



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Engenharia
Engenharia Civil - FAEN

Pedro Edson Santos de
Queiroz

Análise Comparativa dos Métodos Construtivos Paredes de Concreto e
Alvenaria Convencional

Dourados, MS
2022

Pedro Edson Santos de Queiroz

**Análise Comparativa dos Métodos Construtivos
Paredes de Concreto e Alvenaria Convencional**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof^o André Felipe Aparecido de Mello com área de concentração 3.01.00.00-3 – Engenharia Civil.

Dourados, MS
2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO H – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 11:00 horas do dia 01 de novembro de 2022, realizou-se no(a) Laboratório de Videoconferência da FAEN (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado “ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS PAREDES DE CONCRETO E ALVENARIA CONVENCIONAL” de autoria do(a) discente Pedro Edson Santos de Queiroz, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II.

Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

Aprovado

Reprovado

O(A) discente(a) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente(a) para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Atender às orientações da banca.

DISCENTE

Nome: Pedro Edson Santos de Queiroz

Assinatura:

Pedro Edson Santos de Queiroz

BANCA EXAMINADORA

Orientador: André Felipe Aparecido de Mello

Assinatura:

André Felipe Ap. de Mello

Membro: Agleison Ramos Omido

Assinatura:

Agleison Ramos Omido

Membro: Leonardo da Rosa Walz

Assinatura:

Leonardo da Rosa Walz

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS PAREDES DE CONCRETO E ALVENARIA CONVENCIONAL

Pedro Edson Santos de Queiroz¹; André Felipe Aparecido de Mello²
pedro.edson5@gmail.com¹; andremello@ufgd.edu.br²;

RESUMO

A alvenaria convencional é o sistema construtivo mais utilizado no Brasil, porém, já existem diversos outros sistemas que estão disponíveis e por vezes tem maior eficiência construtiva e financeira, e que por isso se tornam alternativas frente ao convencional. No intuito de trazer esse método de paredes de concreto para região de Dourados/MS não encontrada criando uma alternativa para investimento e acesso a moradia. O objetivo desse trabalho foi realizar uma análise comparativa entre o sistema convencional e o de paredes de concreto, utilizando como parâmetro uma residência de 36 m² e orçamento pelo SINAPI. Para a comparação orçamentaria foi levantado um dimensionamento estrutural para ambos os métodos e tendo como referência orçamentária a SINAPI e para as estruturas seguem em concordância com a NBR 6118:2014 e as paredes de concreto a NBR 16055:2012. O estudo comprovou que possui vantagens e desvantagens para o método construtivo de paredes de concreto, trazendo um desempenho de redução de custos em R\$ 13.108,58 sobre a alvenaria convencional.

Palavras-chave: alvenaria convencional; métodos construtivos; parede de concreto.

ABSTRACT

Conventional masonry is the most used building system in Brazil, however, there are several other systems that are available and sometimes have greater constructive and financial efficiency, and therefore become alternatives to conventional. In order to bring this method of concrete walls to the region of Dourados/MS not found creating an alternative for investment and access to housing. The objective of this work was to perform a comparative analysis between the conventional system and the concrete walls, using as parameter a residence of 36 m² and budget by SINAPI. For the budgetary comparison, a structural design for both methods were carried out using SINAPI as a budgetary reference. The structures are in accordance with NBR 6118:2014 and the concrete walls are in accordance with NBR 16055:2012. The study proved that it has advantages and disadvantages for the concrete walls construction method, bringing a cost reduction performance of R\$ 13,108.58 over conventional masonry.

Keywords: conventional masonry; constructive methods; concrete wall

1. INTRODUÇÃO

A utilização da alvenaria estrutural existe há milhares de anos, datando da época dos egípcios, gregos e romanos. Naquela época, o processo construtivo era empírico, sendo o saber passado de geração em geração. Eram colocadas pedras sobre pedras até atingir o resultado esperado, formando uma parede de grande espessura, o que trazia conforto para as famílias. A alvenaria estrutural só contava com vãos que fossem executados com peças auxiliares (vigas de madeira, por exemplo). O diferencial da mesma é ser construído com elementos de blocos cerâmicos ou pedras intertravadas, que tinham ou não material ligante (MOHAMAD, 2015).

Um dos materiais mais utilizados na construção é o concreto, um material que apresenta grande resistência à compressão e capacidade de suportar e transmitir as cargas que existem na edificação, este material é normalmente utilizado na construção civil, abrangendo edificações residenciais de pequeno porte até projetos de superestruturas (TAGLIALEGNA; MUNIZ, 2017).

O concreto armado surge da combinação cimento, agregados e água, composição conhecida desde antiguidade, e barras de aço, usada como armadura as quais fornecem resistência à tração, enquanto o concreto concede resistência à compressão (SANTOS, 2008).

O setor da construção civil é conhecido por elevadas taxas de desperdícios de materiais, observadas através de um sistema produtivo com pouco planejamento e previsibilidade, onde se gera perda da produtividade, perda de materiais e retrabalho. As construções convencionais geram uma volumosa quantidade de entulho, já que nas instalações dos sistemas hidráulicos e elétricos existe a necessidade da quebra de paredes de vedação (TAGLIALEGNA; MUNIZ, 2017).

Hoje, diversos modelos construtivos estão disponíveis no mercado nacional, indicando um avanço significativo na construção civil brasileira. Além da tradicional alvenaria de blocos cerâmicos, existem também paredes de gesso acartonado (introduzidas no Brasil na década de 1970 com uma evolução significativa nos anos 2000) e paredes de concreto (introduzidas na década de 1970). As paredes de concreto estão se tornando mais populares na construção civil devido à sua velocidade de execução e resistência mecânica (AMORIM JUNIOR; RODRIGUES, 2017).

Para garantir o sucesso dos projetos, é necessário um planejamento adequado nas áreas técnicas, financeira e administrativa, bem como o cumprimento de prazos aceitáveis para a conclusão do projeto. Portanto, em relação às obras ou construções públicas elas merecem um cuidado especial, já que sofrem influência orçamentária com base no que os órgãos e entidades estão dispostas a pagar pela realização estando atento aos prazos. Segundo o artigo 7 da Lei Nº 8.666 primeiramente deve ser apresentando o projeto básico em relação aos serviços de engenharia e conseqüentemente o projeto executivo com cada detalhe que será planejado e executado (BRASIL, 1993)

Existem muitas formas de trabalhar no grande mercado da engenharia civil, pensando e buscando novos métodos, as paredes de concreto são um sistema alternativo e inovador que traz produtividade devido ao seu processo industrializado e metódico. Além disso este método não se encontra na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, que o torna como uma possibilidade para investimento e acesso a moradia, assim esta pesquisa se justifica.

Esta pesquisa tem como objetivo analisar e comparar os custos e métodos construtivos distintos, alvenaria convencional e paredes de concreto, para construção de residências de pequeno porte utilizando como referência orçamentária o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices – SINAPI de agosto de 2022 (CAIXA ECONOMICA FEDERAL, 2022) colaborando com a construção civil pertencente a cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul como uma escolha construtiva.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Alvenaria convencional

De acordo com Amorim Junior e Rodrigues (2017) alvenaria convencional, também conhecida como bloco cerâmico, é o sistema construtivo mais utilizado no Brasil e possui construtores adeptos que não o trocam por nenhum outro sistema construtivo. A alvenaria tradicional é usada como vedação não possuindo encargo estrutural dando espaço para reformas ou retirada da parede descartando a necessidade de recalcular a estrutura, visto que a responsabilidade estrutural é do concreto armado, apresentada na Figura 1.

De acordo com Thomaz (2009), alvenarias de vedação ou alvenaria convencional são aquelas designadas a seccionar espaços, completando os vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outras estruturas. Elas suportam seu peso próprio e cargas de utilização, como armários, rede de dormir etc. e apresentam adequada resistência às

cargas laterais estáticas e dinâmicas, decorrente da atividade do vento, impactos secundários e outras.

Segundo Bruno, et al. (2019) as principais vantagens da alvenaria convencional são:

- Diversidade dos modelos arquitetônicos da construção, dando mais autonomia para a criação de projetos e facilitando a realização de reformas e alterações futuras.
- Ser um método construtivo com a simplicidade de construção, solidez e estabilidade, durabilidade e facilidade de manutenção, proteção contra ações do meio externo, como intempéries ou animais.

Segundo Salgado (2009) as principais desvantagens são:

- Excessivo nível de desperdício.
- Retrabalho.
- Falta de padronização dos elementos de alvenaria.

Figura 1 – Construção de residência em alvenaria convencional



Fonte: Autor (2022)

2.2. Paredes de concreto

Segundo a NBR 16055 (ABNT, 2012), “a parede de concreto é um elemento estrutural autoportante, moldado no local com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede”, apresentada na Figura 2.

De acordo com Misurelli e Massuda (2009), este sistema construtivo representa a vedação e a estrutura num único elemento, ao qual se embutem as instalações elétricas, hidráulicas e demais aberturas, como elementos de fixação de esquadrias.

Não há a necessidade de chapisco, emboço e reboco para as paredes de concreto, apenas são realizadas correções em imperfeições pequenas e nas emendas dos painéis com uma espessura fina chama de “estruque” (OLIVEIRA; COSTA, 2011).

As formas de alumínio possuem as características de serem resistentes e de durabilidade, contendo uma longevidade de uso maior que as formas comuns como as de madeira e compensado, assim podendo ser reutilizadas por milhares de vezes (SARMENTO, 2018).

Segundo os autores Misurelli e Massuda (2009), Souza e Fernandes (2015) as principais vantagens são:

- Simplificação de produção;
- Agilidade nas obras;
- Economia;
- Não precisa de mão-de-obra especializada;
- Entregas dentro do prazo

Segundo Filho, Muniz e Taglialegna (2018) as desvantagens são:

- O custo para formas;
- As equipes operantes devem passar por treinamento;

Figura 2 – Casas construídas com paredes de concreto



Fonte: Neo Formas (2022)

2.3. Radier

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), “o radier é um elemento de fundação rasa dotado de rigidez para receber e distribuir mais do que 70 % das cargas da estrutura.”

O radier é caracterizado como uma laje em concreto armado apoiada sobre solo onde possui a função de distribuir a carga completa recebida da edificação conforme sua área, apresentada na Figura 3. (FORMIGONI, 2009).

Quando se trata de um solo com baixa resistência, bem como baixas cargas e alternativa para não ser usada uma fundação profunda. O uso do radier já ocorria há 300 a.C., na qual era dada como inovador pelos romanos que empregavam o radier como plataformas de concreto devido a Roma possuir uma predominância de solos arenosos (FORMIGONI, 2009).

Segundo Misurelli e Massuda (2009), para fundação do tipo radier, é executado um lastro mínimo de 3 cm de brita e em seguida uma lona para concretar de forma convencional, com auxílio do caminhão betoneira. A cura do concreto é obtida dentro do prazo mínimo de sete dias.

Em concordância com Silva Júnior (2021), o radier é comumente usado para as construções de cunho social, como as plataformas governamentais: Programa de Arrendamento Residencial (PAR), Companhia de Habitação Popular (COHAB) e o Minha Casa, Minha Vida (MCMV); que trazem eficiência, praticidade, rapidez e, como resultado, economia.

