE PRINCIPAL DO SOFTWARE	40
4.2. BOTÃO ANÁLISE DE LAJES	41
4.3. BOTÃO ARMADURA LONGITUDINAL	45
4.4. BOTÃO VERIFICAÇÃO AO CISLHAMENTO CONFORME A NBR 6118:2014	47
4.5. BOTÃO CÁLCULO COMO VIGAS-PAREDE	48
4.6. BOTÃO RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS: NBR 6118:2014 E NBR 12655:2015	49
4.7. BOTÃO (FLUXOGRAMAS)	49
4.8. TRATAMENTO DE ERROS DO SOFTWARE	50
4.9. VANTAGENS DO RESERVACALC	50
4.10. RESULTADOS POR COMPARAÇÃO COM CÁLCULO MANUAL	51
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS	71
ANEXO A – TABLAS PARA ENCONTRAR OS COEFICIENTES	73
ANEXO B – TABELAS PARA ENCONTRAR OS COEFICIENTES	77

1. INTRODUÇÃO

A utilização de reservatório elevado em edifícios é indispensável, pois sua principal função é armazenar um volume de água que possa suprir a demanda bem como garantir uma reserva contra incêndio. O reservatório construído em concreto armado é composto por lajes maciças e vigas-parede, esses elementos são submetidos a carga permanente, acidental e ao empuxo da água.

Neste tipo de estrutura, os elementos são analisados como lajes maciças, dessa forma, aplica-se o modelo de cálculo como placas. Analisam-se também as paredes como vigas-parede, neste caso, aplica-se o modelo de bielas e tirantes onde é verificada a resistência dos tirantes e das bielas nos apoios (SANTOS, 2021).

Para dimensionar o reservatório de concreto armado, é preciso realizar uma série de cálculos que incluem realizar as análises dos momentos flettores, das reações de apoio nas lajes maciças e vigas-parede, além de verificações, por exemplo, verificação ao cisalhamento da laje maciça e da biela de compressão no apoio das vigas-parede. Essas verificações e análises devem ser feitas a fim de que a segurança da estrutura seja garantida, porém, quando realizadas apenas com auxílio de uma calculadora, o dimensionamento se torna cansativo, visto que os cálculos são extensos.

Atualmente, os *softwares* comumente usados em projetos estruturais nem sempre apresentam a praticidade que os estudantes precisam para aprimorar os estudos, pois o uso desses *softwares* requer treinamento específico e tem o custo associado, dificultando a sua utilização por parte dos estudantes. Logo, torna-se viável elaborar programas computacionais voltados para o estudo de elementos estruturais específicos, que tragam essa praticidade, mas que tenham baixo custo.

Embora existam *softwares* que façam todo o cálculo da estrutura, é indispensável ter conhecimento técnico para desenvolver um bom projeto. Para obter esse conhecimento, o estudante precisa buscar boas referências e praticar o cálculo estudado. Como muitos livros que tratam de concreto armado costumam trazer poucos exercícios e exemplos de cálculos, o estudante não tem diversidade de questões para exercitar o conteúdo estudado.

Diante disto, esta monografia tem como proposta desenvolver um *software* cuja função é dimensionar um reservatório elevado de concreto armado e realizar verificações de segurança em lajes maciças e vigas-parede com o intuito de que o *software* seja uma ferramenta de estudo

que possa auxiliar estudantes de engenharia civil durante o estudo sobre dimensionamento de reservatório elevado de concreto armado.

O *software* foi desenvolvido por meio da linguagem de programação Python, já que essa linguagem apresenta sintaxe clara, dessa forma, favorece a legibilidade do código e facilita na compreensão da leitura (BORGES, 2010). Além disto, a maioria das distribuições Linux já vem com um interpretador instalado, é possível também instalar o interpretador em sistemas Unix em geral, Windows, OS, iOS e Android, o que permite executar programas Python nesses sistemas (MELO, 2020).

A *interface* do usuário foi elaborada através da biblioteca Tkinter, pois ela é nativa da linguagem Python, e fornece um kit de ferramentas de janela que está disponível através do pacote tkinter e sua extensão (os módulos tkinter.ttk) que quando importado permite a criação e configuração de uma GUI (interface gráfica do usuário). Já os tratamentos de erros no programa foram realizados com o módulo *messagebox*.

Para testar as funções do *software*, foi proposto o exemplo de um reservatório elevado de concreto armado de uma célula com às quatro paredes apoiadas em pilares situados nas quinas do reservatório, admitindo-se classe de agressividade ambiental ($c = 2,0$ cm) e barras predefinidas de $\varnothing = 5$ mm.

1.1. JUSTIFICATIVA

Em obras de engenharia é comum a construção de reservatório elevado de concreto armado, já que são responsáveis por suprir a demanda de água, garantir uma reserva contra incêndio e melhorar as condições de pressão da água na rede de distribuição. Logo, trata-se de uma estrutura essencial em edifícios comerciais e residenciais.

O reservatório em concreto armado é constituído por lajes maciças e vigas-parede, calculadas por método de cálculo distintos, além disto, para garantir a segurança como também a durabilidade do reservatório em concreto armado, o projeto deve obedecer a critérios estabelecidos por normas técnicas, consequentemente é necessário realizar verificações de segurança, além das análises dos momentos fletores e reações de apoio, que torna o processo de cálculo bastante trabalhoso quando realizado manualmente com auxílio de calculadora, porém com o uso de *softwares* específicos, este processo, torna-se mais produtivo e mais preciso, podendo assim, auxiliar na elaboração de projetos.

Atualmente, os *softwares* comumente usados em projetos estruturais nem sempre apresentam a praticidade que os estudantes precisam para aprimorar os estudos, pois o uso

desses *softwares* requer treinamento e tem o custo associado, dificultando a sua utilização por parte dos estudantes. Diante disto, torna-se viável elaborar programas computacionais voltados para o estudo de elementos estruturais específicos, que tragam essa praticidade, mas que tenham baixo custo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um *software* que dimensione as armaduras de um reservatório elevado de concreto armado e realize verificações de segurança em placas e vigas-parede segundo a ABNT NBR 6118:2014.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver uma programação com interface gráfica para realizar o dimensionamento de placas sob diferentes condições de carregamento;
- Desenvolver uma programação para realizar o dimensionamento de vigas-parede por meio do modelo de cálculo de bielas e tirantes;
- Desenvolver uma programação para realizar verificações de segurança em placas e vigas-parede de acordo com a NBR 6118:2014;
- Comparar o resultado do cálculo obtido pelo *software* desenvolvido com o executado de forma manual com auxílio de calculadora.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta fundamentação teórica, baseia-se em monografias, dissertações, livros e normas técnicas. Esta seção aborda tópicos e subtópicos relevantes acerca do dimensionamento de reservatório elevado de concreto armado e linguagem de programação Python.

2.1. RESERVATÓRIO DE CONCRETO ARMADO

Pode-se definir o reservatório de concreto armado como uma estrutura constituída por laje maciça de tampa, laje maciça de fundo e vigas-parede. Esses elementos são submetidos a carga permanente, carga accidental, empuxo da água e caso seja semienterrado ou enterrado, considera-se também o empuxo do solo (KUEHN, 2002).

Segundo Ramos (2010), os reservatórios podem ser classificados mediante:

- 1) A sua implantação:
 - a) Apoiado;
 - b) Semienterrado;
 - c) Enterrado;
 - d) Elevado.
- 2) A sua capacidade:
 - a) Pequena capacidade (volume $< 500 \text{ m}^3$);
 - b) Média capacidade (volume entre 500 m^3 e 5000 m^3);
 - c) Grande capacidade (volume $> 5000 \text{ m}^3$).
- 3) A sua forma:
 - a) Seção retangular;
 - b) Seção quadrada;
 - c) Seção circular;
 - d) Seção variável.
- 4) O fechamento:
 - a) Cobertos;
 - b) Não cobertos (piscinas).
- 5) A configuração da construção:
 - a) Simples (não compartimentados);

- b) Compartimentados;
 - c) Sobrepostos;
 - d) Sobrepostos e compartimentados.
- 6) A natureza do líquido ou material armazenado:
- a) Água;
 - b) Vinho;
 - c) Cerveja;
 - d) Hidrocarbonetos (petróleo, gasolina).

2.2. MODELO ESTRUTURAL: RESERVATÓRIO RETANGULAR ELEVADO

O reservatório elevado de formato retangular foi o modelo estrutural escolhido para ser dimensionado. A estrutura deve ser bem dimensionada para que resista às solicitações durante sua utilização, os elementos que compõem o reservatório serão tratados, inicialmente, como lajes maciças e posteriormente as paredes serão analisadas e calculadas também como vigas-parede.

2.2.1. Dimensões mínimas das lajes maciças de concreto armado

A ABNT NBR 6118: 2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, define placas como “elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais em seu plano. As placas de concreto armado são denominadas lajes”. Elas apresentam espessura “h” menor que as outras duas dimensões.

As lajes maciças de concreto armado devem obedecer a dimensões mínimas, ou seja, sua espessura não deve ser menor que os seguintes limites (NBR 6118: 2014):

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes cogumelo.

Para reservatórios, a espessura mínima adotada nas paredes e na laje de fundo deve ser de 12 cm, e a espessura mínima na laje de tampa deve ser de 7 cm, porém, deve-se considerar o cobrimento exigido pela NBR 6118:2014, dessa forma, adota-se espessura ≥ 15 cm para laje de fundo e paredes.

Nos cantos há um engrossamento do elemento estrutural, mais especificamente entre as ligações das paredes e com a parede-fundo, esse engrossamento é denominado mísula. Elas reduzem o risco de fissuração, aumenta o grau de engastamento entre as placas e facilita a aplicação da impermeabilização (SOUZA; CUNHA, 1994). Um modelo de reservatório retangular com mísulas pode ser visualizado através da Figura 1.

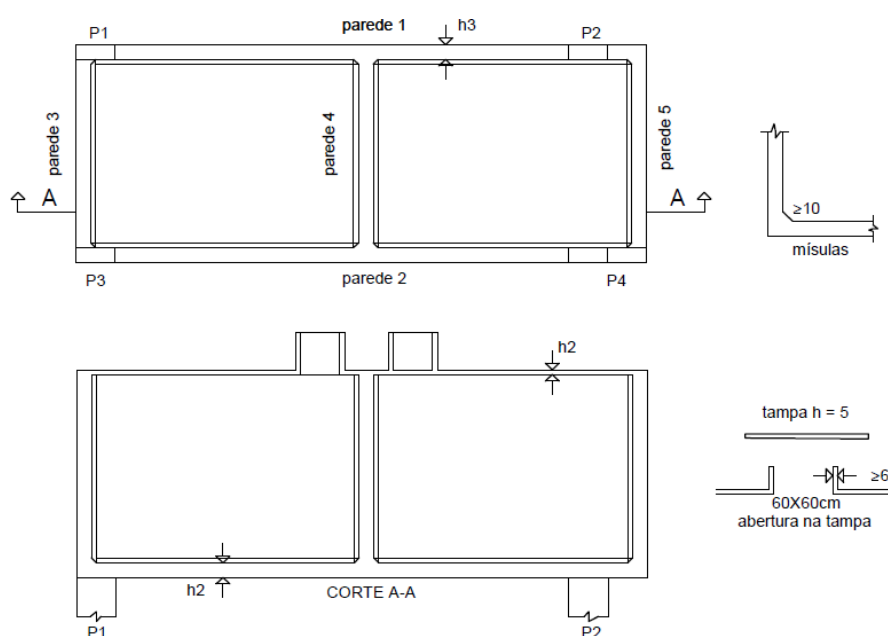


Figura 1 – Modelo de um reservatório retangular (Fonte: ADAPTADO DE ARAÚJO, 2014)

Nos reservatórios com tampa, deve haver aberturas independentes para que seja possível realizar a inspeção. Segundo Araújo (2014), as dimensões usuais das aberturas são 60x60 cm coberta por placas pré-moldadas para evitar a entrada de água da chuva e animais.

2.2.2. Condições especiais de exposição

Os reservatórios apresentam condições especiais de exposição, dessa forma, devem ser atendidos alguns requisitos mínimos para que não comprometa a durabilidade, conforme foi

especificado na Tabela 1. Esses requisitos são estabelecidos pela ABNT NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.

Tabela 1 – Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa para concreto com agregado normal	Mínimo valor de f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve (MPa))
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade a água, por exemplo, em caixa d'água	0,50	35

(Fonte: NBR 12655: 2015)

2.2.3. Controle de fissuração

Uma estrutura deve atender ao estado limite último (ELU), ou seja, não pode romper nem perder estabilidade. Ela também deve atender ao estado limite de serviço (ELS), o que significa que a estrutura não pode ter deslocamentos prejudiciais, vibrações excessivas e nem pode apresentar fissuras significativas.

Este tópico abordará a fissuração, pois se houver aberturas significativas, essas fissuras comprometem a estanqueidade do reservatório e contribuem no processo de corrosão das armaduras. A corrosão na armadura prejudica a segurança e também a durabilidade da estrutura

Segundo a NBR 6118:2014, a abertura máxima característica (w_k) das fissuras não tem importância significativa na corrosão das armaduras passivas, desde que não exceda valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm, estabelecidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Exigência de durabilidade relacionada à fissuração

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	-
	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4\text{mm}$	

Concreto armado	CAA II a CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3\text{mm}$	Combinação frequente
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2\text{mm}$	

(Fonte: NBR 6118: 2014)

Em reservatório de concreto armado, o controle de fissuração é essencial para que evite perda de estanqueidade, logo, o dimensionamento da armadura deve ser realizado de forma que a estrutura trabalhe dentro dos limites estabelecidos por norma técnica.

A norma estabelece que se as fissuras afetarem a funcionalidade da estrutura como no caso da estanqueidade de reservatórios, deve-se adotar limites menores, porém não estabelece especificamente quais seriam esses limites aceitáveis.

Segundo o EC 2 (1992) apud Araújo (2014) para reservatórios de água, a abertura limite das fissuras, pode ser dada por meio da relação da altura da coluna d'água h_d e a espessura da parede. Os limites são estabelecidos conforme a Figura 2.