Figura 3 – Radier

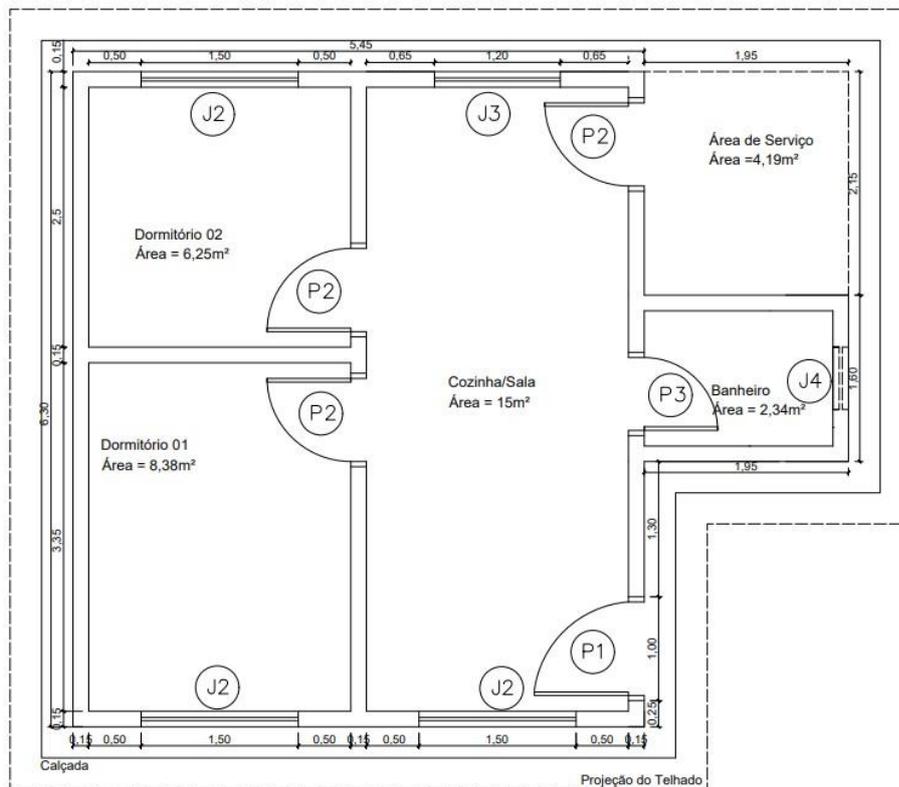


Fonte: APL Engenharia (2022)

3. METODOLOGIA

O caso analisado, representado na Figura 4, apresenta uma construção de uma residência composta por dois quartos, um banheiro, uma sala de estar conjugada com cozinha e área de serviço, que no total dispõe de 36 m² de área construída. Efetuou-se o dimensionamento e a análise orçamentária com dois modelos, a alvenaria convencional (modelo A) e as paredes de concreto (modelo B) com o objetivo de distinguir qual método é vantajoso economicamente.

Figura 4 – Planta baixa da residência



Fonte: Autor (2022)

Dentro dos custos para o modelo A se incluem: assentamento de blocos cerâmicos com dimensões de 9x19x19 cm, além dos insumos para realização do reboco com 2 cm de espessura, a armadura necessária para vigas e pilares e seu radier. Para o modelo B, deve levar em consideração as formas, o concreto, armadura em tela das paredes, a armadura de reforço da estrutura e seu radier. Em ambas as circunstâncias analisadas as lajes foram adicionadas apenas para a obtenção dos carregamentos atuantes na estrutura e não participam da análise orçamentária.

Utilizando a tabela de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices – SINAPI de agosto de 2022 (CAIXA ECONOMICA FEDERAL, 2022) do estado do

Mato Grosso do Sul, foram desenvolvidos os levantamentos de custos, com base nas composições e insumos necessários à execução da obra que é o objeto de estudo deste trabalho.

3.1. Modelo A

Foi realizado o pré-dimensionamento dos pilares a partir do processo de áreas de influência, no qual se constatou que estes apresentaram baixo carregamento. Após isso os pilares foram dimensionados de acordo com a NBR 6118:2014, que trata de projeto de estruturas de concreto, respeitando a área mínima de concreto em 360 cm^2 , a resistência do concreto com 25 MPa e a utilização de barras de aço CA-50 com bitola mínima de 10 mm.

Utilizando com parâmetro o trabalho de SILVA JÚNIOR (2016) onde o mesmo desenvolveu um software para o dimensionamento e detalhamento de lajes maciças retangulares de concreto armado, foram introduzidas lajes forro com espessura de 8 cm em toda a residência, considerando carga variável de $0,5 \text{ kN/m}^2$ para forros sem acesso a pessoas, carga permanente com 1 kN/m^2 (NBR 6120, 2019) e seu peso próprio com 2 kN/m^2 . Isso foi feito com o propósito de distribuir os carregamentos das lajes nas vigas, e posteriormente, as cargas solicitantes nos pilares.

Com as cargas adquiridas das lajes foram distribuídas nas vigas e com o uso do FTOOL (2017), foram obtidos os diagramas de força cortante e momentos fletores das vigas, as quais foram dimensionadas com uso de seus momentos máximos. Posteriormente, as solicitações dos pilares obtidas no programa também foram utilizadas para dimensionamento.

Para as vigas foram adotadas a largura de 14 cm para compatibilizar com os pilares, e suas alturas foram determinadas através dos vãos. Para vigas bi apoiadas a razão de $L/10$ e para vigas contínuas $L/12$ seguindo a recomendação de PINHEIRO (2007), posteriormente adotou uma única medida de 28 cm com propósito de simplificar o processo construtivo.

Através do software GEO5® (2022), foi elaborado um radier com 12 cm de espessura, resistência do concreto adotado com 30 MPa em conformidade com NBR 6118:2014, com sobrecarga de 2 kN/m^2 de acordo com a NBR 6120:2019 que está sobre solo genérico e também não considerou os arranques no radier. Com as cargas dos pilares dispostas no radier foram gerados os gráficos de dimensionamento, assim determinando a área

necessária de aço para momentos positivos via software e verificada com a tabela de flexão simples em seção retangular elaborada por PINHEIRO (2007).

3.2. Modelo B

Para as paredes de concreto se utilizou o peso próprio de 25 kN/m^3 , a resistência de concreto de 25 MPa , espessura mínima adotada de 10 cm de acordo com a NBR 16055:2012, e também as cargas das lajes, obtidas no processo do modelo A. A partir disso foram dimensionadas as paredes de concreto com base na maior solicitação de carga, para as armaduras de reforços das janelas e portas utilizou a maior abertura apresentada por elas, adotando seu dimensionamento para as demais.

Os carregamentos foram distribuídos no radier, disposto com 12 cm de espessura, resistência do concreto adotado em 30 MPa em conformidade com NBR 6118:2014 e com sobrecarga de 2 kN/m^2 de acordo com a NBR 6120:2019 para área de serviço e também sem considerar os arranques no radier, logo obtidos os gráficos via software das áreas de aço para as armaduras positivas e verificadas com a tabela de flexão simples em seção retangular elaborada por PINHEIRO (2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Modelo A

Considerando que o dimensionamento do pilar P5, apresentado no apêndice A, que apresenta a maior solicitação, resultou em armadura mínima, todos os demais pilares também assumem essa mesma taxa de armadura, com a configuração de $4\text{Ø}10\text{mm}$ para sua seção de $14 \times 26 \text{ cm}$. É importante destacar que foi utilizado diâmetro mínimo de 10 mm para barras longitudinais, de acordo com o permitido pela NBR 6118:2014.

Para a armadura transversal, foram adotados estribos de 5 mm (CA-60), com espaçamento de 12 cm , seguindo a recomendação da norma brasileira.

A Tabela 1 apresenta a relação dos pilares com suas dimensões e cargas solicitantes, juntamente com sua área de aço mínima dimensionada e sua armadura longitudinal e transversal adotadas.

Tabela 1 – Dimensionamento dos Pilares

Pilares	Dimensões (cm)	Cargas (kN)	Área de Aço (cm ²)	Armadura longitudinal	Armadura Transversal
P1	14x26	11,25	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P2	14x26	36,34	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P3	14x26	11,58	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P4	14x26	37,03	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P5	14x26	79,48	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P6	14x26	23,00	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P7	14x26	3,5	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P8	14x26	10,44	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P9	14x26	3,5	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P10	14x26	9,3	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P11	14x26	30,11	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm
P12	14x26	11,25	1,456	4 Ø 10mm	1 Ø 5 mm c/ 12cm

Fonte: Autor (2022)

Para a viga V4 onde seu dimensionamento está apresentado no apêndice A, a armadura principal adotada foi de 3 Ø 8 mm, juntamente com a armadura construtiva de 2 Ø 8 mm para fixar os estribos. Para as demais vigas, exceto a V3, foram adotadas a armadura mínima com 2 Ø 8 mm. Para as armaduras transversais se adotou 20 cm, respeitando o mínimo para passagem do vibrador e o máximo dados pela normativa, que é de 20 cm.

A Tabela 2 apresenta a relação das vigas e suas dimensões adotadas, bem como seus momentos máximos solicitantes, a área de aço dimensionada e suas armaduras longitudinais e transversais adotadas.

Tabela 2 – Dimensionamento das vigas

Vigas	Dimensões (cm)	Momentos (kN.m)	Cortante (kN)	Área de Aço (cm ²)	Armadura Longitudinal	Armaduras Transversais
V1	14x28	1,7	5,7	0,63	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V2	14x28	3,9	8,4	0,63	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V3	14x28	9,03	14	1,01	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V4	14x28	12,33	27,1	1,15	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V5	14x28	-3,34	8,4	0,63	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V6	14x28	1,38	2,8	0,63	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V7	14x28	1,38	2,8	0,63	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V8	14x28	1	2,8	0,63	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm
V9	14x28	1,98	6,6	0,63	2 Ø 8mm	1 Ø 5 mm c/ 20cm

Fonte: Autor (2022)

4.2. Modelo B

Os cálculos de dimensionamento para a parede de concreto usaram a maior solicitação de carga, dada pela PR2 que é apresentada no apêndice B, com o uso da armadura mínima determinada pela norma NBR 16055:2012, se utiliza a maior taxa de armadura, no caso a seção horizontal com $1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$, adotando a tela Q-159.

O dimensionamento das paredes de concreto começa no cálculo para armadura mínima, pois não existe esforço de tração. Utilizando os dados de 0,09% e 0,15% para vertical e horizontal, respectivamente.

Em seguida parte para a verificação da resistência de cálculo sob normal de compressão com o uso de 1% de armadura que como consequência minora os valores obtidos de acordo com a norma 16055:2012. Com $n_{d, \text{resist}}$ encontrado adota-se o mínimo partindo para a verificação da resistência à compressão que deve ser comparada com a resistência solicitada da parede. Posteriormente deve ser verificada a resistência de cisalhamento e a verificação das aberturas.

Concluídas as verificações para a PR2, adotou-se para as demais paredes a mesma taxa de armadura, demonstrada na Tabela 3. As telas soldadas Q-159 são fabricadas com as dimensões de $10 \times 10 \text{ cm}$, semelhante a uma grade, não ultrapassam o espaço máximo permitido pela norma 16055:2012, que estão relacionadas a espessura da parede dada por $2t$ (espessura da parede) ou 20 cm . Para padronizar as armaduras de reforços, armaduras horizontais e verticais, foi utilizado um espaçamento de 10 cm entre elas, respeitando-se o espaçamento permitido de $2t = 20 \text{ cm}$.

A Tabela 3 apresentam as paredes, suas dimensões, as cargas solicitantes por metro, sua carga própria, a tela adotada e seu espaçamento adotado.

Tabela 3 – Dimensionamento das paredes

Paredes	Dimensões (m)	Cargas (kN/m)	Cargas (kN)	Tela Adotada	Espaçamento
PR1	6,3	12,2	76,86	Q-159	10x10 cm
PR2	6,3	18,4	115,92	Q-159	10x10 cm
PR3	6,3	15,56	98,03	Q-159	10x10 cm
PR4	1,6	12,7	20,32	Q-159	10x10 cm
PR5	5,45	12,2	66,49	Q-159	10x10 cm
PR6	2,8	17,1	47,88	Q-159	10x10 cm
PR7	5,45	12,61	68,72	Q-159	10x10 cm
PR8	2,1	11,76	24,70	Q-159	10x10 cm
PR9	2,1	11,76	24,70	Q-159	10x10 cm

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 4 apresentam as aberturas da residência com suas dimensões e o aço adotada para região horizontal e vertical, e seu espaçamento adotado.

Tabela 4 – Armadura de reforço das aberturas

Abertura	Dimensões (m)	Aço adotado Horizontal	Aço adotado Vertical	Espaçamento
J2	1,5x1,00	3 Ø 12,5mm	4 Ø 12,5mm	10 cm
J3	1,2x1,00	3 Ø 12,5mm	4 Ø 12,5mm	10 cm
J4	0,60x0,60	2 Ø 12,5mm	4 Ø 12,5mm	10 cm
P1	0,9x2,10	2 Ø 12,5mm	3 Ø 12,5mm	10 cm
P2	0,8x2,10	2 Ø 12,5mm	3 Ø 12,5mm	10 cm
P3	0,7x2,10	2 Ø 12,5mm	3 Ø 12,5mm	10 cm

Fonte: Autor (2022)

4.3. Radier

Para o dimensionamento do radier foi empregado o software GEO5® (2022), que analisa radier e lajes através do Método dos Elementos Finitos.

Foi elaborado um radier com 12 cm de espessura que está apoiada sobre o solo com as cargas solicitantes da supra estrutura em conjunto com o peso próprio do radier e a carga permanente de utilização de 2kN/m², sendo considerado o caso mais crítico de área de serviço, de acordo com a NBR 6120 (2019). Para o modelo A, foram adicionadas as cargas dos pilares sobre o radier, juntamente com as cargas de paredes em alvenaria, as cargas de alvenaria seguem os valores de 13 kN/m³ para blocos cerâmicos vazados e para o reboco levou em consideração a carga de 19 kN/m³ encontradas na NBR 6120 (2019).

Para as cargas do modelo B, as paredes levam em consideração a carga de 25 kN/m³, ou seja, com suas dimensões de 0,10 m x 3 m, suas cargas são de 7,5 kN/m, sendo posteriormente majoradas por coeficiente para carga permanente encontrada na NBR 6118:2014 que são os coeficientes de ponderação das resistências no estado limite último (ELU) e também com a carga da laje sendo somadas a estrutura de paredes de concreto, posteriormente distribuída sobre o radier.

O programa gera os momentos solicitantes da estrutura, considerando a combinação em Estados Limite Último (ELU). Com isso, se obtém os momentos máximos e o dimensionamento das armaduras, tanto em relação a posição horizontal e vertical dada pelo programa como momento em x e momento em y que são apresentadas nos apêndices A e B para seus respectivos sistemas.

Utilizando os dados recolhidos do GEO5® (2022), realizou-se uma verificação manual com base na tabela de flexão simples em seção retangular elaborada por PINHEIRO (2007). Com isso, foi dimensionado uma armadura positiva única com o uso de aço CA-60 para toda área do radier, desconsiderando os arranques e a área de punção dos pilares para o modelo A.

4.4. Comparação orçamentária

A Tabela 5 apresentada dispõe do código do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices – SINAPI de agosto de 2022 (CAIXA ECONOMICA FEDERAL, 2022) para referência, a descrição do serviço não desonerado, a unidade de medida que o serviço é executado, o custo do serviço, a quantidade necessária para cada item, o custo parcial e o custo total da composição.

Tabela 5 – Orçamento e composições para o Modelo A

Código SINAPI	Descrição do serviço (Não desonerado)	Um.	Custo do Serviço	Quantidade	Preço Total
103328	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 9X19X19 CM (ESPESSURA 9 CM) E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_12/2021	M ²	R\$ 83,46	83,82	R\$ 6.995,62
98561	IMPERMEABILIZAÇÃO DE PAREDES COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA, COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, E = 2CM. AF_06/2018	M ²	R\$ 38,88	27,86	R\$ 1.083,20
87530	MASSA ÚNICA, PARA RECEBIMENTO DE PINTURA, EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8, PREPARO MANUAL, APLICADA MANUALMENTE EM FACES INTERNAS DE PAREDES, ESPESSURA DE 20MM, COM EXECUÇÃO DE TALISCAS. AF_06/2014	M ²	R\$ 37,23	159,63	R\$ 5.943,02
92761	(VIGAS) ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM – MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R\$ 14,24	64,43	R\$ 917,48
33	AÇO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	R\$ 10,51	64,43	R\$ 677,16

Tabela 5 – Continuação

43061	AÇO CA-60, 4,2 MM OU 5,0 MM, DOBRADO E CORTADO	KG	R\$ 9,82	29,6	R\$ 290,67
103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA – LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M³	R\$ 689,50	1,56	R\$ 1.075,62
92448	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM PONTALETE DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÃO. AF_09/2020	M²	R\$ 150,75	28,49	R\$ 4.294,87
92762	(PILARES) ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM – MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R\$ 12,91	88,85	R\$ 1.147,05
103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA – LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M³	R\$ 673,07	1,31	R\$ 881,72
43061	AÇO CA-60, 4,2 MM OU 5,0 MM, DOBRADO E CORTADO	KG	R\$ 9,82	22,64	R\$ 222,32
34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	R\$ 9,90	88,85	R\$ 879,62
92413	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÃO. AF_09/2020	M²	R\$ 116,62	27,9	R\$ 3.253,70

Tabela 5 – Continuação

103074	EXECUÇÃO DE PISO DE CONCRETO, SEM ACABAMENTO SUPERFICIAL, ESPESSURA DE 15 CM, FCK = 30 MPA, COM USO DE FORMAS EM MADEIRA SERRADA. AF_09/2021	M ²	-	-	-
96624	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRA BRITADA N.2), APLICADO EM PISOS OU LAJES SOBRE SOLO, ESPESSURA DE *10 CM*. AF_08/2017	M ³	R\$ 12,71	4,66	R\$ 59,23
97083	COMPACTAÇÃO MECÂNICA DE SOLO PARA EXECUÇÃO DE RADIÉR, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, COM COMPACTADOR DE SOLOS A PERCUSSÃO. AF_09/2021	M ²	R\$ 2,76	46,62	R\$ 128,67
97086	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA PARA RADIÉR, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_09/2021	M ²	R\$ 11,36	3,29	R\$ 37,37
97087	CAMADA SEPARADORA PARA EXECUÇÃO DE RADIÉR, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM LONA PLÁSTICA. AF_09/2021	M ²	R\$ 1,71	46,62	R\$ 79,72
97092	ARMAÇÃO PARA EXECUÇÃO DE RADIÉR, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, COM USO DE TELA Q-196. AF_09/2021	KG	R\$ 55,45	144,99	R\$ 8.039,70
97096	CONCRETAGEM DE RADIÉR, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, FCK 30 MPA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_09/2021	M ³	R\$ 97,41	5,6	R\$ 545,50
	CUSTO TOTAL				R\$ 36.552,24

Fonte – Autor (2022)

A Tabela 6 apresentada dispõe o código do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices – SINAPI de agosto de 2022 (CAIXA ECONOMICA FEDERAL, 2022) para referência, a descrição do serviço não desonerado, a unidade de medida que o serviço é executado, o custo do serviço, a quantidade necessária para cada item, o custo parcial e o custo total da composição, com exceção para as formas de alumínio manuseáveis que

foram obtidas por meio da SINAPI referente ao mês de agosto de 2020 devido à ausência de referência na SINAPI usada por este trabalho.

Tabela 6 – Orçamento e composições para Modelo B

Código SINAPI	Descrição do serviço (Não desonerado)	Un.	Custo do Serviço	Quantidade	Preço Total
100064	ARMAÇÃO DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO, EXECUTADA COMO ARMADURA POSITIVA DE LAJES, TELA Q-159. AF_06/2019	KG	R\$ 13,49	374,42	R\$ 5.050,93
99432	CONCRETAGEM DE PAREDES EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÔRMAS MANUSEÁVEIS, COM CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL FCK 25 MPA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO (EXCLUSIVE BOMBA LANÇA). AF_10/2021	M³	R\$ 685,30	8,69	R\$ 5.955,26
100068	ARMAÇÃO DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO, EXECUTADA COMO REFORÇO, VERGALHÃO DE 12,5 MM DE DIÂMETRO. AF_06/2019	KG	R\$ 10,73	139,34	R\$ 1.495,12
39964 (adaptado SINAPI 08/2020)	SISTEMA DE FORMAS MANUSEÁVEIS DE ALUMÍNIO, PARA EDIF. RESID. UNIFAMILIAR COM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO, UNIDADE HABITACIONAL TERREA COM 3 8 M2, COM SALA, CIRCULAÇÃO, 2 QUARTOS, BANHEIRO, COZINHA E TANQUE EXTERNO (SEM COBERTURA) (COLETADO CAIXA)	M²	R\$ 12,59	163	R\$ 2.052,17
103074	EXECUÇÃO DE PISO DE CONCRETO, SEM ACABAMENTO SUPERFICIAL, ESPESSURA DE 15 CM, FCK = 30 MPA, COM USO DE FORMAS EM MADEIRA SERRADA. AF_09/2021	M²	-	-	-

Tabela 6 – Continuação

96624	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRA BRITADA N.2), APLICADO EM PISOS OU LAJES SOBRE SOLO, ESPESSURA DE *10 CM*. AF_08/2017	M ³	R\$ 12,71	4,66	R\$ 59,23
97083	COMPACTAÇÃO MECÂNICA DE SOLO PARA EXECUÇÃO DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, COM COMPACTADOR DE SOLOS A PERCUSSÃO. AF_09/2021	M ²	R\$ 2,76	46,62	R\$ 128,67
97086	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA PARA RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_09/2021	M ²	R\$ 11,36	3,29	R\$ 37,37
97087	CAMADA SEPARADORA PARA EXECUÇÃO DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM LONA PLÁSTICA. AF_09/2021	M ²	R\$ 1,71	46,62	R\$ 79,72
97092	ARMAÇÃO PARA EXECUÇÃO DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, COM USO DE TELA Q-196. AF_09/2021	KG	R\$ 55,45	144,99	R\$ 8.039,70
97096	CONCRETAGEM DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, FCK 30 MPA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_09/2021	M ³	R\$ 97,41	5,6	R\$ 545,50
	CUSTO TOTAL				R\$ 23.443,66