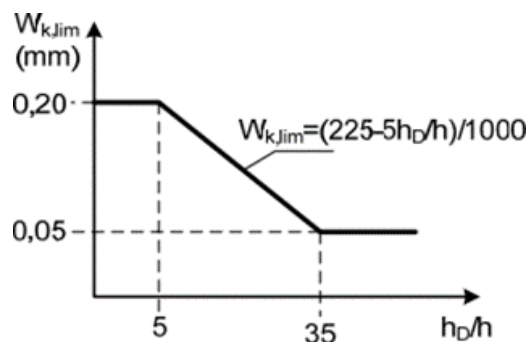


Figura 2 - Abertura limite das fissuras (Fonte: EC 2 (1992) apud ARAÚJO (2014)).

De acordo com Araújo (2014), admite-se para lajes com faces internas tracionadas, o valor da abertura limite (w_k , lim.), conforme estabelecido na figura 2. Nas lajes com fase externa tracionada e para laje de tampa, admite-se w_k , lim. = 0,2 mm.

2.2.4. Consideração nas cargas do reservatório

Na laje de tampa atua a cargas permanente e acidental. Na laje de fundo atua a carga permanente e a pressão hidrostática do líquido armazenado e nas paredes atua a ordenada máxima da pressão da água. Dessa forma, deve-se analisar individualmente a laje de tampa, laje da parede, laje de fundo e seus respectivos carregamentos (KUEHN, 2002).

Carga permanente: De acordo com a NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações, a carga permanente é proveniente do peso próprio da estrutura, elementos construtivos, equipamentos fixos, empuxos devido ao peso próprio de terra, peso da

água em piscinas e reservatórios que permaneçam cheios durante a maior parte da vida da edificação. A carga permanente atua na laje de tampa, laje de fundo e paredes.

Carga acidental: A carga acidental atua na laje de tampa. De acordo com a NBR 6120:2019, esse tipo de carga é toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso, por exemplo, pessoas, móveis, materiais diversos e veículos.

Pressão hidrostática do líquido armazenado: Atua perpendicularmente ao plano da laje de parede, o valor da pressão hidrostática é obtido por meio do produto do peso específico da água ($\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$) pela altura do líquido que será armazenado. “A pressão hidrostática atua sobre as paredes do reservatório, as cargas atuantes assumem o mesmo aspecto das produzidas pelo solo, em formato triangular”, como mostra a Figura 3 (COLAÇO, 2017, p. 20).



Figura 3– Pressão hidrostática atuando nas paredes do reservatório (Fonte: COLAÇO, 2017)

De acordo com a ABNT NBR 6120: 2019 no cálculo das lajes, deve-se considerar os seguintes valores para as cargas:

- A) Na laje de tampa (carga uniforme P1): peso próprio: $25h \text{ kN/m}^2$; Revestimento: 1 kN/m^2 ; acidental: $0,5 \text{ kN/m}^2$. Onde: h = espessura (em metros) da laje.
- B) Na laje de fundo (carga uniforme P2): peso próprio: $25h \text{ kN/m}^2$; Revestimento : 1 kN/m^2 ; pressão da água: 10 kN/m^3 .
- C) Paredes (carga triangular P3): ordenada máxima da carga = $10h \text{ kN/m}^2$, onde h = altura máxima de água no reservatório.

Embora o carregamento referente a carga acidental esteja especificado, ele pode ter alterações de acordo com as particularidades de cada estrutura.

2.3. CONSIDERAÇÃO PARA O CÁLCULO COMO PLACAS

Os cálculos e análises serão feitos com base no que existe na literatura.

2.3.1. Determinação das condições de contorno

De acordo com Souza e Cunha (1994) para saber em que caso as arestas se enquadram, é preciso fazer um estudo das deformações das lajes para os carregamentos verticais e horizontais, conforme a Figura 4.

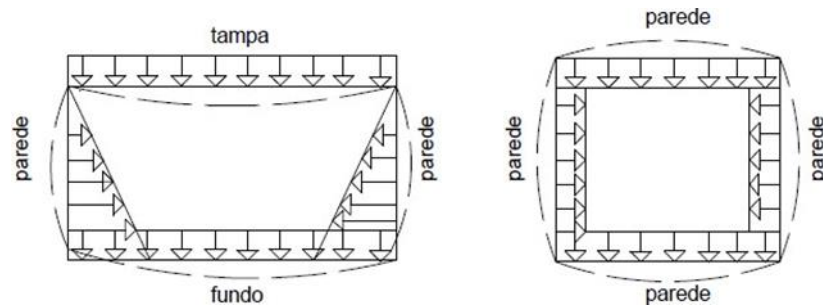


Figura 4 – Deformações das lajes (Fonte: ADAPTADO DE SOUZA; CUNHA, 1997)

A laje de tampa tende a girar junto com as paredes, o fundo, a girar em sentido oposto as paredes e estas a girar em sentidos opostos entre si (SOUZA; CUNHA, 1994). Dessa forma, define-se as condições de contorno como:

- A tampa simplesmente apoiada;
- Fundo com as quatro bordas engastadas;
- As paredes engastadas com o fundo e apoiada com a tampa.

2.3.2. Determinação dos momentos fletores e reações de apoio

Neste trabalho, serão adotadas as tabelas de Kalmanok com algumas modificações feitas por Araújo (2014) (ANEXO A). Essas tabelas fornecem coeficientes que permitem calcular os momentos fletores positivos no centro das placas nas direções l_x e l_y , os momentos negativos nos engastes em ambas as direções, além das reações de apoio quando este for um apoio simples ou quando este for um engaste.

Essas tabelas foram desenvolvidas para simplificar o cálculo das lajes, de forma que as trata conforme suas condições de vinculação e sua relação entre os vãos l_x e l_y . O parâmetro de entrada é a relação l_x/l_y ou l_y/l_x .

Para a relação l_x/l_y são utilizadas as equações abaixo.

Os momentos positivos M_x e M_y , no centro das lajes, devem ser calculados de acordo com as Equações 1 e 2.

$$M_x = 0,001m_x p l_x^2 \quad (1)$$

$$M_y = 0,001m_y p l_y^2 \quad (2)$$

Onde: m_x e m_y são coeficientes tabelados, p é a carga que atua na laje. Adota-se l_x a direção no eixo x e l_y a direção no eixo y .

Os momentos negativos M_{xe} e M_{ye} nos engastes nas direções dos vãos l_x e l_y devem ser calculados de acordo com as Equações 2 e 3.

$$M_{xe} = 0,001m_{xe} p l_x^2 \quad (3)$$

$$M_{ye} = 0,001m_{ye} p l_y^2 \quad (4)$$

Onde: M_{xe} e M_{ye} são coeficientes tabelados, p é a carga que atua na laje. Para calcular as reações de apoio R_x e R_y nas lajes, faz-se uso das Equações 5 e 6.

$$R_x = 0,001r_x p l_x \quad (5)$$

$$R_y = 0,001r_y p l_y \quad (6)$$

Onde: r_x e r_y são coeficientes tabelados, p é a carga que atua na laje.

Já para a relação l_y/l_x , calcula-se, por meio das Equações 7 e 8, os momentos positivos m_x e m_y no centro das lajes.

$$M_x = 0,001r_x p l_y^2 \quad (7)$$

$$M_y = 0,001r_y p l_x^2 \quad (8)$$

Já os momentos negativos m_{xe} e m_{ye} nos engastes são calculados por meio das Equações 9 e 10.

$$M_{xe} = 0,001m_{xe} p l_y^2 \quad (9)$$

$$M_{ye} = 0,001m_{ye} p l_x^2 \quad (10)$$

Calcula-se a reação de apoio, R_x e R_y por meio das Equação 11 e 12.

$$R_x = 0,001r_xpl_y \quad (11)$$

$$R_y = 0,001r_ypl_y \quad (12)$$

E as reações nos engastes das paredes R_{xe} e R_{ye} são calculadas por meio das Equações 13 e 14.

$$R_{xe} = 0,001r_{xe}pl_y \quad (13)$$

$$R_{ye} = 0,001r_{ye}pl_y \quad (14)$$

2.3.3. Compatibilização dos momentos fletores negativos

As ligações engastadas apresentam valores diferentes para os momentos negativos, pois os cálculos dos momentos fletores que atuam no reservatório são feitos considerando as lajes de forma isolada. Portanto, segundo Araújo (2014), deve-se considerar a continuidade da estrutura, e para que isso ocorra, é preciso compatibilizar os momentos negativos entre as lajes que têm suas ligações engastadas.

A compatibilização dos momentos fletores negativos na ligação parede com parede, é calculada por meio de uma média dos momentos obtidos na região dos engastes das paredes, essa compatibilização é feita por meio da Equação 15.

$$x_p = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad (15)$$

Onde: x_p é a média dos momentos nos engastes da ligação parede-parede, x_1 e x_2 são os momentos obtidos nos engaste m_{xe} das paredes do reservatório.

Na compatibilização dos momentos negativos da ligação do fundo com as paredes, utiliza-se a equação 16.

$$y_p = \frac{y_f + y_1}{2} \quad (16)$$

Onde: y_p é a média dos momentos nos engastes da ligação do fundo com as paredes, y_f é o momento do engaste da laje de fundo e y_1 é o momento no engaste da parede do reservatório.

Alguns autores recomendam que seja adotado o maior valor entre a média dos momentos negativos ou 80% do maior valor do momento negativo.

2.3.4. Correções dos momentos fletores positivos na laje de fundo

Como os momentos fletores negativos foram alterados e tendem a sofrer redução, deve-se utilizar os valores alterados para também corrigir os momentos positivos no centro da laje de fundo. Os momentos fletores positivos devem ser corrigidos por meio das Equações 17 e 18.

$$\Delta M_x = 2(\gamma^1_x \Delta x + \gamma^2_x \Delta y) \quad (17)$$

$$\Delta M_y = 2(\gamma^1_y \Delta x + \gamma^2_y \Delta y) \quad (18)$$

Os valores dos índices $\gamma^1_x, \gamma^2_x, \gamma^1_y, \gamma^2_y$, são obtidos por meios das tabelas do Anexo B e os valores Δ_x, Δ_y são calculados por meios das Equações 19 e 20.

$$\Delta_x = x_f - x \quad (19)$$

$$\Delta_y = y_f - y \quad (20)$$

Onde: x_f corresponde ao valor do momento fletor no engaste na direção x da laje de fundo, x e y é igual ao maior valor entre a média da ligação fundo com parede ou 80% do maior valor do momento negativo e y_f é igual ao momento fletor no engaste na direção y da laje de fundo.

Os valores finais dos momentos positivos podem ser determinados pelas Equações 21 e 22.

$$M_x = M_{xf} + \Delta m_x \quad (21)$$

$$M_y = M_{yf} + \Delta m_y \quad (22)$$

Onde Δ_{mx} e Δ_{my} são os valores dos momentos fletores corrigidos, M_{xf} e M_{yf} são os valores dos momentos na direção x e y da laje de fundo.

2.3.5. Dimensionamento da armadura longitudinal

Após definir os esforços provenientes dos carregamentos, uma vez que os momentos fletores na laje são dados por unidade de comprimento, deve-se fazer o dimensionamento da armadura longitudinal nas direções x e y das lajes para uma largura retangular de uma faixa unitária de um metro e altura útil d (CARVALHO; FIGUEIREIDO FILHO, 2015). A área de aço é calculada por metro e deve ser distribuída ao longo dessa largura. Calcula-se a altura útil de acordo com a Equação 23.

$$d = h - \phi - c \quad (23)$$

Onde: h é a altura da laje, ϕ é o diâmetro da barra e c é o cobrimento mínimo para proteger a armadura. Esse cobrimento é estabelecido pela NBR 6118:2014.

O cálculo da armadura à flexão simples deve ser feito com o momento fletor reduzido. Se o momento característico em uma direção é M_k (kN/m), o momento reduzido é dado pela Equação 24 (ARAÚJO, 2014).

$$\mu = \frac{Y_f M_k}{\sigma_{cd} b d^2} \quad (24)$$

Onde: Y_f é o coeficiente de segurança do concreto, σ_{cd} é a tensão de cálculo, b é igual a 100 cm e d é a altura útil. Após calcular o momento reduzido, calcula-se a taxa de armadura relativa, dada pela Equação 25.

$$\xi = 1 - \frac{\sqrt{1 - 2\mu}}{\lambda} \quad (25)$$

Onde: $\lambda = 0,8$ se o $f_{ck} \leq 50$ MPa, porém se $f_{ck} > 50$ MPa, calcula-se λ pela Equação 26.

$$\lambda = 0,8 - \frac{f_{ck}}{400} - 50 \quad (26)$$

Onde: f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto em MPa, após o cálculo da armadura relativa, calcula-se a área de aço em cm²/m, essa área é dada pela Equação 27.

$$A_s = \lambda \xi b d = \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} \quad (27)$$

Onde: f_{yd} é a tensão de cálculo de escoamento do aço, após calcular a área de aço, deve-se compará-la com a armadura mínima dada pela Formula 28.

Onde: $\rho_{mín}$ (%) é a taxa de armadura de flexão mínima, fornecida pela NBR 6118:2014, que depende do f_{ck} concreto.

$$A_{s,mín} = 100h \rho_{mín} \quad (28)$$

2.4. VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2015), o efeito do esforço cortante em laje maciça não é crítico e geralmente apenas o concreto é suficiente para resisti-lo. Isto faz com que as armaduras transversais sejam necessárias apenas em casos especiais.

Este tipo de armadura é responsável por resistir aos esforços de tração provenientes da força cortante. A NBR 6118:2014, permite dispensá-la desde que a força cortante solicitante de cálculo (V_{sd}) seja menor ou igual à resistência de projeto ao cisalhamento (V_{rd1}). A força cortante resistente de cálculo é obtida pela Equação 29.

$$V_{rd1} = [r_{rd} k (1,2 + 40 \rho_1) + 0,15 \sigma_{cp}] b_w d \quad (29)$$

Onde: b_w é a largura mínima da seção ao longo da altura útil (d), k é o coeficiente que tem os seguintes valores: para elementos onde 50% da armadura inferior não chega até o apoio

$k=1$ e para os demais casos: $k = [1,6 - d]$. $\mathcal{T}_{rd}$ é a tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento dado pela Equação 30.

$$\mathcal{T}_{rd} = 0,25f_{ctd} \quad (30)$$

Onde: f_{ctd} é a resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento dada pela Equação 31.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (31)$$

Onde: $f_{ctk,inf}$ é a resistência característica inferior à tração do concreto dada pela Equação 32.