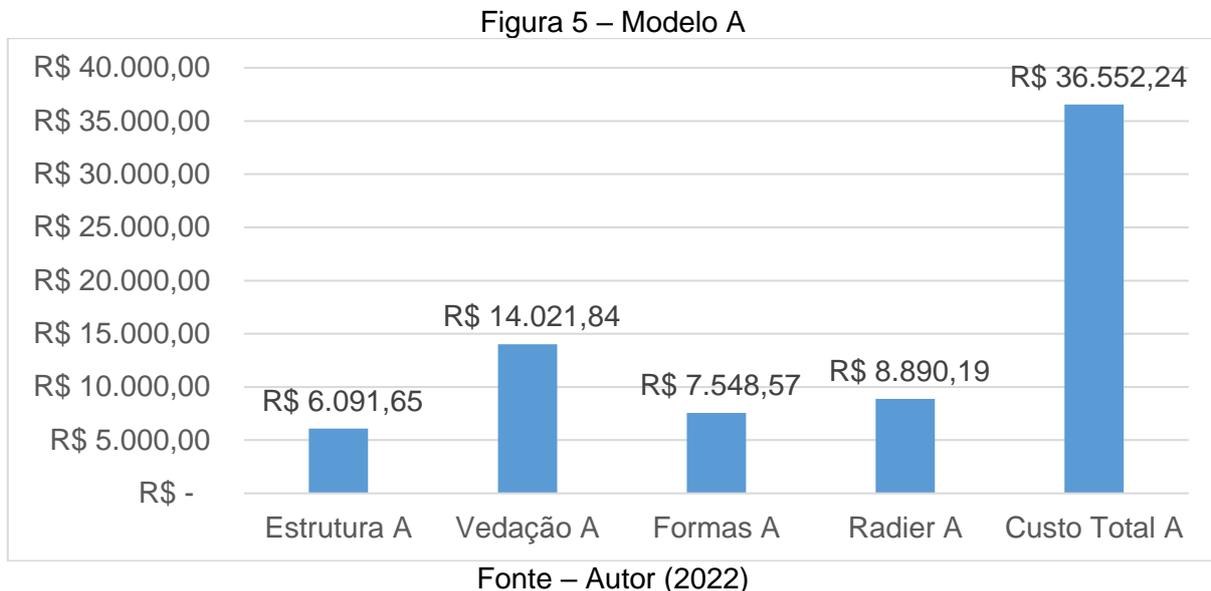
Fonte – Autor (2022)

Com os dados das Tabelas 5 e 6, presentes nos apêndices A e B, respectivamente e apresentando uma comparação entre modelo A e modelo B, que para ambos os modelos se analisa apenas a vedação, no caso ambas as superfícies são entregues regularizadas, expostos na Figura 5 e Figura 6 com seus valores de composição somadas.

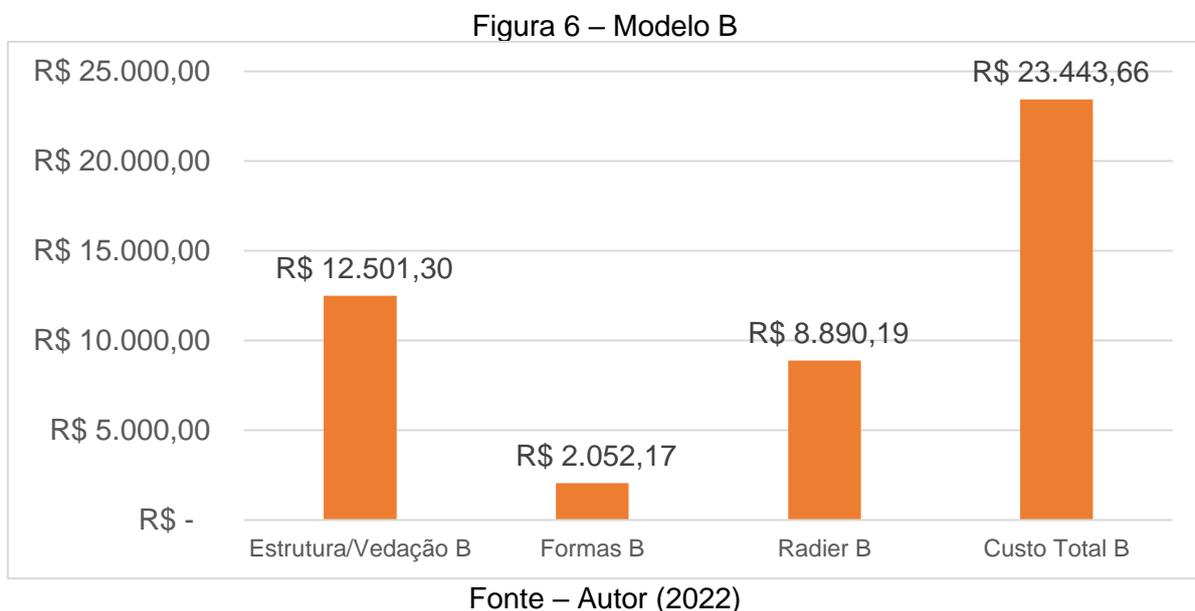
Analisando os custos de forma parcial, percebe-se que o modelo A tem um custo maior em relação ao modelo B, como demonstra a Figura 5 e Figura 6, a diferença é dada por R\$ 1.520,54. Destaca-se que o modelo B é a estrutura finalizada, ou seja, fornece a

vedação e está apto a receber os esforços solicitantes, diferente do modelo A que tem apenas a função de vedação e necessita da estrutura armada.

A Figura 5 apresentam os custos de composição para estrutura, vedação, formas, radier e custo total para o modelo A.



A Figura 6 apresentam os custos de estrutura que também se trata da vedação, formas, radier e custo total para o modelo B.



O modelo A composto por sua estrutura e vedação e o modelo B por sua estrutura, ambas sem formas, que dispõe na Figura 5 e Figura 6 com o somatório de suas composições.

Expondo os custos de forma parcial na Figura 5 e Figura 6, observa-se que o modelo A em comparação com o modelo B, tem o valor de R\$ 7.612,19 a mais em custo.

Destacando o modelo B que possui função estrutural e de vedação, diferente do modelo A que exige estruturas armadas, pilares e vigas presentes no comparativo, por isso valores tão divergentes.

Com as informações orçamentárias dispostas nas tabelas 5 e 6 indicada nos apêndices A e B, comparando os modelos construtivos A e B com todas as suas composições presentes na Figura 5 e Figura 6. Observa-se que o radier A possui o mesmo montante em relação ao radier B.

Comparando toda a supra estrutura do modelo B em relação ao modelo A, mesmo por possuir a necessidade de formas manuseáveis que são de alumínio, percebe-se uma diferença de R\$ 5.496,40 superior para as formas do modelo A em relação ao modelo B.

Conforme as Figura 5 e Figura 6, os valores totais entre os modelos possuem a diferença de R\$ 13.108,58 menor para o sistema construtivo em paredes de concreto, modelo B, em analogia ao sistema construtivo em alvenaria convencional.

5. CONCLUSÃO

A alvenaria tradicional traz vantagens de ser um método com solidez estrutural e de simples construção, porém seu processo demonstra desperdício de materiais e retrabalho, em contrapartida as paredes de concreto possuem diversas vantagens para construção civil, como a agilidade na obra e simplificação da construção expondo economia e cumprimento de prazos, mesmo com a desvantagem do uso de formas e treinamento técnico de seus colaboradores.

As análises e comparações orçamentárias confirmam que o custo parcial para o modelo B são vantajosos em relação ao modelo A, possuindo valores menores em todos os quesitos de supra estrutura.

O estudo demonstra que os valores para a vedação do modelo A é superior ao modelo B, onde o modelo B se destaca por possuir uma estrutura pronta, diferente do modelo A que ainda precisa do acréscimo de sua estrutura armada, com isso gerando uma diferença de R\$ 7.612,19 a mais em custo.

O modelo B traz a desvantagem do uso de formas de alumínio, porém a pesquisa demonstrou que os valores para as formas de madeiras apresentadas pelo modelo A são superiores ao modelo B.

A análise comparativa prova que o modelo B aponta um custo de R\$ 13.108,58 menor em comparação com o método A, tornando o sistema com paredes de concreto vantajosa e uma opção construtiva econômica.

Para trabalhos futuros sugere-se o uso de outra fundação como sapatas ou blocos sobre estacas e até mesmo outros métodos construtivos como light steel frame e residências com o uso de blocos em EPS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APL ENGENHARIA. **Fundação radier: Como funciona e quais são os seus benefícios?**. Montes Claros. Minas Gerais. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/fundacao-radier-como-funciona-e-quais-sao-os-seus-beneficios/#comments>. Acesso 12 de setembro 2022.

AMORIM JUNIOR, J. A. L.; RODRIGUES, R. V. L. **Um estudo comparativo entre as vantagens construtivas das paredes de concreto e alvenaria convencional**. 2017. 48 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Centro Universitário CESMAC, Maceió, Alagoas, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações**. Rio de Janeiro, p. 24. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, p. 108. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

BRASIL. **Lei nº 8.666**, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.gov.br/saude/pt-br/acesso-a-informacao/banco-de-precos/legislacao/lei-no-8-666-de-21-de-junho-de-1993.pdf/view> > Acesso em: 25 set. 2022.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Mato Grosso do Sul. Caixa Econômica Federal, agosto, 2022.

FILHO R. S. R; MUNIZ, L. H. O; TAGLIALEGNA, H. M. **Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional Para Modelagem e Dimensionamento de Paredes de Concreto Moldadas In Loco**. 2018. X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 9 a 11 de maio, 2018.

FORMIGONI, D. D.de P. **Análise comparativa do desempenho de fundação rasa do tipo radier com fundação rasa de sapatas isoladas**. 2009. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia de Produção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

FTOOL. **Two-Dimensional Frame Analysis**. Versão 4.0 básica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio. Departamento de Engenharia Civil e Tecgraf/PUC-Rio – Instituto de Desenvolvimento de Software Técnico-Científico. Luiz Fernando Martha, 2017.

GEO5®. **Analises de lajes de tetos e fundações**. 2022.44 (1.0) (32bit). Licença: versão Demo. Fine Spol. s r.o. 2022. Disponível em: <<https://geo5.com.br/>>. Acesso em: 26 de setembro de 2022.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. **Como construir paredes de concreto**. Revista Técnica, n. 147, p. 74-80, jun. 2009.

MOHAMAD, Gihad; FARIA, Marcio S.; E OUTROS, 2015, **Construção em Alvenaria Estrutural – Materiais, projetos e desempenho**. São Paulo, SP, Blucher.

NEO FORMAS. **Governo publica novas regras para o Minha Casa Minha Vida**. Cuiabá. Mato Grosso. Disponível em: <<https://www.neofomas.com.br/passos-a-passos-paredes-de-concreto-projetos>>. Acesso 18 de set. 2022.

OLIVEIRA, D. L.; COSTA, E. S. **Comparação de custo e viabilidade técnica de obras com parede de concreto em relação a obras de alvenaria e estrutural**. Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”. Guaratinguetá, 2011.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

SALGADO, J. **Técnicas e Práticas Construtivas para Edificação**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2009.

SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil - História da difusão da tecnologia do concreto armado da construção de sua hegemonia**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

SARMENTO, V. T. **Qualidade na Construção Civil. Construção Enxuta: A utilização do método construtivo de paredes de concreto armado moldados in loco com fôrmas de alumínio em unidades habitacionais**. Universidade Federal do Maranhão. São Luís, Maranhão, 2018.

SILVA JÚNIOR, C. **Desenvolvimento de um software para o dimensionamento e detalhamento de lajes maciças retangulares de concreto armado**. São Luís, 2016. 114. f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

SOUZA, A. P. P.; FERNANDES, T. S. **Paredes de concreto: utilização, características, viabilidade e execução**. 2015. 49 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, Minas Gerais, 2015.

TAGLIALEGNA, H. DE M.; MUNIZ, L. H. O. **Sistema construtivo de parede de concreto: análise, modelagem e dimensionamento de estruturas moldadas in loco**. 2017. 48 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Centro Universitário CESMAC, Maceió, Alagoas, 2017.

THOMAZ, E. et al. Código de Práticas N° 01: **Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT, 2009. 65 p.

VENTURINI, W. S; RODRIGUES, R. DE. O. **Dimensionamento de peças retangulares de concreto armado solicitadas à flexão reta**. 1987. 133 p. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estrutura – São Carlos, 1987.

APÊNDICE A

DIMENSIONAMENTO PARA PILARES

SIMBOLOS

Nd (força normal de cálculo)
 γ_n (coeficiente de ajuste de γ_f)
 γ_f (coeficiente de ponderação das ações)
 λ (índice de esbeltez)
 $M_{1d, min}$ (momento fletor de 1ª ordem de cálculo mínimo)
 $e_{1x, min}$ (excentricidade de primeira ordem mínima)
 ν (força normal reduzida adimensional)
 $M_{d, tot}$ (momento fletor de cálculo total)
 M_{sd} (momento fletor solicitante de cálculo)
 r (curvatura na seção crítica)
 l_e (altura equivalente do pilar)
 c (cobrimento)
 d (base)
 h (altura)
 b_w (base da viga)
 M_{cd} (momento de cálculo do concreto)

a) Esforços solicitantes majorados

$$Nd = \gamma_n \cdot \gamma_f \cdot N_k = 79,5 \text{ kN}$$

b) Índice de Esbeltez

$$\lambda_x = \frac{3,46 \cdot l_e}{hx} = \frac{3,46 \cdot 2,90}{0,14} = 71,67$$

$$\lambda_y = \frac{3,46 \cdot l_e}{hy} = \frac{3,46 \cdot 2,90}{0,30} = 38,59$$

c) Momento Fletor Mínimo

$$M_{1d, min, x} = Nd(1,5 + 0,03h) = 79,5 \cdot (1,5 + 0,03 \cdot 14) = 152,64 \text{ kN.cm}$$

$$M_{1d, min, y} = Nd(1,5 + 0,03h) = 79,5 \cdot (1,5 + 0,03 \cdot 30) = 181,26 \text{ kN.cm}$$

d) Excentricidade

e) $e_{1x, min, x} = \frac{M_{1d, min, x}}{Nd}$ (desconsiderada por ser pilar intermediário) omentos de 2ª ordem – Métodos de pilar – padrão com curvatura aproximada

- Força normal adimensional

$$v = \frac{Nd}{Ac.fcd} = \frac{79,5}{364.1,785} = 0,122$$

- Raio de giração para x

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \cdot (v + 0,5)} = \frac{0,005}{14 \cdot (0,122 + 0,5)} = 5,74 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h} = \frac{0,005}{14} = 3,57 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1} \text{ (adotado)}$$

- Raio de giração para y

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \cdot (v + 0,5)} = \frac{0,005}{26 \cdot (0,122 + 0,5)} = 3,09 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h} = \frac{0,005}{26} = 1,92 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1} \text{ (adotado)}$$

$$e2x = \frac{le^2}{10} \times \frac{1}{r} = \frac{290^2}{10} \times 3,57 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1} = 3 \text{ cm}$$

$$e2x = \frac{le^2}{10} \times \frac{1}{r} = \frac{290^2}{10} \times 1,92 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1} = 1,61 \text{ cm}$$

$$Md, \text{ tot}, x = \alpha b * M1d, \text{ min}, y + Nd * e2y = 1 * 152,64 + 79,5 * 3 = 391,14 \text{ kN.cm}$$

$$> 152,64 \text{ kN.cm (OK)}$$

$$d, \text{ tot}, y = \alpha b * M1d, \text{ min}, y + Nd * e2y$$

$$= 1 * 181,26 + 79,5 * 1,61 = 309,25 \text{ kN.cm} > 181,26 \text{ kN.cm (OK)}$$

- f) Cálculo de μ (Fator ábaco de VENTURINI; RODRIGUES, 1987)

$$\mu_x = \frac{Md, \text{totx}}{h_x * A_c * f_{cd}} = \frac{391,14}{14 * 364 * \frac{2,5}{1,4}} = 0,04$$

$$\mu_y = \frac{Md, \text{toty}}{h_x * A_c * f_{cd}} = \frac{309,25}{26 * 364 * \frac{2,5}{1,4}} = 0,018$$

$$d'_x = \frac{4}{14} = 0,28 \text{ (Ábaco A - 5)} \quad \omega = 0,05 \text{ (adotado)}$$

$$d'_y = \frac{4}{26} = 0,15$$

Calculo da área de aço através do valor adotado $\omega = 0,05$

$$A_s = \frac{\omega * A_c * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,05 * 364 * \frac{2,5}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 0,74 \text{ cm}^2$$

Com isso foi adotado a área mínima para pilar segundo a NBR 6118:2014

$$A_{s, \text{mín}} = \frac{0,15 * Nd}{f_{yd}} \geq 0,004 * A_c = 0,004 * 364 = 1,456 \text{ cm}^2$$

DIMENSIONAMENTO PARA VIGAS

a) Determinar a posição da linha neutra (X)

$$Md = 12,33 \text{ kNm} = 1233 \text{ kN.cm}$$

$$d = h - (c + 1) = 30 - (2,5 + 1) = 26,5 \text{ cm}$$

$$Mcd = 0,68 * f_{cd} * X * b_w * (d - 0,4 * X)$$

$$1233 = 0,68 * \frac{2,5}{1,4} * X * 14 * (26,5 - 0,4 * X)$$

$$6,8x^2 - 450,5x + 1233$$

Resolvendo a equação de 2º grau temos,

$$x_1 = 63,26 \text{ cm (desconsiderar)}$$

$$x_2 = 2,86 \text{ cm (ok)}$$

b) Verificação de domínio de cálculo

$$x \leq x_{2,3} = 0,259 * d$$

$$2,86 \leq x_{2,3} = 0,259 * 26,5 = 6,86 \text{ (domínio 2)}$$

c) Verificação da norma $\beta_x = \frac{x}{d} \leq 0,45$

$$\beta_x = \frac{2,86}{26,5} = 0,11 \leq 0,45 \text{ (ok)}$$

d) Cálculo da armadura

$$M_{sd} = \sigma_{sd} * A_s * (d - 0,4 * X)$$

Isolando A_s ,

$$A_s = \frac{M_{sd}}{\sigma_{sd} * (d - 0,4 * X)} = \frac{1233}{\frac{50}{1,15} * (26,5 - 0,4 * 2,86)} = 1,12 \text{ cm}^2 \rightarrow 3\Phi 8\text{mm}$$

$$A_{s, \text{min}} = \rho_{\text{mín}} * b_w * h = \frac{0,15}{100} * 14 * 30 = 0,63 \text{ cm}^2$$

e) Estribos

$$V_{sd} = 26,76 \text{ kN}$$

$$V_{rd2} = 0,27 * \alpha_{v2} * f_{cd} * b_w * d$$

$$\alpha_{v2} = 0,90$$

$$f_{cd} = 17857,14$$

$$V_{rd2} = 0,27 * \alpha_{v2} * f_{cd} * b_w * d = 182,24 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,6 * 1282 * 14 * 30 = 32,30 \text{ kN}$$

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c = 26,76 - 32,30 = -5,53 \text{ kN}$$

$$A_{sw, \text{mín}} = 20 * \frac{f_{ct,m}}{f_{yw,k}} * b_w = 20 * \frac{2,56}{600} = 14 = 1,19 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$\rightarrow 1\Phi 5\text{mm}$ com espaçamento de 20 cm (adotado)

RADIER

Verificação da armadura positiva para Radier

Armadura em função de y:

$$\begin{aligned}
 h &= 12 \text{ cm} \\
 bw &= 100 \text{ cm} \\
 d &= h - c = 12 - 3 = 9 \text{ cm} \\
 My &= 3,5 \text{ kNm} = 350 \text{ kN.cm} \\
 K_c &= \frac{bw * d^2}{Md} = \frac{100 * 9^2}{350} = 23,14 \rightarrow K_s = 0,019 \text{ (tabela)} \\
 A_s &= \frac{K_s * My}{d} = \frac{0,019 * 350}{9} = 1,10 \text{ cm}^2 \\
 S &= \frac{bw}{n} = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$A_{s,mim} = bw * d * 0,0015 = 100 * 12 * 0,0015 = 1,8 \text{ cm}^2$$

→ adotado tela Q – 196 com 1,96 cm² de seção e malha 10x10 cm

Armadura em função de x:

$$\begin{aligned}
 h &= 12 \text{ cm} \\
 bw &= 100 \text{ cm} \\
 d &= h - c = 12 - 3 = 9 \text{ cm} \\
 Mx &= 3,5 \text{ kNm} = 350 \text{ kN.cm} \\
 K_c &= \frac{bw * d^2}{Md} = \frac{100 * 9^2}{350} = 23,14 \rightarrow K_s = 0,019 \text{ (tabela)} \\
 A_s &= \frac{K_s * My}{d} = \frac{0,019 * 350}{9} = 1,10 \text{ cm}^2 \\
 S &= \frac{bw}{n} = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$A_{s,mim} = bw * d * 0,0015 = 100 * 12 * 0,0015 = 1,8 \text{ cm}^2$$

→ adotado tela Q – 196 com 1,96 cm² de seção e malha 10x10 cm

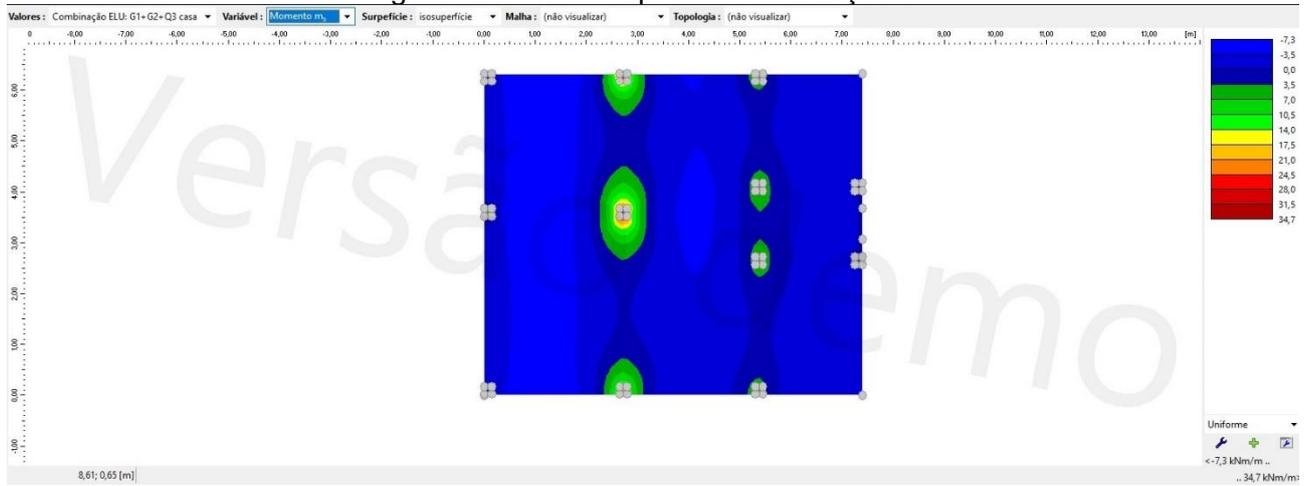
O radier para paredes de concreto foi dimensionado com armadura mínima devido as baixas cargas, ambas direções tem:

$$A_{s,mim} = bw * d * 0,0015 = 100 * 12 * 0,0015 = 1,8 \text{ cm}^2$$

→ adotado tela Q – 196 com 1,96 cm² de seção e malha 10x10 cm

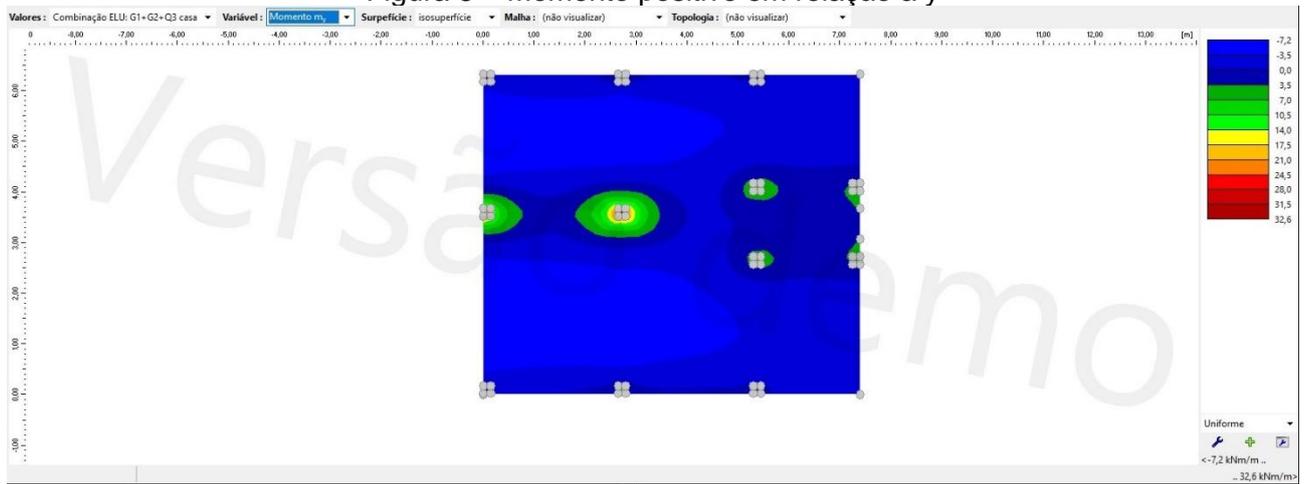
A Figura 7 e Figura 8 representam o radier com os momentos positivos em relação ao eixo x e y, respectivamente, para a estrutura em alvenaria convencional.

Figura 7 – Momento positivo em relação a x



Fonte: GEO5® (2022)

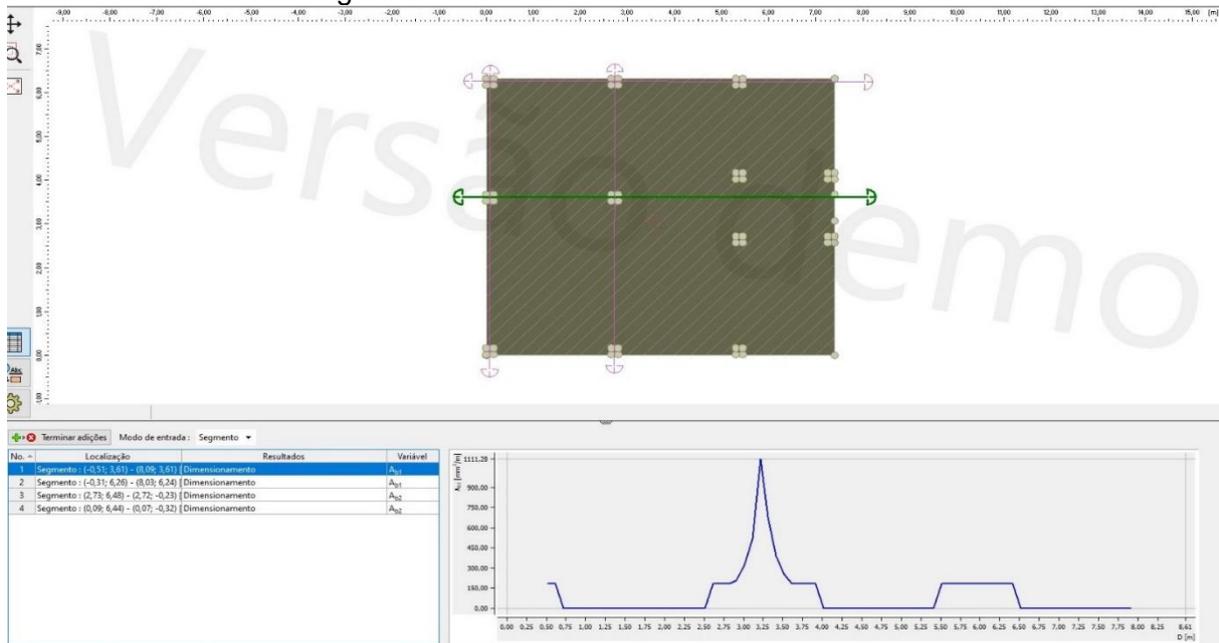
Figura 8 – Momento positivo em relação a y



Fonte: GEO5® (2022)

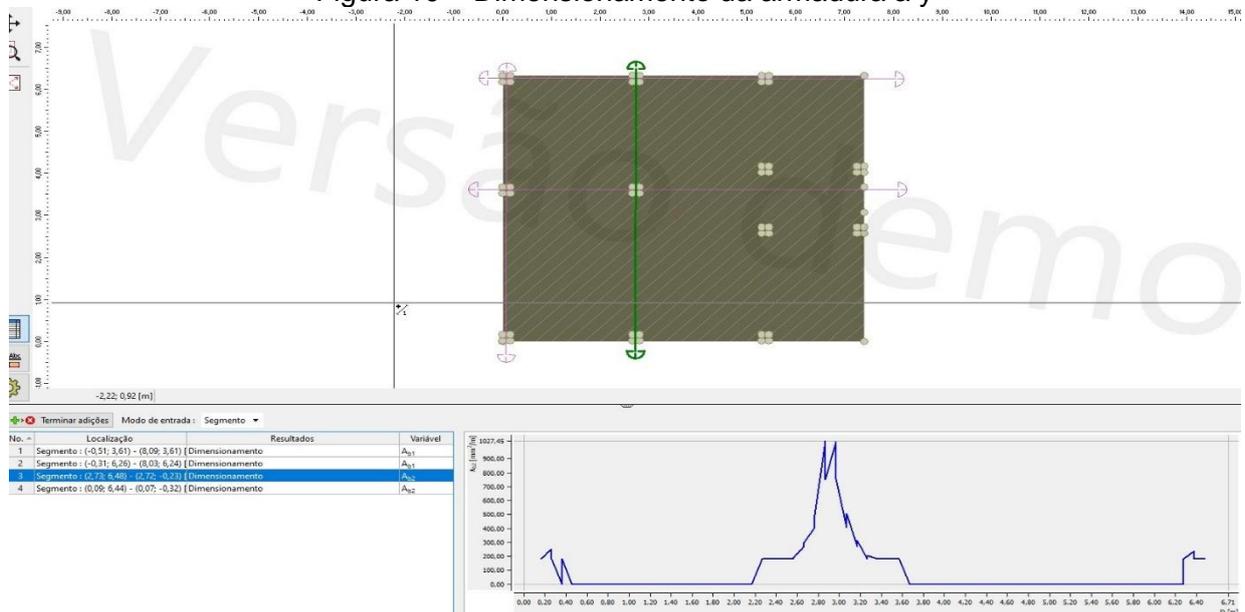
A Figura 9 e Figura 10 representam o radier com o dimensionamento em relação ao eixo x e y, respectivamente, para a estrutura em alvenaria convencional.

Figura 9 – Dimensionamento da armadura a x



Fonte: GEO5® (2022)

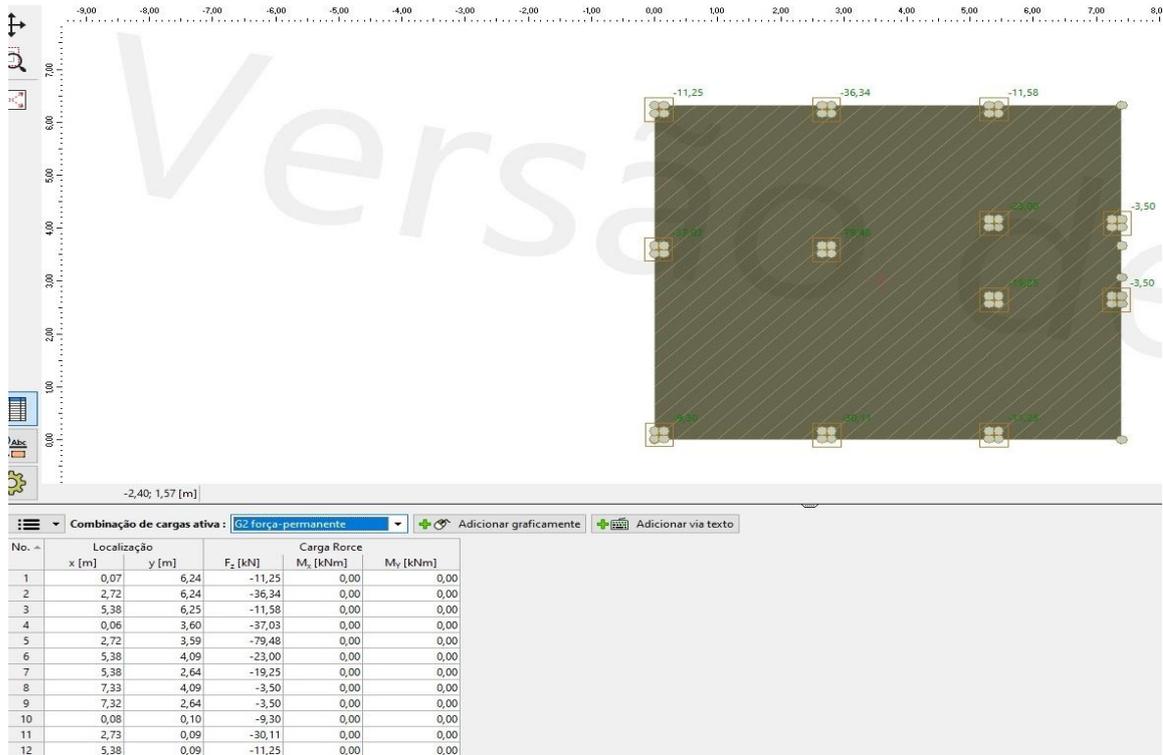
Figura 10 – Dimensionamento da armadura a y



Fonte: GEO5® (2022)

A Figura 11 representa o radier com as cargas dos pilares para a estrutura em alvenaria convencional.

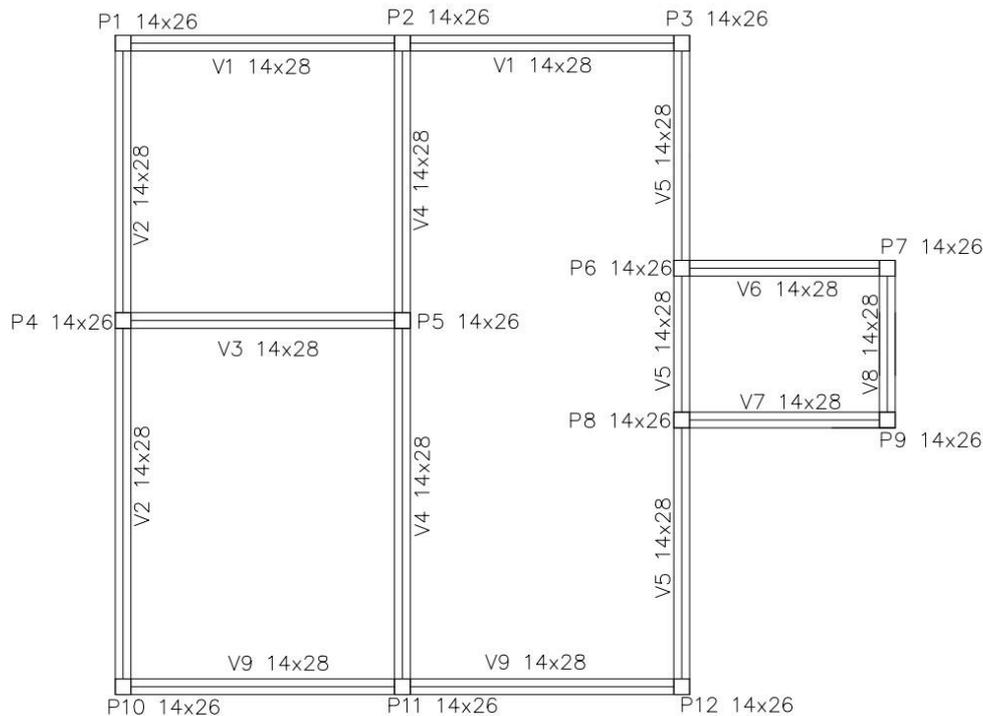
Figura 11 – Cargas dos pilares dispostas no radier



Fonte: GEO5® (2022)

A Figura 12 apresentam os posicionamentos dos pilares e as vigas com suas numerações.