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ct,m} \quad (32)$$

Onde: $f_{ct,m}$ é resistência média à tração do concreto calculada pela Equação 33.

$$f_{ct,m} = 0,3f_{ck}^{1/3} \quad (33)$$

ρ_1 é a taxa de armadura aderente dado pela Equação 34 e deve ser $\leq 0,02$.

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w d} \quad (34)$$

σ_{cp} é dada pela Equação 35.

$$\sigma_c = \frac{N_{sd}}{AC} \quad (35)$$

Onde: N_{sd} é a força longitudinal na seção causada pelo carregamento.

A seguir é apresentado o fluxograma com o roteiro de cálculo de lajes maciças de concreto armado, como ilustrado na Imagem 5.

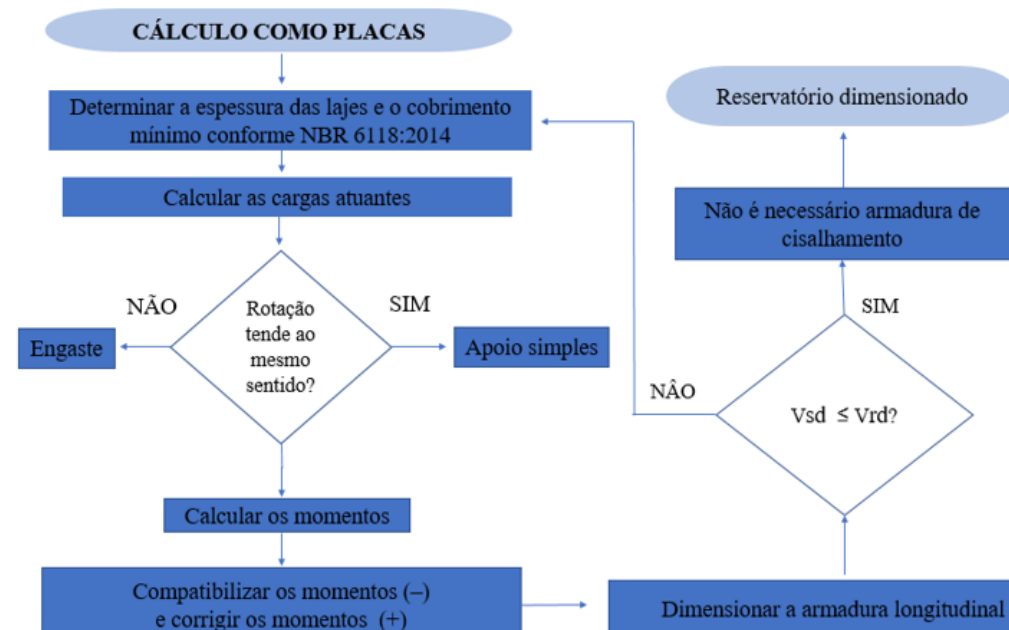


Figura 5 – Fluxograma do roteiro de cálculo de lajes (fonte: AUTORA)

2.5. VIGAS-PAREDES

2.5.1. Conceito

De acordo com a NBR 6118:2014, é considerada viga-parede a viga que a relação entre o vão e a altura l/h seja menor que 2, no caso de viga biapoiada e menor que 3, no caso de viga contínua. Elas recebem carregamento inferior ou superior, conforme a Figura 6.

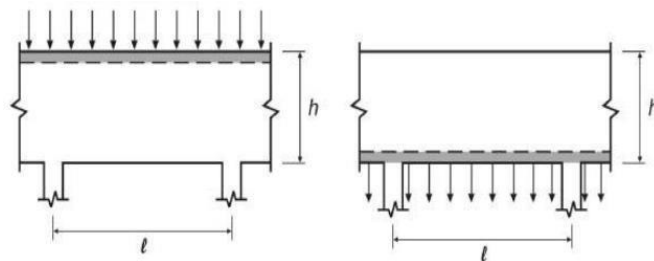


Figura 6 – Carga da laje distribuídas na parede (Fonte: NBR 6118:2014)

As dimensões mínimas são estabelecidas para que a estrutura tenha condições de segurança e execução adequadas, logo, vigas-parede não pode apresentar seção transversal menor que 15 cm.

Nos reservatórios, as vigas-parede são solicitadas na borda inferior pela laje de fundo (cargas permanentes e acidentais) e na borda superior pela laje de tampa (cargas permanentes e acidentais) e a ação do peso próprio é distribuída ao longo de seu plano vertical (KUEHN, 2002). Considera-se o valor de 1kN/m^2 para a carga acidental (NBR 6120:2019). Elas também recebem a ação da água que atua fora do seu plano, neste caso, devem ser analisadas como placas, conforme foi abordado no tópico 2.4 deste trabalho.

2.5.2. Comportamento estrutural (descontinuado)

A viga-parede, quando comparada a viga usual, apresenta ineficiência ao combate à flexão e ao cisalhamento (NBR 6118:2014).

Essa ineficiência ocorre, porque quando a viga-parede é submetida à flexão, as tensões normais não atuam de forma linear como ocorre com a viga dita como elemento linear (LEONHARDT, 1979), conforme ilustrado na Figura 7.

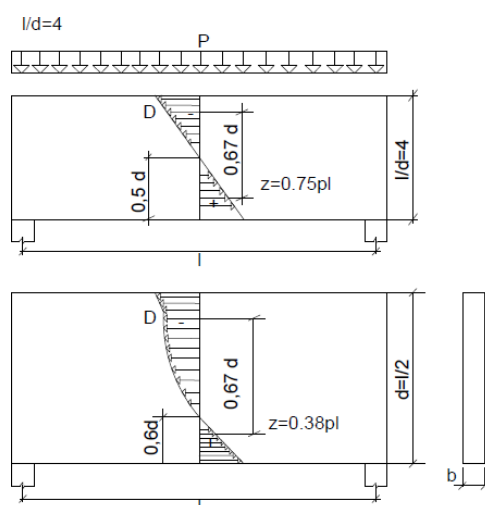


Figura 7 – Tensões em vigas paredes de um só vão (Fonte: ADAPTADO DE LEONHARDT, 1979)

O diagrama de tensões normais de uma viga é retilíneo, enquanto que o diagrama da viga-parede possui uma curvatura à medida que diminuiu a relação do vão e altura l/d , isto ocasiona uma zona pequena de tração e uma zona de compressão maior que de tração (KUEHN, 2002).

Elementos estruturais de concreto podem ser separados em dois tipos de regiões (SCHLAICH; SCHAFFER; JENNEWEIN, 1987):

- Regiões B: nestas regiões, aplica-se a hipótese de distribuição linear de tensão e deformação de Bernoulli-Euler ao longo da seção.
- Região D: são as regiões de descontinuidade, conforme ilustrado na Figura 8, portanto as tensões e deformações ao longo da seção transversal não apresentam distribuição linear, sendo assim, a hipótese de Bernoulli-Euler não é mais aplicável

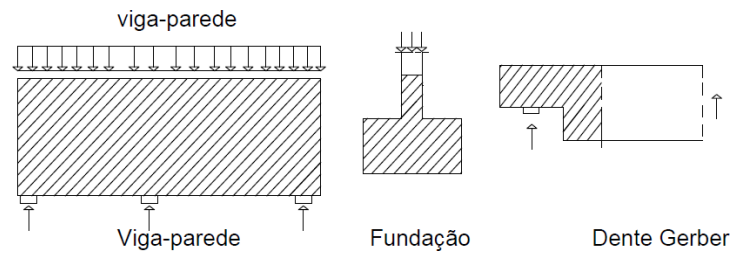


Figura 8 – Exemplos de regiões D dentro de uma estrutura (Fonte: ADAPTADA DA NBR 6118:2014)

As regiões hachuradas representam as regiões D com distribuições não lineares.

2.5.3. Modelos com bielas e tirantes

Devido a distribuição das tensões não lineares, a hipótese de Euler-Bernoulli aplicada em vigas, não pode ser aplicada em vigas-parede, pois após à flexão as seções deixam de permanecer planas (LEONHARDT, 1979), contudo, em vigas-parede, é possível determinar as tensões por meio do método de bielas e tirantes.

Esse método é bastante aplicado em estruturas de concreto armado e sua utilização é permitida por norma técnica. Nesse modelo, a estrutura real, assemelha-se a uma treliça idealizada composta por bielas, tirantes e nós, conforme ilustrado na Figura 9

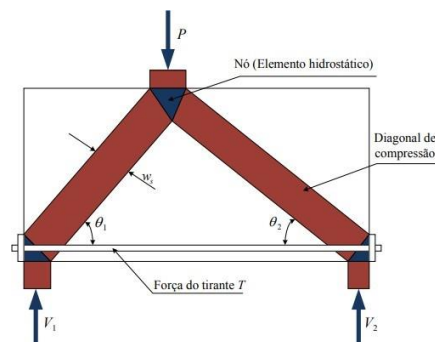


Figura 9 – Modelo de bielas e tirantes (Fonte: PANTOJA, 2012)

Na Figura 9, a biela representa a região das tensões de compressão, a região de tração é representada pelo tirante e os nós ligam a biela ao tirante. Os nós recebem as forças que agem nos tirantes e nas bielas, as forças se encontram nos nós e se equilibram. Deste modo, para garantir a segurança, deve-se fazer o dimensionamento da armadura principal que combaterá à tração e também fazer a verificação ao esmagamento da biela de compressão.

“Método de bielas e tirantes, baseia-se no teorema estático, conhecido também como teorema do limite inferior, ele permite dimensionar, e detalhar estruturas a favor da segurança, pois esse teorema afirma que a carga de projeto, utilizando o modelo de bielas e tirantes, é um limite inferior à que leva a estrutura ao colapso” (SANTOS, 2021).

2.5.4. Equação para o cálculo das vigas-paredes

2.5.4.1. Momento fletor máximo de vigas-paredes

O momento fletor máximo e a reação de apoio são calculados a partir da carga total de serviço que atua na viga-parede: carga accidental, peso próprio, carga atuante na laje de tampa e carga atuante na laje de fundo. Calcula-se o momento fletor característico por meio da Equação 36.

$$M_k = \frac{P_k l^2}{8} \quad (36)$$

Onde: M_k é o momento fletor, P_k é a carga total de serviço e l^2 é o vão.

A reação de apoio é determinada pela equação de equilíbrio da estática, pois, trata-se de uma estrutura isostática. “Pode se assumir de forma intuitiva que a força está tão próxima ao apoio e ela é transmitida a este de modo direto através de uma biela inclinada” (SANTOS, 2021, pág.24), ou seja, a força é transmitida ao apoio por meio da biela inclinada. Calcula-se a reação de apoio por meio da Equação 37.

$$P_k = \frac{P_k l^2}{8} \quad (37)$$

Onde: Pk é a carga total de serviço, e l é o vão.

2.5.4.2. Armadura principal (A_s)

Após determinar o momento fletor máximo e a reação de apoio, determina-se a área de aço principal A_s que combaterá o esforço de tração a partir do momento fletor M_d , do braço de alavanca z e da resistência de cálculo ao escoamento do aço f_{yd} , conforme a Equação 38.

$$A_s = \frac{M_d}{z f_{yd}} \quad (38)$$

O braço de alavanca é obtido pela relação da Equação 39.

$$z = 0,15 d (3 + (l/d)) \quad (39)$$

2.5.4.3. Armadura mínima de tração ($A_{s,min}$)

A armadura principal de tração deve ser comparada a armadura mínima, estabelecida por norma, dada pela equação 40.

$$A_{s,min} = \lambda \frac{\rho}{100} h b_w \quad (40)$$

Onde: b_w é a espessura da parede e h é a altura da mesma. A armadura principal não pode ser menor que a armadura mínima.

2.5.4.4. Resistência das bielas

Para a verificação das tensões máximas nas bielas e regiões nodais, deve-se considerar os critérios estabelecidos pela NBR 6118:2014, item 22.3.2, dado pela Equação 41.

$$f_{cd2} = 0,60 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) MPa \quad (41)$$

Onde: f_{cd2} é a tensão máxima na biela e região nodal. A tensão na biela é determinada por meio da Equação 42.

$$\sigma_c = \frac{V_{sd}}{a c} \quad (42)$$

Onde: V_{sd} é a força de cálculo na biela da treliça, σ_c é a tensão no nó dada pela Fórmula 43.

$$V_{sd} = 1,4 R_k \quad (43)$$

ac é a área da biela. Onde: a é a espessura da viga e c é a largura do apoio.

A inclinação da biela é dada pela Equação 44.

$$tg \theta = \frac{4z}{l} \quad (44)$$

O ângulo de inclinação da biela permitido pela NBR 6118:2014 é: $30^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$ ($0,577 \leq tg \theta \leq 2$).

A seguir é apresentado o fluxograma com o roteiro de cálculo de vigas-parede, como ilustrado na Imagem 10.

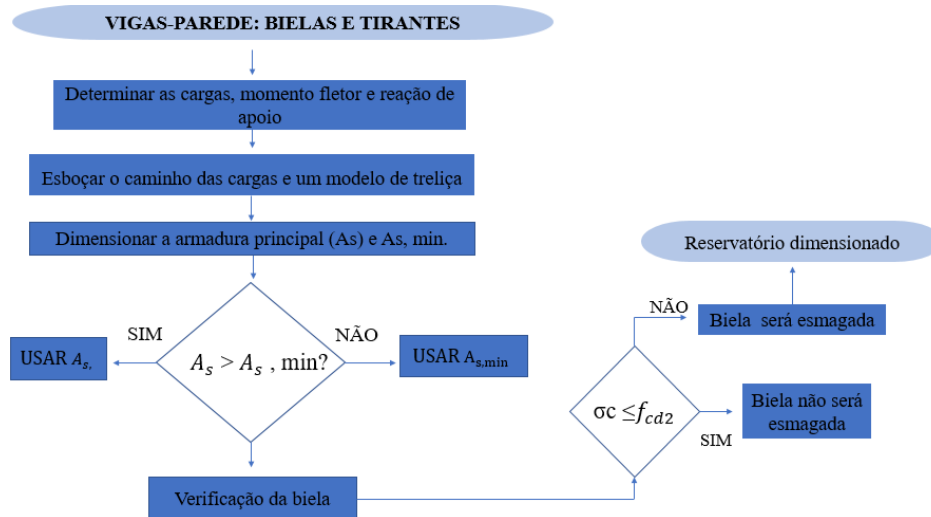


Figura 10 – Fluxograma do roteiro de cálculo como placa (Fonte: AUTORA)

2.6. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

A linguagem de programação Python foi desenvolvida pelo matemático e programador de computadores Guido Van Rossum, holandês, em 1990, no Instituto Nacional de Pesquisa para Matemática e Ciência da Computação. Para criá-lo, Rossum tomou como base uma linguagem que já existia, denominada ABC.

Python pode ser definido como uma linguagem de programação de tipagem dinâmica, de alto nível, orientada a objetos e frequentemente aplicada em função de script. De acordo com Lutz e Ascher (2007), as principais aplicações desse tipo de linguagem são: programação de sistemas, scripts de internet, integração de componentes, GUIs (interface gráfica com o usuário), programação de banco de dados, composição rápida de protótipos, programação numérica, jogos, imagens, etc., ou seja, as aplicações são praticamente ilimitadas.

Quanto as características dessa linguagem, Borges (2010) destaca a sintaxe clara e concisa que favorece a legibilidade do código e consequentemente aumenta a produtividade, a estrutura de alto nível (listas, dicionários, etc.), módulos prontos e o bytecode (interpretador da linguagem).

O foco da linguagem Python inclui: facilidade de aprendizado, rapidez de elaborar programas, além disso, é possível obter ferramentas e bibliotecas gratuitamente para diversos fins de execução (MELO, 2010).

Ao programar utilizando essa linguagem, pode-se citar as seguintes vantagens:

- O código apresenta 1/3 a 1/5 do tamanho do código de outras linguagens, como C++ e Java, por exemplo;
- Python oferece opções para desenvolvimento de interfaces gráficas utilizando uma biblioteca padrão (Tkinter);
- A maioria dos programas são executados em todas as plataformas;
- Possui um conjunto de funcionalidades pré-copiladas e portáveis (bibliotecas padrão);
- Possui gerenciamento de memória automático;
- Inclui ferramentas e módulos, permitindo criação de sistemas maiores.

Python foi escolhida para desenvolver o *software* de dimensionamento de reservatório retangular elevado, porque apresenta funções praticamente ilimitadas, e principalmente por ser uma linguagem criada para permitir a programar utilizando códigos simples.

2.6.1. Tkinter

A interface gráfica do *software* foi criada através do Tkinter, biblioteca padrão do Python, que ao ser importada permite a criação e configuração de uma GUI (interface gráfica do usuário).

“Uma interface gráfica é a ferramenta que permite que um usuário interaja com um programa construído a partir de uma linguagem de programação como C, C++, Java, PHP, Python, entre outras. É a GUI que trata eventos como entrada de informações, cliques do mouse, tecla pressionadas e exibe informações que o programador acredite ser importante para conhecimento do usuário (COSTA, 2019, p. 16).

Para criar uma janela, é preciso chamar o módulo Tkinter através do comando “from Tkinter import*” e criar uma variável para atribuir a classe Tk (), por exemplo: root = Tk ().

Onde: root é a variável, ela irá criar a janela, logo após, deve-se criar uma classe, denominada “class Application”, ela permitirá criar e configurar a janela bem como aplicar os widgets (frames, button, entry, label). Após criar a classe, deve-se criar um loop na variável através do comando root.mainloop (), ela abrirá uma janela, como mostra a imagem 11.

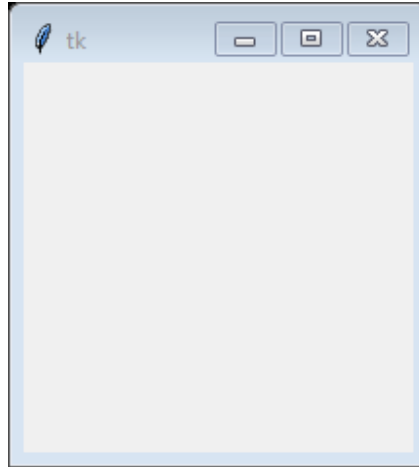


Figura 11 – Primeiro contato com a GUI (fonte: AUTORA)

Dessa forma, é possível ter o primeiro contato com a GUI. A implementação dos comandos, para que seja possível abrir a janela, deve ficar da seguinte forma:

```
from tkinter import*
```

```
root = Tk ()
```

```
class Application ():
```

```
root.mainloop ()
```

```
Application ()
```

3. DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

O *software* em Python foi desenvolvido por meio do IDE PyCharm Community Edition 2021.1.1 x64, ambiente integrado de desenvolvimento da linguagem de programação Python, criado por uma empresa da República Tcheca denominada JetBrains. A Figura 12 apresenta a interface de desenvolvimento de programação do PyCharm.

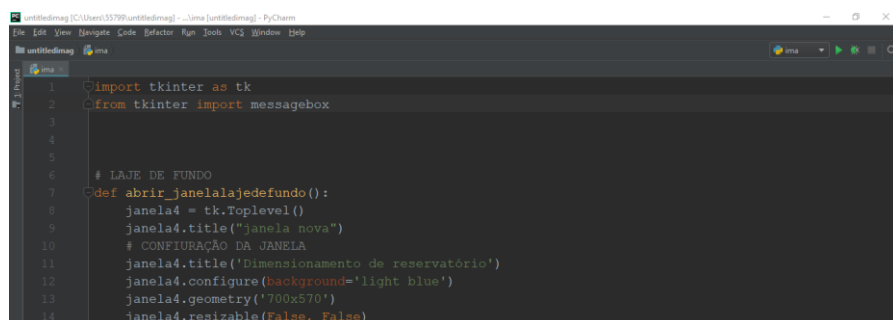


Figura 12 - Ambiente de desenvolvimento PyCharm (Fonte: AUTORA, 2022)

O *software* que recebeu o nome de ReservaCalc foi desenvolvido por meio da linguagem de programação Python por se tratar de uma linguagem que permite programar utilizando códigos simples. Através de sua biblioteca padrão (Tkinter), o Python permite desenvolver interfaces gráficas, além disto, possui outras bibliotecas gratuitas que possibilitam realizar tratamentos de erros, empacotamentos de imagens no código fonte e transformar o arquivo.py em arquivo.ex (executável).

Para que o usuário pudesse interagir com o programa, criou-se a interface gráfica a partir do Tkinter que foi importado e permitiu a criação e configuração da GUI. Quando transformado em executável, o *software* pode ser aberto em computadores com processadores de 32 bits ou 64 bits.

O processo de criação do *software* passou por três etapas principais: concepção, elaboração e finalização, porém, ela não foi seguida à risca, pois durante a etapa de elaboração foi preciso voltar para a etapa de concepção para melhor definir os objetivos e requisitos computacionais do programa, como mostrado na figura 13.

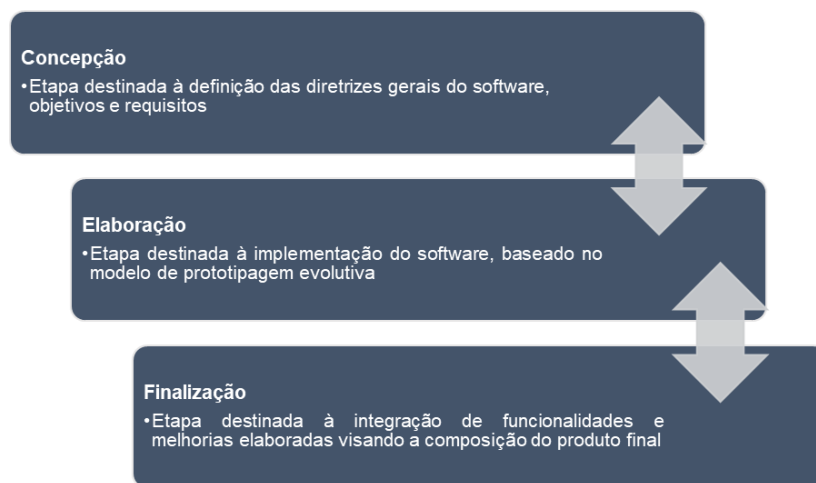


Figura 13 - Processo de desenvolvimento do software. Fonte:(SILVA, 2020)

Na etapa de concepção ficou estabelecido que o objetivo do programa seria dimensionar um reservatório elevado de concreto armado. O objetivo foi desdobrado em requisitos computacionais sendo eles: realizar as análises dos momentos fletores e reações de apoio das lajes, determinar a armadura longitudinal e a verificação ao cisalhamento, possibilitar o cálculo das vigas-parede por meio do modelo de bielas e tirantes, determinar a armadura do tirante e fazer a verificação da biela de compressão no apoio.

Após definir os requisitos computacionais, iniciou-se a idealização da interface gráfica.

A etapa de elaboração foi a mais longa, pois, realizou-se um estudo acerca da linguagem Python, dimensionamento de placas e de vigas-paredes. Esta etapa foi norteadada pela anterior e dedicada ao desenvolvimento do código-fonte e interface gráfica.

À medida que o código-fonte foi desenvolvido, foram realizados testes de validação do *software* e com base nos resultados, houve a necessidade de retornar a etapa de concepção para corrigir ou melhorar os requisitos computacionais.

Por fim, na etapa de finalização foram realizados os tratamentos de erros para corrigir os bugs para que o usuário pudesse ter uma boa experiência ao utilizar o *software*. Para o teste final, foi desenvolvido um exemplo de um reservatório elevado de concreto armado de uma célula com as quatro paredes apoiadas em pilares situados nas quinas do reservatório. Esse exemplo foi aplicado ao *software* para verificar seu funcionamento e posterior comparação com o cálculo manual a fim de verificar a coerência dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. INTERFACE PRINCIPAL DO SOFTWARE

A interface principal possui seis botões: Análise das Lajes; Armadura Longitudinal; Verificação ao Cisalhamento, Conforme NBR 6118:2014; Cálculo como Vigas-parede; Recomendações Técnicas: NBR 6118:2014 e Fluxogramas. Além desses botões, a interface principal é ilustrada com uma imagem de um reservatório retangular de duas células, como pode ser observado na Figura 14.



Figura 14 - Interface Principal do ReservaCalc (Fonte: AUTORA, 2022)

4.2. BOTÃO ANÁLISE DE LAJES

Clicando no botão “Análise das lajes”, o usuário terá acesso a tela da laje de tampa onde inserirá os parâmetros, conforme mostrado na figura 15. Cada entrada apresenta a descrição da unidade de medida em que o parâmetro deve ser inserido.

Figura 15 - Interface da Análise da laje de tampa (Fonte: AUTORA, 2022)

Ao clicar no botão “CALCULAR”, é possível obter os resultados dos momentos positivos no centro da laje e as reações de apoio, como na Figura 16.

Figura 16 – Interface com resultados da análise da laje de tampa (Fonte: AUTORA, 2022)

A seguir serão apresentadas as funções dos botões da tela mostrada na Figura 15. “OBTENHA OS COEFICIENTES”: fornecer coeficientes para preencher os campos de entradas. “EQUAÇÕES”: mostrar as equações necessárias para realizar o cálculo. “LIMPAR CAMPO”: limpar todos os campos. “VOLTAR”: para a tela anterior. Além destes botões, foi inserida uma imagem com o intuito de deixar a interface mais didática e contribuir para o entendimento do usuário sobre os diferentes tipos de carregamentos atuantes nas lajes.

Para analisar a laje de fundo, o usuário deve clicar no botão “AVANÇAR” da tela da Figura 16, que será aberta a tela mostrada na Figura 17, que indica as entradas ou poderá clicar no botão “VOLTAR” para recalcular a laje de tampa. A tela da laje de fundo é equipada com uma imagem que mostra a condição de contorno da laje.

Figura 17 – Interface da análise da laje de fundo (Fonte: AUTORA, 2022)

Ao inserir os dados e clicar no botão “CALCULAR”, o usuário tem acesso aos resultados conforme o exemplo da Figura 18.

Dimensionamento de reservatório

Momento positivo no centro da laje (MX) na direção do vão l_x = 9.61 kNm/m

Momento positivo no centro da laje (MY) na direção do vão l_y = 3.75 kNm/m

Reação de apoio (RX) no lado l_x = 22.08 kN/m

Reação de apoio (RY) no lado l_y = 31.94 kN/m

Momento negativo no engaste (MXE) na direção do vão l_x = -19.72 kNm/m

Momento negativo no engaste (MYE) na direção do vão l_y = -14.14 kNm/m

VOLTAR AVANÇAR

Figura 18 – Interface com resultados da análise da laje de fundo (Fonte: AUTORA, 2022)

Para analisar as paredes, deve-se clicar no botão “AVANÇAR” e posteriormente será mostrada a interface ilustrada na Figura 19, que indica as entradas, ou clicar no botão “VOLTAR”, caso deseje voltar para recalcular a laje de fundo. A tela da laje de paredes é equipada com uma imagem que mostra a condição de contorno da laje.

Dimensionamento de reservatório

ANÁLISE DAS PAREDES 1 e 2

EQUAÇÕES OBTER OS COEFICIENTES LIMPAR CAMPO

Altura (m) :

m_x :

m_y :

l_y :

r_x :

m_{xe} :

m_{ye} :

r_{xe} :

r_y :

VOLTAR CALCULAR

Figura 19 – Interface da análise da laje de parede (Fonte: AUTORA, 2022)

Ao inserir os dados e clicar no botão “CALCULAR”, o usuário tem acesso aos resultados dos momentos positivos no centro da laje de parede, os momentos negativos nos engastes, as reações no poio simples e nos engastes, como mostrado na Figura 20.



Figura 20 – Interface da análise da laje de parede (Fonte: AUTORA, 2022)

Para analisar as paredes 3 e 4, basta clicar no botão “AVANÇAR” e em seguida a tela mostrará as mesmas entradas e configurações visualizadas na Figura 19. O usuário pode clicar no botão “CALCULAR” e obter os resultados para as paredes 3 e 4. Posteriormente, pode clicar no botão “AVANÇAR” e ele obterá os resultados da compatibilização dos momentos negativos e também, a resposta de 80% do maior momento, como no exemplo da Figura 21. Esses valores servirão para corrigir os momentos positivos,



Figura 21 – Interface com resultados da compatibilização dos momentos (Fonte: AUTORA, 2022)

Como pode ser observado na Figura 21, o usuário terá acesso ao botão “EQUAÇÕES” que abrirá as equações utilizadas para realizar os cálculos. Ao clicar no botão “AVANCAR”, ele inserirá os índices, mostrados na Figura 22, e corrigirá os momentos positivos.