Figura 12 – Apresentam a posição dos pilares e as vigas



Fonte: Autor (2022)

APÊNDICE B

DIMENSIONAMENTO PARA PAREDES DE CONCRETO

SIMBOLOS

A_s , mín (armadura mínima)

A_c (área da seção transversal de concreto da parede)

f_{cd} (resistência de cálculo do concreto à compressão)

f_{ck} (resistência característica do concreto à compressão)

γ_c (coeficiente de minoração do concreto)

$f_{s,cd}$ (consideração da compatibilização da deformação no aço com a do concreto adjacente)

γ_s (coeficiente de minoração do aço)

λ (índice de esbeltez)

l (altura da parede)

b (largura da parede)

l_e (comprimento equivalente da parede)

$n_{d,resist}$ (força normal resistente de cálculo, por unidade de comprimento, admitida pelo plano médio da parede)

$n_{d,max}$ (é o maior valor normal por unidade de comprimento para o carregamento considerado no trecho escolhido)

$n_{d,mín}$ (é o menor valor normal por unidade de comprimento para o carregamento considerado no trecho)

$f_{ct,d}$ (resistência de cálculo à tração do concreto)

f_{vd} (força cortante resistente de cálculo)

d_v (distância de influência)

K_{ab} (coeficiente que indica a parcela de carga que se desvia sob a abertura)

$R_{d,max}$ (maior valor entre R_1 e R_2 majorado por γ_f)

A_{lsh} (armadura horizontal)

A_{lsv} (armadura vertical)

f_{yd} (resistência de cálculo do aço)

a_h (dimensão horizontal da armadura)

V_d (força cortante de cálculo por unidade de comprimento)

ρ (taxa geométrica da armadura vertical da parede, não maior que 1%)

a) Área de concreto por metro linear

$$t = 10 \text{ cm (espessura)}$$

$$A_c = t * 1 = 0,1 * 1 = 0,1 \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = 1000 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

A Norma 16055:2012 recomenda uma área de aço mínima para seção vertical e horizontal dada por:

$$A_s, \text{mín} = 0,0009 * A_c (= 0,0009 * 1000 = 0,9 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}) \text{ (Vertical)}$$

$$A_s, \text{mín} = 0,0015 * A_c = 0,0015 * 1000 = 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \text{ (Horizontal) – desfavorável}$$

Com isso a área de aço desfavorável necessita de 1,5 cm²/m, logo adotada tela nervurada Q-159.

b) Resistência de cálculo sob normal de compressão

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,4 * 1,2} = 14,88 \text{ MPa}$$

$$f_{scd} = \frac{E_s * 0,002}{\gamma_s} = \frac{210000 * 0,002}{1,15} = 365,22 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{l}{b} = \frac{3,00}{6,30} = 0,47$$

$$l_e = \frac{l}{1 + \beta^2} = \frac{3,00}{1 + 0,47^2} = 2,45 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} * l_e}{h} = \frac{\sqrt{12} * 2,45}{0,1} = 84,87 \leq 86 \text{ (ok)}$$

Então,

$$k_1 = \frac{\lambda}{35} = \frac{84,87}{35} = 2,42$$

$$k_2 = 0$$

Taxa de armadura $\rho = 1\%$ (NBR 16055:2012)

$$n_{d, \text{resist}} = \frac{(0,85 * f_{cd} + \rho * f_{scd}) * t}{k_1 [1 + 3 * k_2 * (2 - k_2)]} =$$

$$= \frac{(0,85 * 14,88 + 0,01 * 365,22) * 0,1}{2,42 * [1 + 3 * 0 * (2 - 0)]} = 380,50 \frac{kN}{m}$$

c) Verificação da resistência a compressão

Adota-se o limite mínimo do $n_{d,resist} = 380,50 \frac{kN}{m}$

$$n_{d,resist} \geq \frac{3 * n_{d,max} + n_{d,min}}{4}$$

$$380,50 \geq \frac{3 * 18,4 + 18,4}{4} = 18,4 \frac{kN}{m} \text{ (ok)}$$

d) Verificação da resistência ao cisalhamento

$$f_{ct,d} = 0,21 * \frac{(f_{ck})^{\frac{2}{3}}}{\gamma_c} = 0,21 * \frac{25^{\frac{2}{3}}}{1,4} = 1,28 \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = 0,3 * f_{ct,d} * \left(\frac{1 + 3 * \sigma_{cmd}}{f_{ck}} \right) * \sum t * l$$

$$= 0,3 * 1,28 * \left(\frac{1 + 3 * 14,88}{25} \right) * \sum 0,1 * 6,3 = 673,89 \text{ kN (ok)}$$

$$V_d = 0 \text{ kN} \geq 673,89 \text{ kN (ok)}$$

Logo, dispensada o uso de armaduras de cisalhamento.

e) Dimensionamento das aberturas

Como exemplo de dimensionamento ao redor das aberturas foi escolhida a janela com 1,50x1,00 m que detém a maior dimensão:

$$d_v \geq 0,75 * a_h = 0,75 * 1,5 = 1,125$$

$$K_{ab} = 0,15 * \alpha_{v2}$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{25}{250} = 0,9$$

$$K_{ab} = 0,15 * 0,90 = 0,135$$

$$R_{d,max} \leq 0,135 * 14,88 * 0,1 * 1,5 = 301,32 \text{ kN}$$

f) Armadura para seção horizontal

$$A_{lsh} \geq \frac{R_{d,max}}{2 * f_{yd}} * \frac{d_v}{0,75 * a_h} = \frac{301,32}{2 * 1,15} * \frac{1,125}{0,75 * 1,5} = 3,46 \text{ cm}^2 \rightarrow 3\Phi 12,5 \text{ mm}$$

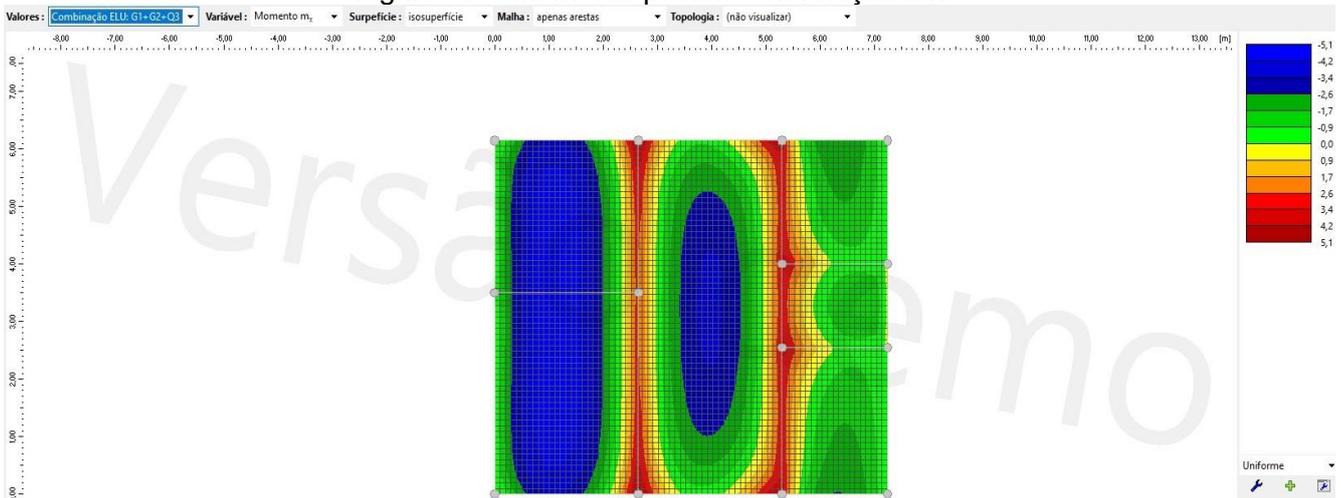
g) Armadura para seção vertical

$$\frac{A_{lsv}}{S} \geq \frac{\frac{2 * R_{d,max}}{a_h} - K_{ab} * f_{cd} * t}{f_{yd}} = \frac{\frac{2 * 301,32}{1,5} - 0,135 * 14,88 * 0,10}{\frac{50}{1,15}} = 4,62 \text{ cm}^2 \rightarrow 4\Phi 12,5 \text{ mm}$$

RADIER PARA PAREDE DE CONCRETO

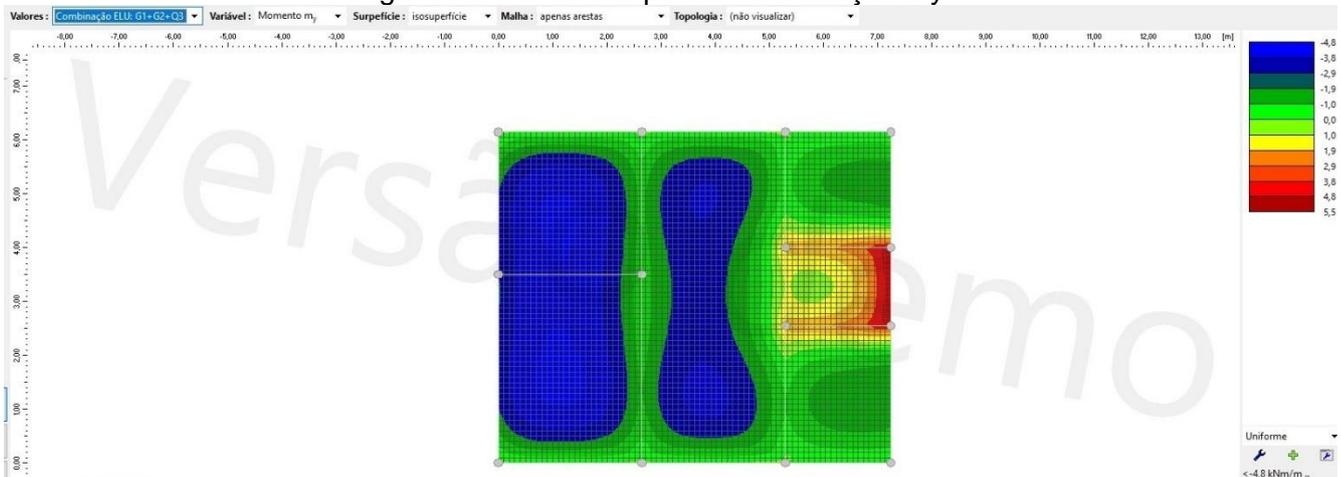
A Figura 13 e Figura 14 representam o radier com os momentos positivos em relação ao eixo x e y, respectivamente, para as paredes de concreto.