Dimensionamento de reservatório

CORREÇÃO DOS MOMENTOS POSITIVOS NA LAJE DE FUNDO

OBTEN OS ÍNDICES LIMPAR CAMPO

V'x :

V²x :

Vy :

V²y :

VOLTAR CALCULAR

Figura 22 – Interface da análise da laje de parede (Fonte: AUTORA, 2022)

Com os valores finais dos momentos positivos na laje de fundo, o *software* realizará o dimensionamento da armadura longitudinal.

4.3. BOTÃO ARMADURA LONGITUDINAL

O botão “ARMADURA LONGITUDINAL” realiza o dimensionamento das barras à flexão simples, admitindo barras predefinidas de 5mm, porém é necessário que se tenha feito todas as análises das lajes, já que a partir dos momentos característicos determinados o *software* realizará o dimensionamento. Para determinar as armaduras das lajes maciças, deve-se inserir os parâmetros de entrada com a respectivas unidades, especificados na Figura 23.

Dimensionamento de reservatório

DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES ADMITINDO BARRA PREDEFINIDA DE 5 mm

TAXAS MÍNIMAS (ρ mín %)

LIMPAR CAMPO

Altura útil (d) da laje de tampa (cm):

Espessura da laje de tampa (cm):

Altura útil (d) da laje de fundo (cm):

Espessura da laje de fundo (cm):

Altura útil (d) da laje de parede (cm):

Espessura da laje de parede (cm):

Resistência característica (fck) do concreto à compressão (MPa):

Resistência característica de escoamento do aço (fyk) à tração (MPa):

Taxa mínima de armadura à flexão (ρ mín %):

CALCULAR

Figura 23 – Interface da análise da laje de parede (Fonte: AUTORA, 2022)

Na Figura 23, nota-se o botão “TAXAS MÍNIMAS (ρ mín. %)”, inserido com a função de mostrar uma tabela com as taxas mínimas de armadura de flexão (ρ mín. %).

Após preencher todos os campos, o *software* calculará a área de aço e área de aço mínima necessária para resistir aos esforços da laje de tampa, laje de fundo, das paredes, das ligações parede-parede e das ligações do fundo com as paredes. A Figura 24 mostra um exemplo de saída dos resultados da área de aço e área de aço mínima.

Dimensionamento de reservatório

DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES DA LAJE DE TAMPA

EQUAÇÕES TABELA DE ÁREA DE AÇO

Direção x :

Momento reduzido (μ) = 0.051

Taxa de armadura relativa (ξ) = 0.06

Taxa de armadura (A_s) = 1.27 cm²/m

Taxa de armadura ($A_{s,min}$) = 1.50 cm²/m

Direção y :

Momento reduzido (μ) = 0.024

Taxa de armadura relativa (ξ) = 0.03

Taxa de armadura (A_s) = 0.59 cm²/m

Taxa de armadura ($A_{s,min}$) = 1.50 cm²/m

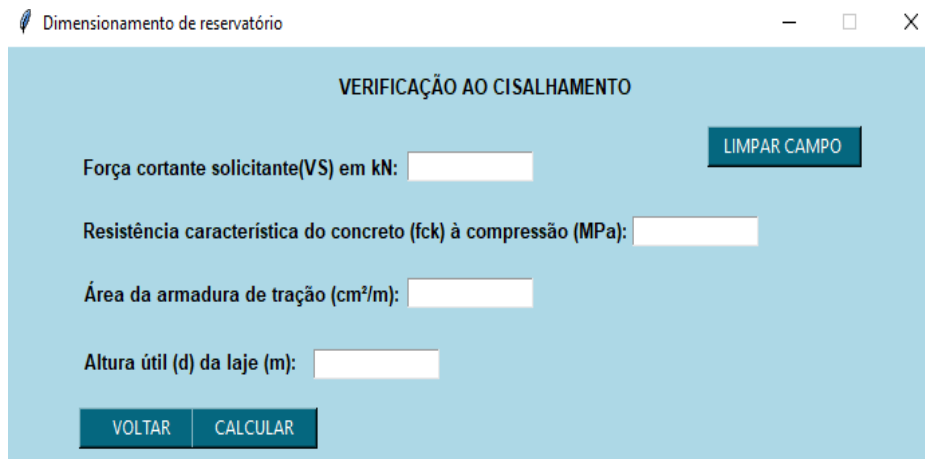
VOLTAR AVANÇAR

Figura 24 – Resultados do dimensionamento da armadura da laje de tampa (Fonte: AUTORA, 2022)

Por meio da “TABELA DE ÁREA DE AÇO”, o usuário conseguirá determinar a quantidade de barras e o diâmetro para a determinada área de aço calculada. Para obter os resultados do dimensionamento das outras lajes e das ligações, basta clicar no botão “AVANÇAR”.

4.4. BOTÃO VERIFICAÇÃO AO CISLHAMENTO CONFORME A NBR 6118:2014

Este botão permite fazer a verificação ao cisalhamento, conforme recomendado pela NBR 6118:2014. Para isto, é preciso inserir os dados visualizados na Figura 25 e clicar no botão “CALCULAR”.



Dimensioamento de reservatório

VERIFICAÇÃO AO CISLHAMENTO

Força cortante solicitante(VS) em kN:

Resistência característica do concreto (fck) à compressão (MPa):

Área da armadura de tração (cm²/m):

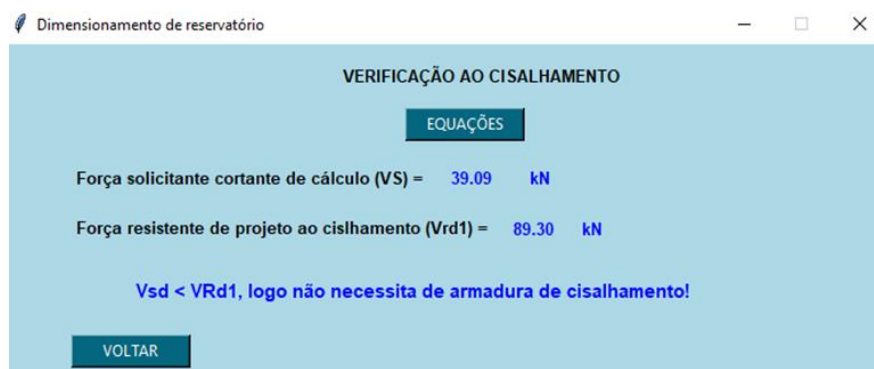
Altura útil (d) da laje (m):

LIMPAR CAMPO

VOLTAR CALCULAR

Figura 25 – Interface da verificação ao cisalhamento (Fonte: AUTORA, 2022)

O *software*, como na Figura 26, comparará a força solicitante cortante de cálculo V_{sd} coma a resistente de projeto ao cisalhamento V_{rd1} .



Dimensioamento de reservatório

VERIFICAÇÃO AO CISLHAMENTO

EQUAÇÕES

Força solicitante cortante de cálculo (VS) = 39.09 kN

Força resistente de projeto ao cislhamento (Vrd1) = 89.30 kN

$V_{sd} < V_{rd1}$, logo não necessita de armadura de cislhamento!

VOLTAR

Figura 26 – Exemplo de saída do resultado da verificação ao cisalhamento (Fonte: AUTORA, 2022)

4.5. BOTÃO CÁLCULO COMO VIGAS-PAREDE

A função deste botão é realizar o cálculo das vigas-parede. A Figura 27 mostra os parâmetros necessários e as respectivas unidades.

Dimensioamento de reservatório

CÁLCULO COMO VIGAS-PAREDE (BIAPOIADA)

CONSULTAR λ LIMPAR CAMPO

Resistência característica (fck) do concreto à compressão (MPa):

Tensão de escoamento de cálculo do aço fyd (MPa):

Taxa mínima de armadura à flexão (ρ mín %):

λ para a relação l/h (consultar na tabela):

Comprimento das vigas-parede (m):

Espessura das vigas-parede (m):

Carga total de serviço (kN/m):

Altura das vigas-parede (m) :

Largura do apoio (m):

VOLTAR CALCULAR

Figura 27 – Tela para o dimensionamento de vigas-parede (Fonte: AUTORA, 2022)

Ao clicar no botão “CALCULAR”, serão obtidos os resultados, conforme a Figura 28.

Dimensioamento de reservatório

DIMENSIONAMENTO DA VIGA-PAREDE BIAPOIADA

EQUAÇÕES TABELA DE ÁREA DE AÇO

Momento fletor (Mk) = 33.43 kN/m

Reações de apoio (Rk) = 48.09 kN

Área de aço (As) = 0.70 cm²

Área de aço mínima (As,mín) = 3.60 cm²

VERIFICAÇÃO PARA GARANTIR A SEGURANÇA DA BIELA DE COMPRESSÃO

Tensão no apoio (σ_d) = 2.99 MPa

Resistência de cálculo reduzida do concreto (fcd_r) = 9.64 MPa

$\sigma_d < fcd_r$, logo a biela de compressão não será esmagada!

VOLTAR

Figura 28– Tela de resultados do dimensionamento de vigas-parede (Fonte: AUTORA, 2022)

4.6. BOTÃO RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS: NBR 6118:2014 E NBR 12655:2015

Este botão fornece recomendações específicas para elaboração e execução de projetos de estruturas de concreto armado:

- Limites de espessuras para lajes maciças (NBR 6118:2014);
- Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição (NBR 12655:2015);
- Classe de agressividade e cobrimento mínimo;
- Valor mínimo para dimensão de vigas-parede;
- Condição para o elemento ser considerado como vigas-parede.

4.7. BOTÃO (FLUXOGRAMAS)

Mostra fluxogramas com o roteiro de cálculo como placas, mostrado na Figura 29, e o roteiro de cálculo como vigas-parede.

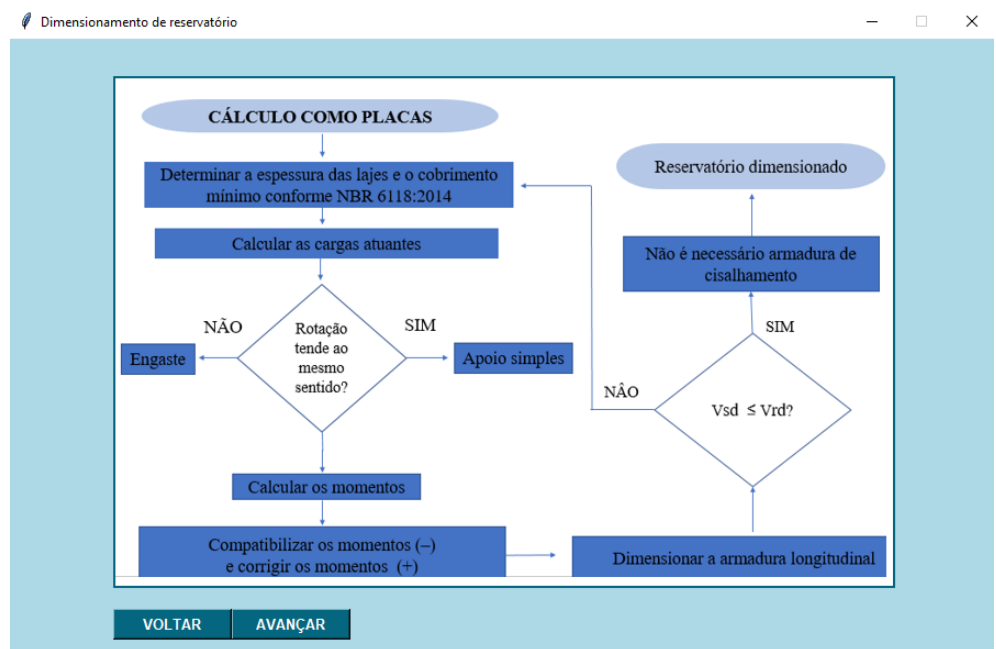


Figura 29 – Fluxograma do roteiro de cálculo como placas (Fonte: AUTORA, 2022)

4.8. TRATAMENTO DE ERROS DO SOFTWARE

Os tratamentos de erros foram realizados por meio do *messagebox*, biblioteca gratuita do Python. Logo, ao ocorrer *bugs* provenientes de entradas inválidas e campos obrigatórios não preenchidos, o *messagebox* exibirá caixas de textos com avisos e recomendações sobre o que o usuário precisará fazer para os erros ser superados, conforme a Figura 30 e Figura 31.

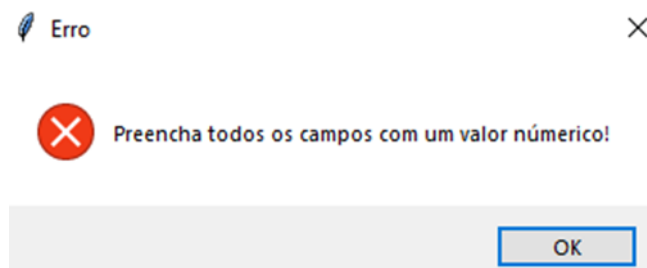


Figura 30 – Mensagem sobre campo obrigatório não preenchido (Fonte: AUTORA, 2022)

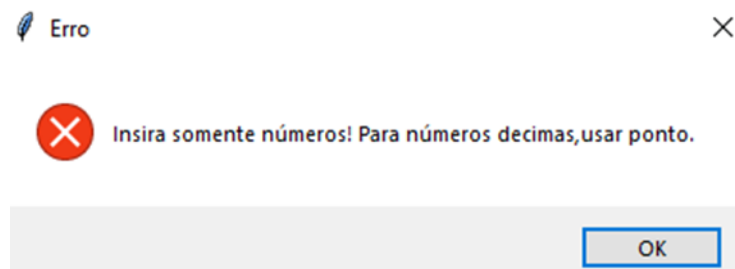


Figura 31 – Mensagem sobre entrada de dados inválidas (Fonte: AUTORA, 2022)

4.9. VANTAGENS DO RESERVACALC

O ReservaCalc apresenta as seguintes vantagens:

- Gratuidade;
- O usuário não precisa ter um computador potente para usá-lo;
- É possível abrir o arquivo executável em processadores de 32 bits ou 64 bits;
- O *software* surge como ferramenta de estudo sobre o dimensionamento de reservatório elevado de concreto armado;

- Possui botão de acesso aos fluxogramas que mostram o roteiro de cálculo de placas e o roteiro de cálculo de vigas-parede;
- A interface é ilustrada com imagens que contribuem para o entendimento acerca das cargas que atuam nas lajes e condições de apoio das lajes;
- É equipado com botões que mostram equações, tabelas com coeficientes, recomendações técnicas para projeto e execuções de estruturas de concreto armado.

4.10. RESULTADOS POR COMPARAÇÃO COM CÁLCULO MANUAL

Foi elaborado um exemplo para testar as funções do ReservaCalc. O Exemplo mostrado na Figura 32 (a) e Figura 32 (b), trata-se de um reservatório elevado de concreto armado de uma célula com as quatro paredes apoiadas em pilares situados nas quinas do reservatório.

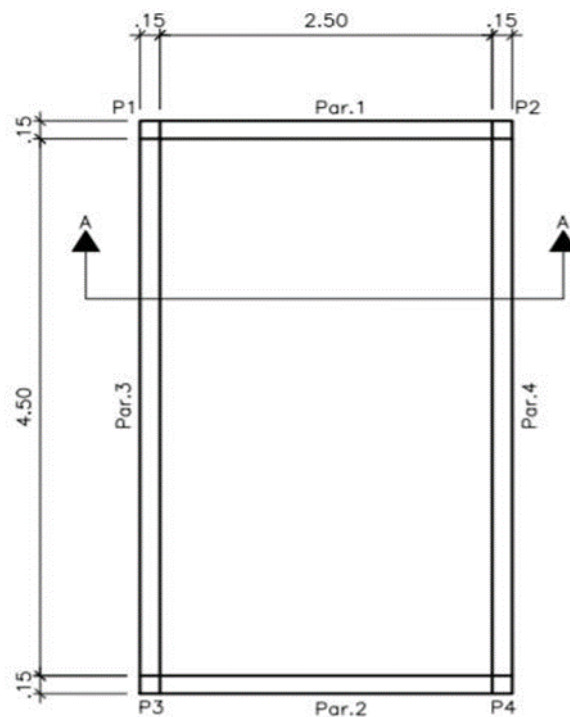
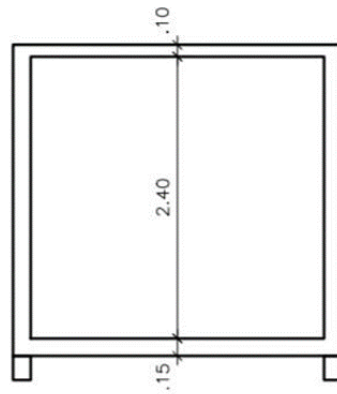


Figura 32 (a) – Exemplo de reservatório elevado com uma célula (Fonte: AUTORA, 2022)



CORTE VERTICAL A-A

Figura 32 (b) – Corte vertical (Fonte: AUTORA, 2022)

A Tabela 3 mostra os parâmetros necessários para realizar as análises das lajes. Os dados incluem os coeficientes das tabelas do Anexo A e Anexo B.

Tabela 3 – Parâmetros de entrada para análise das lajes

Laje de tampa	Laje de fundo	Paredes 1 e 2	Paredes 3 e 4
Espessura = 0.10 m	Espessura= 0.15 m	Espessura= 0.15 m	Espessura= 0.15 m
$l_x = 265 \text{ cm}$	$l_x = 265 \text{ cm}$	$l_x = 265 \text{ cm}$	$l_x = 465 \text{ cm}$
$l_y = 465 \text{ cm}$	$l_y = 465 \text{ cm}$	$l_y = 253 \text{ cm}$	$l_y = 253 \text{ cm}$
Coeficientes	Coeficientes	Coeficientes	Coeficientes
$m_x = 93,4;$ $m_y = 38,8;$ $r_x = 268;$ $r_y = 353$	$m_x = 39,6;$ $m_y = 13,2;$ $r_x = 242;$ $r_y = 367;$ $m_{xe} = - 80,6;$ $m_{ye} = - 56,1$	$m_x = 12,9;$ $m_y = 13,3;$ $r_x = 122;$ $r_y = 325;$ $m_{xe} = - 30,7;$ $m_{ye} = - 39,5$ $r_{xe} = 293$	$m_x = 10,3;$ $m_y = 24,6;$ $r_x = 202;$ $r_y = 344;$ $m_{xe} = - 36;$ $m_{ye} = - 60,3$ $r_{xe} = 414$
Coeficientes para correção dos momentos positivos na laje de fundo			
$\Upsilon^1_x = 0,24$	$\Upsilon^1_y = 0,162$	$\Upsilon^2_x = 0,090$	$\Upsilon^2_y = - 0,003$

Fonte: (AUTORA, 2022)

CARREGAMENTOS

O cálculo dos carregamentos que atuam na laje de tampa foi realizado com as Equações (45 e 46).

$$PP = 25 + 0,10 = 2,5 \text{ kNm/m} \quad (45)$$

$$Rev. = 1 \text{ kNm/m}$$

$$SC = 0,5 \text{ kNm/m}$$

$$P \text{ total} = 2,5 + 1 + 0,5 = 4 \text{ kNm/m} \quad (46)$$

ANÁLISE DA LAJE DE TAMPA

A análise dos momentos fletores e reações de apoio da laje de tampa foram determinadas através Equações (47 a 54).

$$M_x = 0,001m_x p l_x^2 \quad (47)$$

$$M_x = 0,001(93,4)(4)(2,65^2) = 2,62 \text{ kNm/m} \quad (48)$$

$$M_y = 0,001m_y p l_x^2 \quad (49)$$

$$M_x = 0,001(38,8)(4)(2,65)^2 = 1,09 \text{ kNm/m} \quad (50)$$

$$R_x = 0,001r_x p l_x \quad (51)$$

$$R_x = 0,001(268)(4)(2,65) = 2,84 \text{ kNm/m} \quad (52)$$

$$R_y = 0,001r_y p l_x \quad (53)$$

$$R_y = 0,001(353)(4)(2,65) = 3,74 \text{ kNm/m} \quad (54)$$

CARREGAMENTOS

Foram utilizadas as Equações (55 a 57) para o cálculo dos carregamentos que atuam na laje de fundo.

$$PP = 25 + 0,15 \cdot 3,75 \text{ kNm/m} \quad (55)$$

$$Rev. = 1 \text{ kNm/m}$$

$$Pressão \text{ da água} = 10(2,40) = 24 \text{ kNm/m} \quad (56)$$

$$P \text{ total} = 3,75 + 1 + 24 = 28,75 \text{ kNm/m} \quad (57)$$

ANÁLISE DA LAJE DE FUNDO

$$M_x = 0,001 m_x p l_x^2 \quad (58)$$

$$M_x = 0,001(39,6)(28,75)(2,65^2) = 8 \text{ kNm/m} \quad (59)$$

$$M_y = 0,001 m_y p l_x^2 \quad (60)$$

$$M_y = 0,001(13,2)(28,75)(2,65^2) = 2,67 \text{ kNm/m} \quad (61)$$

$$R_x = 0,001 r_x p l_x \quad (62)$$

$$R_x = 0,001(242)(28,75)(2,65) = 18,44 \text{ kNm/m} \quad (63)$$

$$R_y = 0,001 r_y p l_x \quad (64)$$

$$R_y = 0,001(367)(28,75)(2,65) = 27,96 \text{ kNm/m} \quad (65)$$

$$M_{xe} = 0,001 m_{xe} p l_x^2 \quad (66)$$

$$M_{xe} = 0,001(-80,6)(28,75)(2,65^2) = -16,27 \text{ kNm/m} \quad (67)$$

$$M_{ye} = 0,001m_{ye}pl_x^2 \quad (68)$$

$$M_{ye} = 0,001(-56,1)(28,75)(2,65^2) = -11,33 \text{ kNm/m} \quad (69)$$

ANÁLISE DA LAJE DE PAREDE 1 E 2 (P1 = P2)

Valor da ordenada máxima que atua nas paredes.

$$P = 10 + (2,40) = 24 \text{ kNm/m} \quad (70)$$

$$M_x = 0,001m_xpl_y^2 \quad (71)$$

$$M_x = 0,001(1,9)(24)(2,53^2) = 1,98 \text{ kNm/m} \quad (72)$$

$$M_y = 0,001m_ypl_x^2 \quad (73)$$

$$M_y = 0,001(13,2)(28,75)(2,65^2) = 2,67 \text{ kNm/m} \quad (74)$$

$$R_x = 0,001r_xpl_y \quad (75)$$

$$R_x = 0,001(122)(12)(2,53) = 18,44 \text{ kNm/m} \quad (76)$$

$$R_y = 0,001r_ypl_x \quad (77)$$

$$R_y = 0,001(325)(12)(2,53) = 9,87 \text{ kNm/m} \quad (78)$$

$$M_{xe} = 0,001m_{xe}pl_y^2 \quad (79)$$

$$M_{xe} = 0,001(-80,6)(28,75)(2,53^2) = -16,27 \text{ kNm/m} \quad (80)$$

$$M_{ye} = 0,001m_{ye}pl_x^2 \quad (81)$$

$$M_{ye} = 0,001(-39,5)(24)(2,53^2) = -6,07 \text{ kNm/m} \quad (82)$$

$$R_{xe} = 0,001r_{xe}pl_y \quad (83)$$

$$R_{ye} = 0,001(9293)(12)(2,53) = 8,90 \text{ kNm/m} \quad (84)$$

Para a análise dos momentos e reações nas lajes de paredes, foram utilizadas as Equações (71 a 98).

ANÁLISE DA LAJE DE PAREDE 3 E 4 (P3 = P4)

$$M_x = 0,001m_xpl_y^2 \quad (85)$$

$$M_x = 0,001(10,3)(24)(2,53^2) = 2,53 \text{ kNm/m} \quad (86)$$

$$M_y = 0,001m_ypl_x^2 \quad (87)$$

$$M_y = 0,001(24,6)(28,75)(2,53^2) = 204 \text{ kNm/m} \quad (88)$$

$$R_x = 0,001r_xpl_y \quad (89)$$

$$R_x = 0,001(206)(12)(2,53) = 6,425 \text{ kNm/m} \quad (90)$$

$$R_y = 0,001r_ypl_x \quad (91)$$

$$R_y = 0,001(344)(12)(2,53) = 1044 \text{ kNm/m} \quad (92)$$

$$M_{xe} = 0,001m_{xe}pl_y^2 \quad (93)$$

$$M_{xe} = 0,001(3,6)(28,75)(2,53^2) = -4,72 \text{ kNm/m} \quad (94)$$

$$M_{ye} = 0,001m_{ye}pl_x^2 \quad (95)$$

$$M_{ye} = 0,001(-60,3)(24)(2,53^2) = -6,07 \text{ kNm/m} \quad (96)$$

$$R_{xe} = 0,001r_{ye}pl_y \quad (97)$$

$$R_{xe} = 0,001(414)(12)(2,53) = 8,90 \text{ kNm/m} \quad (98)$$

COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS NEGATIVOS

$$X_p = \frac{x1 + x2}{2} \quad (99)$$

$$X_p = \frac{-4,72 + (-5,53)}{2} = 5,13 \text{ kNm/m} \quad (100)$$

$$80 \% (-5,53) = - 5,13 \text{ kNm/m} \quad (101)$$

$$y = \frac{yf + y1}{2} \quad (102)$$

$$y = \frac{-11,33 + (-6,07)}{2} = 8,7 \text{ kNm/m} \quad (103)$$

$$80 \% (-11,33) = - 9,03 \text{ kNm/m} \quad (104)$$

$$x = \frac{xf + y2}{2} \quad (105)$$

$$x = \frac{-16,27 + (-9,26)}{2} = -12,77 \text{ kNm/m} \quad (106)$$

$$80 \% (-16,27) = - 13,02 \text{ kNm/m} \quad (107)$$

A Equação 101 apresenta o valor da compatibilização dos momentos negativos da ligação parede-parede. Por outro lado, a Equação 102 mostra o valor da compatibilização dos momentos negativos da ligação fundo-parede 1 e fundo-parede 2 e a Equação 104, o valor da compatibilização dos momentos negativos da ligação fundo-parede 3 e fundo-parede 4. As compatibilizações dos momentos negativos foram feitas por meio das Equações (99 a 107).

CORREÇÃO DOS MOMENTOS POSITIVOS NA LAJE DE FUNDO

Após compatibilizar os momentos negativos, utilizou-se as Equações (108 a 119) para corrigir os momentos positivos.

$$\Delta x = x_f - x \quad (108)$$

$$\Delta x = 16,27 - 13,02 = 3,25 \text{ kNm/m} \quad (109)$$

$$\Delta y = y_f - y \quad (110)$$

$$\Delta y = 11,33 - 9,06 = 2,27 \text{ kNm/m} \quad (111)$$

$$\Delta M_x = 2(\Upsilon^1_x \Delta x + \Upsilon^2_x \Delta y) \quad (112)$$

$$\Delta M_x = 2((0,244(3,25) + 0,090(2,27))) = 2 \text{ kNm/m} \quad (113)$$

$$\Delta M_y = 2(\Upsilon^1_y \Delta x + \Upsilon^2_y \Delta y) \quad (114)$$

$$\Delta M_y = 2((0,162(3,25)(-0,003)(2,27))) = 1,04 \text{ kNm/m} \quad (115)$$

$$M_x = M_{xf} + \Delta M_x \quad (116)$$

$$M_x = 8 + 2 = 10 \text{ kNm/m} \quad (117)$$

$$M_y = M_{yf} + \Delta M_y \quad (118)$$

$$M_y = 2,67 + 1,04 = 3,29 \text{ kNm/m} \quad (119)$$

DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS

O dimensionamento foi feito admitindo classe de agressividade ambiental ($c = 2,0 \text{ cm}$) e barras de diâmetro de 5 mm. A tabela 4 apresenta os parâmetros de entrada.