Figura 13 – Momento positivo em relação a x



Fonte: GEO5® (2022)

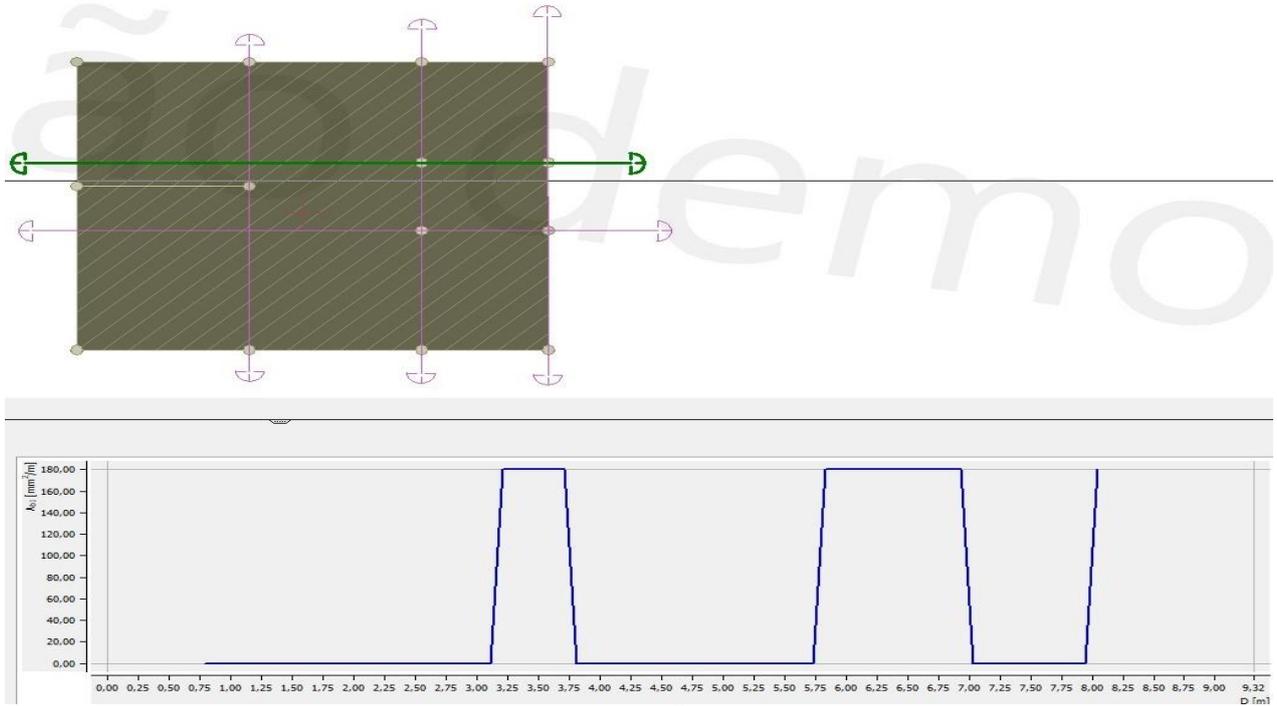
Figura 14 – Momento positivo em relação a y



Fonte: GEO5® (2022)

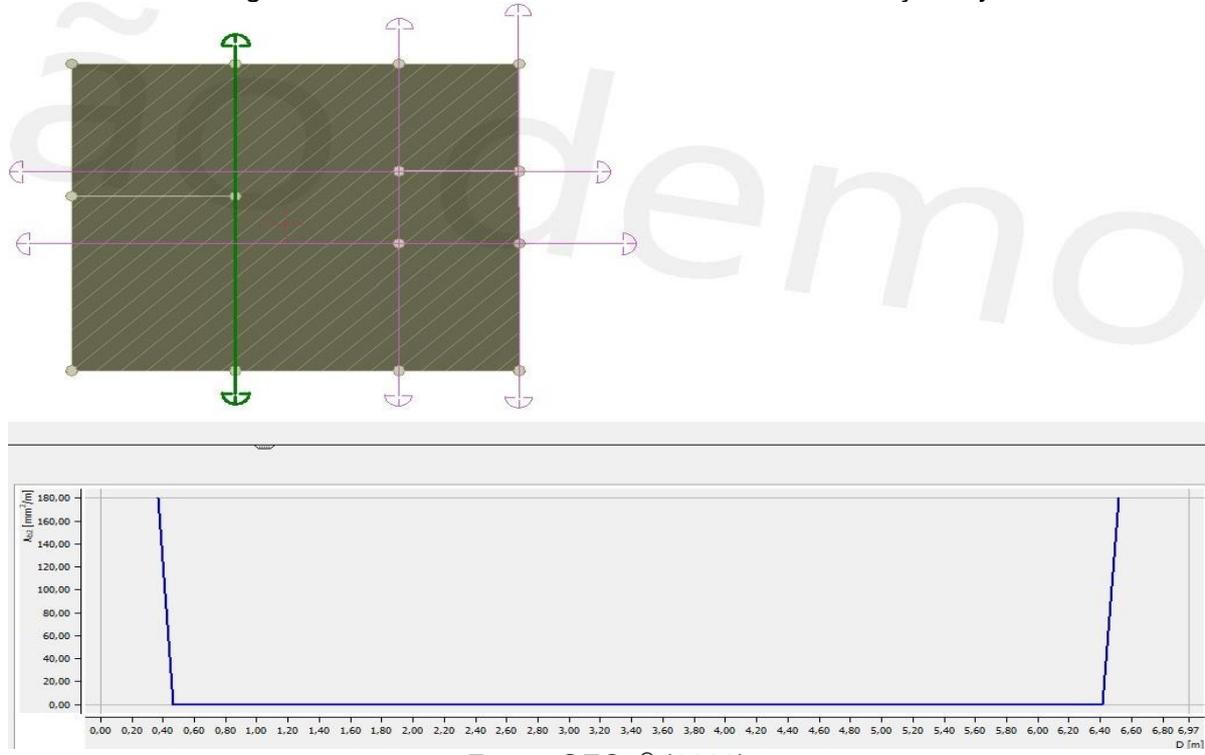
A Figura 15 e Figura 16 representam o radier com o dimensionamento em relação ao eixo x e y, respectivamente, para as paredes de concreto.

Figura 15 – Dimensionamento de armadura em relação a x



Fonte: GEO5® (2022)

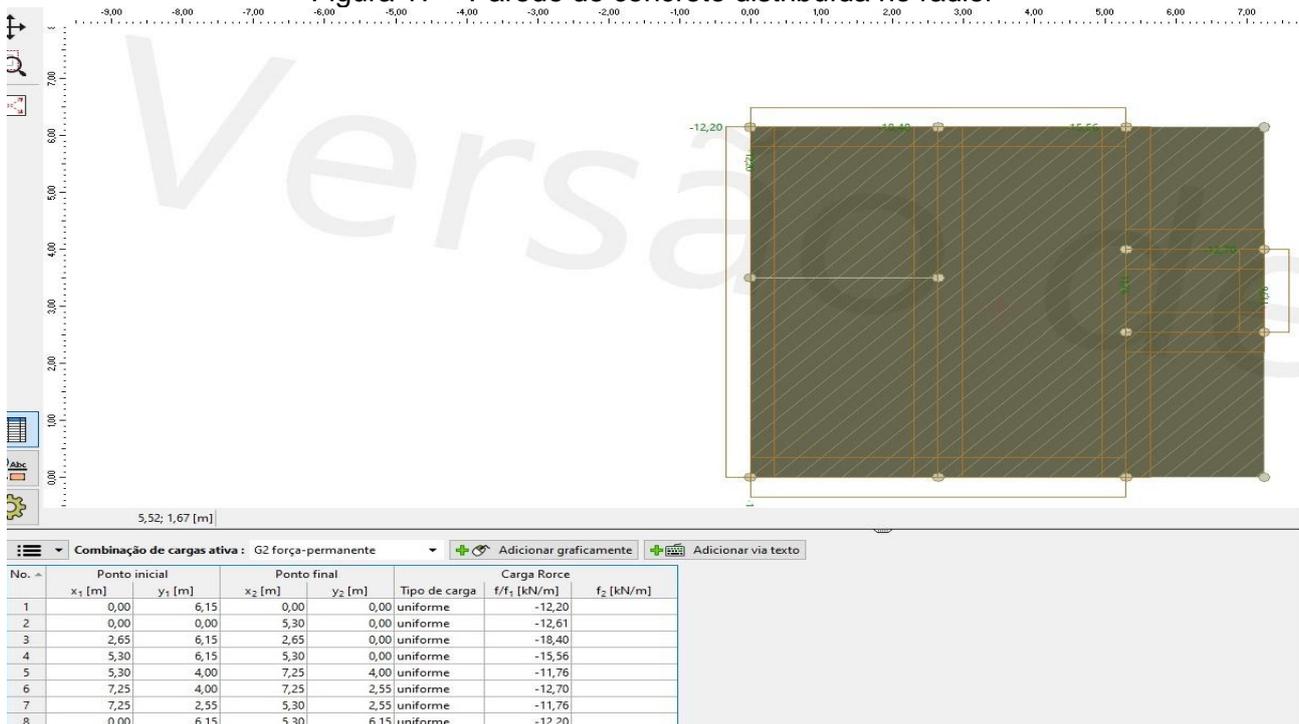
Figura 16 – Dimensionamento de armadura em relação a y



Fonte: GEO5® (2022)

A Figura 17 representam as cargas para as paredes de concreto sobre o radier.

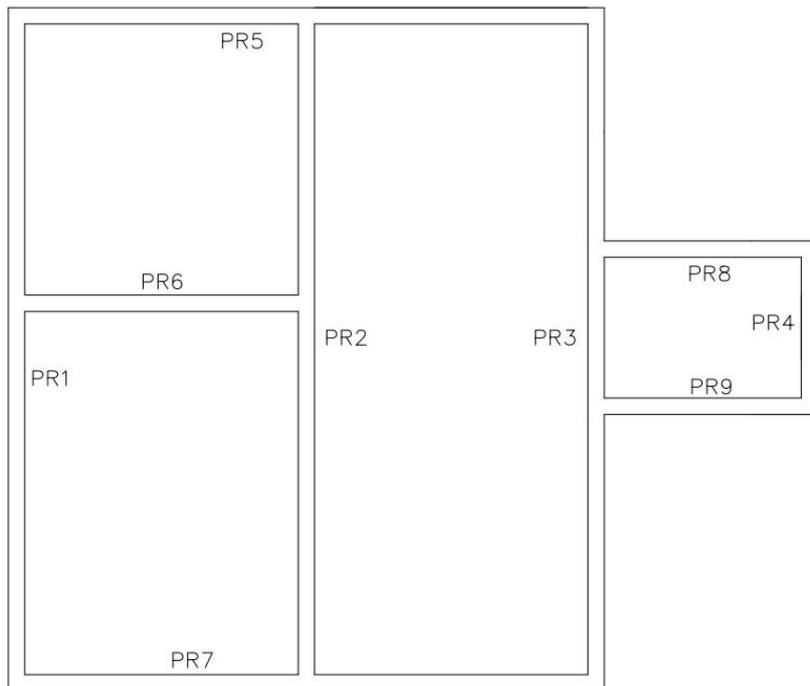
Figura 17 – Parede de concreto distribuída no radier



Fonte: GEO5® (2022)

A Figura 18 apresentam os posicionamentos das paredes de concreto.

Figura 18 – Apresentam a posição das paredes de concreto



Fonte: Autor (2022)