Tabela 4 – Parâmetros de entrada para o dimensionamento das armaduras à flexão simples

$\rho_{min} = 0,19$	Laje de tampa	Laje de fundo	Paredes 1 e 2	Paredes 3 e 4
$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$	Esp. = 10 cm	Esp. = 15cm	Esp. = 15cm	Esp. = 15cm
CA -50	$M_{kx} = 2,62$ kNm/m	$M_{kx} = 10$ kNm/m	$M_{kx} = 1,98$ kNm/m	$M_{kx} = 1,58$ kNm/m
c = 2,5 cm	$M_{ky} = 1,09$ kNm/m	$M_{ky} = 3,71$ kNm/m	$M_{kx} = 2,0$ kNm/m	$M_{ky} = 3,78$ kNm/m
$\phi = 5 \text{ mm}$	Ligação parede-parede	Ligação fundo- parede 1 e fundo-parede 2	Ligação fundo- parede 3 e fundo- parede 4	
$\lambda = 0,8$	$M_k = 5,13$ kNm/m	$M_k = 8,7$ kNm/m	$M_k = 12,77 \text{ kNm/m}$	

(Fonte: AUTORA, 2022)

Foram utilizadas as Equações (120 a 175) para o dimensionamento da armadura longitudinal das lajes na direção x e y foram

Dimensionamento da armadura da Laje de tampa na direção x

$$d = h - \phi - c \quad (120)$$

$$d = 10 - 0,5 - 2,5 = 7 \text{ cm} \quad (121)$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (122)$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \frac{3,5}{1,4} = 2,13 \text{ kN/cm}^2 \quad (123)$$

$$\mu = \frac{M_d}{bd^2\sigma_{cd}} = \frac{Y_f M_{kx}}{d^2\sigma_{cd}} \quad (124)$$

$$\mu = \frac{1,4(2,62)100}{100 (7)^2 2,13} = 0,035 \quad (125)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1} - \sqrt{2}}{\lambda} \quad (126)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1} - \sqrt{2}(0,035)}{0,8} = 0,04 \quad (127)$$

$$A_s = \lambda \xi b d \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} \quad (128)$$

$$A_s = (0,8)(0,04)(100)(7) \frac{2,13}{43,48} = 1,09 \text{ kN/cm}^2 \quad (129)$$

$$A_{s\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} 100h, \text{ cm}^2/\text{m} \quad (130)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0,19}{100} (100)(10) = 1,9 \text{ kN/cm}^2 \quad (131)$$

Dimensionamento da armadura da laje de tampa na direção y

$$\mu = \frac{1,4(1,9)}{100 (7)^2 2,13} = 0,015 \quad (131)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1} - \sqrt{2}(0,035)}{0,8} = 0,02 \quad (132)$$

$$A_s = (0,8)(0,02)(100)(7) \frac{2,13}{43,48} = 0,55 \text{ kN/cm}^2 \quad (133)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0,19}{100} (100)(10) = 1,9 \text{ kN/cm}^2 \quad (134)$$

Dimensionamento da armadura da Laje de fundo na direção x

$$d = h - \phi - c \quad (135)$$

$$d = 15 - 0,5 - 2,5 = 12 \text{ cm} \quad (136)$$

$$\mu = \frac{1,4(10)100}{100 (12)^2 2,13} = 0,05 \quad (137)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - \sqrt{2}(0,035)}}{0,8} = 0,06 \quad (138)$$

$$A_{s=} (0,8)(0,06)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 2,82 \text{ kN/cm}^2 \quad (139)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0,19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (140)$$

Dimensionamento da armadura da laje de fundo na direção Y

$$d = 15 - 0,5 - 2,5 = 12 \text{ cm} \quad (141)$$

$$\mu = \frac{1,4(3,71)100}{100 (12)^2 2,13} = 0,016 \quad (142)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - \sqrt{2}(0,017)}}{0,8} = 0,02 \quad (143)$$

$$A_{s=} (0,8)(0,02)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 0,94 \text{ kN/cm}^2 \quad (144)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0,19}{100} (100)(105) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (145)$$

Dimensionamento da armadura da parede 1 e parede 2 na direção x

$$d = 15 - 0,5 - 2,5 = 12 \text{ cm} \quad (146)$$

$$\mu = \frac{1,4(1,98)100}{100 (12)^2 2,13} = 0,009 \quad (147)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - \sqrt{2}(0,009)}}{0,8} = 0,01 \quad (148)$$

$$A_s = (0,8)(0,01)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 0,47 \text{ kN/cm}^2 \quad (149)$$

$$A_{s\min} = \frac{0,19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (150)$$

Dimensionamento da armadura da parede 1 e parede 2 na direção y

$$\mu = \frac{1,4(2,04)100}{100 (12)^2 2,13} = 0,009 \quad (151)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - \sqrt{2}(0,009)}}{0,8} = 0,01 \quad (152)$$

$$A_s = (0,8)(0,01)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 0,47 \text{ kN/cm}^2 \quad (153)$$

$$A_{s\min} = \frac{0,19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (154)$$

Dimensionamento da armadura da parede 3 e parede 4 na direção x

$$d = 15 - 0,5 - 2,5 = 12 \text{ cm} \quad (155)$$

$$\mu = \frac{1,4(1,58)100}{100 (12)^2 2,13} = 0,007 \quad (156)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1} - \sqrt{2}(0,007)}{0,8} = 0,01 \quad (157)$$

$$A_{s=} (0,8)(0,01)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 0,47 \text{ kN/cm}^2 \quad (158)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0.19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (159)$$

Dimensionamento da armadura da parede 3 e parede 4 na direção y

$$\mu = \frac{1,4(3,78)100}{100 (12)^2 2,13} = 0,017 \quad (160)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1} - \sqrt{2}(0,017)}{0,8} = 0,03 \quad (161)$$

$$A_{s=} (0,8)(0,03)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 1,41 \text{ kN/cm}^2 \quad (162)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0.19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (163)$$

Dimensionamento da armadura da ligação parede-parede

$$\mu = \frac{1,4(5,13)100}{100 (12)^2 2,13} = 0,023 \quad (164)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1} - \sqrt{2}(0,023)}{0,8} = 0,03 \quad (165)$$

$$A_{s=} (0,8)(0,03)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 1,41 \text{ kN/cm}^2 \quad (166)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0.19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (167)$$

Dimensionamento da armadura da ligação fundo-parede 1 e fundo-parede 2

$$\mu = \frac{1,4(8,7)100}{100(12)^2 2,13} = 0,04 \quad (168)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - \sqrt{2}(0,04)}}{0,8} = 0,05 \quad (169)$$

$$A_{s=} (0,8)(0,05)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 2,35 \text{ kN/cm}^2 \quad (170)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0,19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (171)$$

Dimensionamento da armadura da ligação fundo-parede 3 e fundo-parede 4

$$\mu = \frac{1,4(12,77)100}{100(12)^2 2,13} = 0,058 \quad (172)$$

$$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - \sqrt{2}(0,058)}}{0,8} = 0,08 \quad (173)$$

$$A_{s=} (0,8)(0,04)(100)(12) \frac{2,13}{43,48} = 3,76 \text{ kN/cm}^2 \quad (174)$$

$$A_{s\text{mín}} = \frac{0,19}{100} (100)(15) = 2,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (175)$$

Verificação ao cisalhamento conforme a NBR 6118:2014

A verificação ao cisalhamento foi realizada na laje de fundo, pois foi a laje que apresentou o maior valor para reação de apoio R_{ky} (força cortante). A Tabela 5 mostra os dados de entrada.

Tabela 5 – Parâmetros de entrada para verificação ao cisalhamento

Dados para verificação ao cisalhamento
$R_{kx} = 18,44 \text{ kNm/m}$
$R_{ky} = 27,96 \text{ kNm/m}$
$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
$\rho_1 = 3,02 = \text{cm}^2/\text{m}$
$d = 12 \text{ cm}$

(Fonte: AUTORA, 2022)

Para a verificação ao cisalhamento foram utilizadas as Equações (176 a 185).

$$V_{sd} = 1,4 (R_{ky}) \quad (176)$$

$$V_{sd} = 1,4 (27,96) = 39,14 \text{ kNm/m} \quad (177)$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 f_{ctd} \quad (178)$$

$$f_{ctd} = \frac{0,0525 \sqrt[3]{f_{ck}}}{\gamma_c} \quad (179)$$

$$K = 1,6 - d > 1 \quad (180)$$

$$K = 1,6 - 0,12 \text{ m} = 1,48 \quad (181)$$

$$\rho_1 = \frac{As}{bw(d)} \quad (182)$$

$$\rho_1 = \frac{3,02}{100(0,12)} = 0,0025 \quad (183)$$

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} k(1,2 + 40\rho_1) + 0,15 \sigma_{cp} bwd \quad (184)$$

$$V_{Rd1} = [401(1,48)(1,2 + 40(0,0025)) + 0,15 (0)1(0,12)] = 2,64 \text{ kN} \quad (185)$$

$$V_{sd} < V_{Rd1} \text{ Ok!}$$

Cálculo como vigas-parede

A Tabela 6 apresenta os dados de entrada para o dimensionamento da armadura das paredes por meio do modelo de biela e tirante.

Tabela 6 – Parâmetros de entrada para análise das paredes como vigas-parede

Dados para análise das paredes como vigas-paredes	
Parede 1 e Parede 2	Parede 3 e Parede 4
$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$	$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
$f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$	$f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$
$\rho_{min} = 3,02 = \text{cm}^2/\text{m}$	$\rho_{min} = 3,02 = \text{cm}^2/\text{m}$
$\lambda = 0,64$	$\lambda = 1$
$l = 2,65 \text{ m}$	$l = 4,65 \text{ m}$
Espessura = 12 cm	Espessura = 12 cm
$P_k = 33.27 \text{ kN}$	$P_k = 95.78 \text{ kN}$
Altura (h) = 2,53 m	Altura = 2,53 m
Largura do apoio = 15 cm	Largura do apoio = 15 cm

(Fonte: AUTORA, 2022)

Para o dimensionamento da parede 1 e parede 2 foram utilizadas as Equações (186 a 204).

$$P_k = rx \text{ (laje de tampa)} + PP + rev. + rx \text{ (laje de fundo)} \quad (186)$$

$$P_k = 2,84((25)(0,15)(2,53)) + (1)(2,5) + 18,44 = 33,27 \text{ kNm/m} \quad (187)$$

$$M_K = \frac{P_k (l)^2}{8} \quad (188)$$

$$M_K = \frac{33,16 (2,65)^2}{8} = 29,10 \text{ kNm/m} \quad (189)$$

$$R_K = \frac{P_k (l)^2}{2} \quad (190)$$

$$R_K = \frac{33,27 (2,65)}{2} = 44,08 \text{ kNm/m} \quad (191)$$

$$A_{s=} = \frac{Md}{Zf_{yd}} \quad (192)$$

$$Z = 0,5 h (3 + \frac{l}{h}) \quad (193)$$

$$Z = 0,5 (2,53) (3 + \frac{2,65}{2,53}) = 1,54 \text{ m} \quad (194)$$

$$A_{s=} = \frac{29,20(1,4)}{1,54(43,48)} = 0,61 \text{ cm} \quad (195)$$

$$\lambda = \frac{l}{h} \quad (196)$$

$$l = \frac{2,65}{2,53} = 1,54, \text{ logo } \lambda = 0,64 \quad (197)$$

$$A_{smin} = 0,64 \frac{0,19}{100} (253)(15) = 4,61 \text{ cm}^2 \quad (198)$$

$$R_d = 1,4 (R_k) \quad (199)$$

$$R_d = 1,4 (44,08) = 61,71 \text{ kN} \quad (200)$$

$$\sigma_d = \frac{Rd}{b(c)} \quad (201)$$

$$\sigma_c = \frac{6,71}{15(15)} = 2,7 \text{ MPa} \quad (202)$$

$$f_{cdr} = 0,60(1 - \frac{f_{ck}}{250})f_{cd} \quad (203)$$

$$f_{cdr} = 0,60(1 - \frac{355}{250})(\frac{35}{1,4}) = 12,9 \text{ MPa} \quad (204)$$

$$\sigma_c < f_{cdr} \text{ ok!}$$

Foram utilizadas as Equações (105 a 215) para o dimensionamento da parede 3 e parede 4).

$$P_k = r_y (\text{laje de tampa}) + PP + rev. + r_y (\text{laje de fundo}) \quad (205)$$

$$P_k = 3,74((25)(0,15)(2,53)) + (1)(2,5) + 27,96 \\ = 33,27 \text{ kN/m} \quad (206)$$

$$M_K = \frac{33,16 (4,65)^2}{8} = 111,32 \text{ kNm/m} \quad (207)$$

$$R_K = \frac{41,19(4,65)}{2} = 95,78 \text{ kNm/m} \quad (208)$$

$$Z = 0,5 (2,53) (3 + \frac{4,65}{2,53}) = 1,84 \text{ m} \quad (209)$$

$$A_s = \frac{11,32(1,4)}{1,84(43,48)} = 1,95 \text{ cm} \quad (210)$$

$$l = \frac{4,65}{2,53} = 1,84, \text{ logo } \lambda = 1 \quad (211)$$

$$A_{s,min} = 1 \frac{0,19}{100} (253)(15) = 7,21 \text{ cm}^2 \quad (212)$$

$$R_d = 1,4 (95,78) = 134,09 \text{ kN} \quad (213)$$

$$\sigma_c = \frac{134,09}{15(15)} = 6 \text{ MPa} \quad (214)$$

$$f_{cdr} = 0,60 \left(1 - \frac{355}{250} \right) \left(\frac{35}{1,4} \right) = 12,9 \text{ MPa} \quad (215)$$

$$\sigma_{cd} < f_{cdr} \text{ ok!}$$

Ao preencher corretamente as caixas de entrada de dados do *software*, pode-se chegar aos resultados apresentados na Tabela 7. No comparativo com o cálculo manual, o *software* atende ao que foi proposto, já que o desempenho foi satisfatório na resolução do exemplo proposto, uma vez que as respostas obtidas são adequadas os parâmetros inseridos.

Tabela 7 - Resultados obtidos no software com a inserção dos dados do exemplo

Armadura longitudinal (Cálculo como placas)	Software	Manual
Laje de tampa: Na direção x	$A_s = 1,23 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 1,09 \text{ cm}^2/\text{m}$
Laje de tampa na direção y	$A_s = 0,5 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 0,55 \text{ cm}^2/\text{m}$
Mínima em x e y	$A_{s\text{mín}} = 1,9 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_{s\text{mín}} = 1,9 \text{ cm}^2/\text{m}$
Laje de fundo: Na direção x	$A_s = 2,74 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m}$
Laje de fundo: Na direção y	$A_s = 0,89 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 0,94 \text{ cm}^2/\text{m}$
Mínima em x e y	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$
Parede 1 e 2: Na direção x	$A_s = 0,53 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 0,47 \text{ cm}^2/\text{m}$
Parede 1e 2: Na direção y	$A_s = 0,55 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 0,47 \text{ cm}^2/\text{m}$
Mínima em x e y	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$
Parede 3 e 4: Na direção x	$A_s = 0,43 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 0,47 \text{ cm}^2/\text{m}$
Parede 3 e 4: Na direção x	$A_s = 1,02 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 1,41 \text{ cm}^2/\text{m}$
Mínima em x e y	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$
Ligação parede-parade	$A_s = 1,20 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 1,41 \text{ cm}^2/\text{m}$
Mínima em x e y	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$
Ligação fundo-parade1 e fundo-parade2	$A_s = 2,38 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 2,35 \text{ cm}^2/\text{m}$
Mínima em x e y	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$
Ligação fundo-parade3 e fundo-parade4	$A_s = 3,53 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_s = 3,76 \text{ cm}^2/\text{m}$
Mínima em x e y	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$	$A_{s\text{mín}} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m}$

Verificação ao cisalhamento da laje de fundo	$V_{sd} = 39,14 \text{ kN}$ $V_{rd1} = 92,64 \text{ kN}$ $V_{sd} < V_{rd1} \text{ Ok!}$	$V_{sd} = 39,14 \text{ kN}$ $V_{rd1} = 92,69 \text{ kN}$ $V_{sd} < V_{rd1} \text{ Ok!}$
Armadura do tirante (Viga-parede)	Software	Manual
Parede 1 e 2	$A_s = 0,61 \text{ cm}^2$	$A_s = 0,61 \text{ cm}^2$
Mínima	$A_{s\text{mín}} = 4,61 \text{ cm}^2$	$A_{s\text{mín}} = 4,61 \text{ cm}^2$
Verificação da biela para a parede 1 e parede 2	$\sigma_d = 2,7 \text{ MPa}$ $f_{cdr} = 12,9 \text{ MPa}$ $\sigma_d < f_{cdr} \text{ ok!}$	$\sigma_d = 2,7 \text{ MPa}$ $f_{cdr} = 12,9 \text{ MPa}$ $\sigma_d < f_{cdr} \text{ ok!}$
Parede 3 e 4:	$A_s = 1,95 \text{ cm}^2$	$A_s = 1,95 \text{ cm}$
Mínima	$A_{s\text{mín}} = 4,61 \text{ cm}^2$	$A_{s\text{mín}} = 7,21 \text{ cm}^2$
Verificação da biela para a parede 3 e parede 2	$\sigma_d = 6 \text{ MPa}$ $f_{cdr} = 12,9 \text{ MPa}$ $\sigma_d < f_{cdr} \text{ ok!}$	$\sigma_d = 6 \text{ MPa}$ $f_{cdr} = 12,9 \text{ MPa}$ $\sigma_d < f_{cdr} \text{ ok!}$

(Fonte: AUTORA, 2022)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento estrutural de reservatório em concreto armado é extenso e quando realizado manualmente com auxílio de calculadora, torna-se demorado, porém com o uso de programas específicos, o processo de cálculo se torna rápido e mais preciso, podendo assim, auxiliar no desenvolvimento de projetos estruturais.

Diante disto, o principal objetivo deste trabalho foi desenvolver, por meio da linguagem de programação Python e sua biblioteca Tkinter, um *software* denominado ReservaCalc que possui um conjunto de funções que são capazes de dimensionar as armaduras de um reservatório elevado de concreto armado bem como ajudar estudantes de Engenharia Civil nos estudos acerca deste tipo de estrutura.

Na resolução do exemplo proposto, o *software* mostrou um desempenho satisfatório, uma vez que as respostas obtidas são adequadas aos parâmetros inseridos.

Por fim, o ReservaCalc foi desenvolvido com o intuito de se tornar uma ferramenta de estudo que pode auxiliar os estudantes de Engenharia Civil, visto que os usuários poderão utilizá-lo para calcular, revisar, comparar respostas e estudar os assuntos que foram abordados nesta monografia.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. v. 4, 4. ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2014.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. v. 2, 4. ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:2019 - **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014 – **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655:2015 – **Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BORGES, L. E. **Python para desenvolvedores**: aborda Python 3.3. Novatec Editora, 2014.
- CARVALHO, R.C; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014**. 4 ed. São Carlos: EDUFSCar, 2015. 415 pág.
- COLAÇO, Talita Resmin. **Análise do Dimensionamento Estrutural de Reservatórios Retangulares em Concreto Armado**. 2017. 135 pág. Monografia – Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.
- COSTA, Jean Alves. **Controlador de Acesso Para ambientes Com Gerenciamento Remoto**. 2019. 75 pág. Monografia – Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná.
- CUNHA, A. J. P.; SOUZA, V.C.M. **Lajes em concreto armado e protendido**. Niterói, RJ, 1994.
- FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo, SP, 1995.
- KUEHN, A. **Comparação entre métodos de análise estrutural para reservatório retangulares de concreto armado**. 2002. 201pág. Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- LEONHARDT, F.; MÖNNING, E. **Construções de concreto**. V.2. Inter ciência, Rio de Janeiro, 1979.
- MELO, W. **Introdução ao Universo da Programação com Python: um livro aberto para aprender programação**. 2020.
- SCHLAICH, J.; CHAFER, K.; JENNEWEIN, M. **Toward a Consistent Design of Structural Concrete**. *PCI Journal*, v.32, n.3, 1987
- SANTOS, D.M. **Projeto estrutural por bielas e tirantes**. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2021. 128 pág.
- LUTZ, M.; ASCHER, D. **Aprendendo Python**. 2. ed. Bookman, 2007.

RAMOS, J. M. G. **Análise e Dimensionamento de Reservatórios Semienterrados Circulares de Betão Armado Pré-Esforçado**. 2010. 193 pág. Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP.

ANEXO A – TABLAS PARA ENCONTRAR OS COEFICIENTES

l_x/l_y	w_c	m_x	m_y	m_{xy}	r_x	r_y	β_x	β_y
0,50	10,13	100	36,7	52,8	269	366	1	0,73
0,55	9,38	93,4	38,8	51,8	268	353	1	0,72
0,60	8,65	86,9	40,7	50,6	267	340	1	0,70
0,65	7,94	80,5	42,3	49,4	266	326	0,97	0,69
0,70	7,26	74,3	43,5	47,9	265	315	0,91	0,68
0,75	6,62	68,3	44,2	46,3	263	303	0,85	0,68
0,80	6,03	62,7	44,6	44,6	261	291	0,81	0,67
0,85	5,48	57,6	44,9	42,8	259	281	0,78	0,68
0,90	4,98	52,8	45	41	256	270	0,75	0,69
0,95	4,51	48,3	44,7	39,1	253	260	0,72	0,70
1	4,06	44,2	44,2	37,1	250	250	0,71	0,71

l_y/l_x	w_c	m_x	m_y	m_{xy}	r_x	r_y	β_x	β_y
1	4,06	44,2	44,2	37,1	250	250	0,71	0,71
0,95	4,51	44,7	48,3	39,1	260	253	0,70	0,72
0,90	4,98	45	52,8	41	270	256	0,69	0,75
0,85	5,48	44,9	57,6	42,8	281	259	0,68	0,78
0,80	6,03	44,6	62,7	44,6	291	261	0,67	0,81
0,75	6,62	44,2	68,3	46,3	303	263	0,68	0,85
0,70	7,26	43,5	74,3	47,9	315	265	0,68	0,91
0,65	7,94	42,3	80,5	49,4	326	266	0,69	0,97
0,60	8,65	40,7	86,9	50,6	340	267	0,70	1
0,55	9,38	38,8	93,4	51,8	353	268	0,72	1
0,50	10,13	36,7	100	52,8	366	269	0,73	1

Laje retangular simplesmente apoiada no contorno com carga distribuída (Fonte: ADAPTADO DE ARAÚJO, 2014)

l_x/l_y	w_c	m_{xe}	m_{ye}	m_x	m_y	r_x	r_y
0,50	2,51	-82,6	-56	40,9	11,8	241	380
0,55	2,45	-80,6	-56,1	39,6	13,2	242	367
0,60	2,35	-78,4	-56,2	38,2	14,9	244	353
0,65	2,22	-75,9	-56,5	36,5	16,5	247	339
0,70	2,09	-73,1	-56,8	34,5	17,8	249	326
0,75	1,97	-69,8	-56,4	32,3	18,8	250	313
0,80	1,84	-66,1	-55,8	30	19,7	251	299
0,85	1,70	-62	-55	27,7	20,5	251	286
0,90	1,56	-58	-54	25,5	21,1	251	275
0,95	1,42	-54,3	-52,7	23,3	21,3	251	262
1,00	1,27	-51,1	-51,1	21,1	21,1	250	250

l_y/l_x	w_c	m_{xe}	m_{y2}	m_x	m_y	r_x	r_y
1,00	1,27	-51,1	-51,1	21,1	21,1	250	250
0,95	1,42	-52,7	-54,3	21,3	23,3	262	251
0,90	1,56	-54	-58	21,1	25,5	275	251
0,85	1,70	-55	-62	20,5	27,7	286	251
0,80	1,84	-55,8	-66,1	19,7	30	299	251
0,75	1,97	-56,4	-69,8	18,8	32,3	313	250
0,70	2,09	-56,8	-73,1	17,8	34,5	326	249
0,65	2,22	-56,5	-75,9	16,5	36,5	339	247
0,60	2,35	-56,2	-78,4	14,9	38,2	353	244
0,55	2,45	-56,1	-80,6	13,2	39,6	367	242
0,50	2,51	-56	-82,6	11,8	40,9	380	241

Laje retangular engastada em todo contorno com carga uniformemente distribuída (Fonte: ADAPTADO DE ARAÚJO, 2014)

l_x/l_y	m_{xe}	m_{ye}	m_x	m_y
1,00	-28,3	-34,5	12,2	10,6
0,95	-30,1	-35,5	13,3	10,6
0,90	-31,9	-36,5	14,3	10,5
0,85	-33,6	-37,6	15,3	10,4
0,80	-35,2	-38,7	16,2	10,1
0,75	-36,6	-39,9	17,2	9,5
0,70	-37,8	-41	18	8,7
0,65	-38,9	-42,1	18,8	8
0,60	-39,8	-43,1	19,5	7,2
0,55	-40,6	-44,1	20,1	6,4
0,50	-41,3	-45,1	20,6	5,8

l_y/l_x	m_{xe}	m_{ye}	m_x	m_y
0,50	-36,2	-62,1	9,4	26
0,55	-36,0	-60,3	10,3	24,6
0,60	-35,6	-57,8	11,1	23,1
0,65	-35,2	-54,8	11,9	21,4
0,70	-34,6	-51,6	12,5	19,7
0,75	-33,8	-48,2	12,8	18
0,80	-32,9	-45	13	16,3
0,85	-31,9	-42,2	13	14,8
0,90	-30,7	-39,5	12,9	13,3
0,95	-29,5	-37	12,6	11,9
100	-28,3	-34,5	12,2	10,6

Laje retangular apoiada em um lado e empastada nos demais com carga triangular (Fonte: ADAPTADO DE ARAÚJO, 2014).

l_x/l_y	w_c	m_{xe}	m_{ye}	m_x	m_y	r_{xe}	r_x	r_y
0,50	2,54	-83,6	-56,3	41,5	11	254	100	412
0,55	2,49	-82,6	-56,4	40,6	12,1	254	100	405
0,60	2,42	-81,3	-56,6	39,7	13,6	255	100	394
0,65	2,33	-79,6	-56,9	38,5	14,9	257	100	384
0,70	2,24	-77,4	-57,2	37	16,1	259	100	375
0,75	2,15	-74,8	-57,1	35,4	17,4	260	100	365
0,80	2,05	-72	-56,8	33,8	18,6	261	101	356
0,85	1,94	-69,1	-56,4	32	19,6	262	101	347
0,90	1,83	-66	-56	30	20,5	263	102	337
0,95	1,70	-62,8	-55,6	28,1	21,1	264	103	326
1	1,57	-59,6	-55,1	26,1	21,3	265	105	315

l_y/l_x	w_c	m_{xe}	m_{ye}	m_x	m_y	m_{xe}	r_x	r_y
0,50	1,57	-59,6	-55,1	26,1	21,3	265	105	315
0,55	1,80	-62,6	-59,9	26,9	23,9	278	114	320
0,60	2,04	-65,5	-65,2	27,5	26,8	293	122	325
0,65	2,30	-68,2	-71	28	30	308	131	330
0,70	2,57	-70,6	-77,3	28,2	33,4	324	140	334
0,75	2,86	-72,7	-83,9	27,9	37	342	152	337
0,80	3,17	-74,3	-90,7	27,2	40,8	361	164	340
0,85	3,50	-75,5	-97,8	25,9	44,6	380	178	342
0,90	3,84	-76,5	-104,6	24,3	48,3	397	192	343
0,95	4,17	-77,4	-110,1	22,5	51,7	414	206	344
1,00	4,50	-78,2	-114	20,5	55	434	221	345

Laje retangular apoiada em um lado e engastada nos demais com carga uniformemente distribuída (Fonte: ADAPTADO DE ARAÚJO, 2014)

ANEXO B – TABELAS PARA ENCONTRAR OS COEFICIENTES

l_x/l_y	γ^1_x	γ^1_y	γ^2_x	γ^2_y
0,50	0,300	0,153	0,063	-0,011
0,60	0,244	0,162	0,090	-0,003
0,70	0,194	0,165	0,113	0,013
0,80	0,151	0,165	0,131	0,034
0,90	0,114	0,161	0,145	0,058
1,00	0,084	0,155	0,155	0,084
1,10	0,060	0,146	0,161	0,111
1,20	0,042	0,137	0,164	0,138
1,30	0,027	0,126	0,166	0,163
1,40	0,016	0,116	0,166	0,188
1,50	0,007	0,106	0,165	0,210
1,60	0,001	0,096	0,163	0,231
1,70	-0,004	0,087	0,161	0,251
1,80	-0,007	0,078	0,158	0,268
1,90	-0,009	0,070	0,156	0,285
2,00	-0,011	0,063	0,153	0,300

(Fonte: ADAPTADO DE ARAÚJO, 2014)