

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO E AÇO

ANÁLISE DE QUANTITATIVOS PARA FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIO EM
ALVENARIA ESTRUTURAL – ESTUDO DE CASO

MATHEUS ALVES MAGALHÃES

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E AÇO

**“ANÁLISE DE QUANTITATIVOS PARA FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIO EM
ALVENARIA ESTRUTURAL – ESTUDO DE CASO”**

MATHEUS ALVES MAGALHÃES

Trabalho Final apresentado ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço".

Comissão Examinadora:

Prof. Roberto Márcio da Silva, D.Sc.
DEES – UFMG (Orientador)

Prof. Ney Amorim Silva, D.Sc.
DEES – UFMG

Belo Horizonte, 19 de Dezembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, sempre presente em meu caminho e em minhas decisões.

À Thaís, pela companhia nos momentos de alegria e compreensão nos momentos de dificuldades.

Ao professor Estêvão Bicalho Pinto Rodrigues e todo pessoal da E.Bicalho Engenharia pela convivência diária.

Ao meu orientador Prof^o Roberto Márcio da Silva, por se dispor a me ajudar nesta reta final de curso.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para meu aprendizado e formação profissional, muito obrigado!

Resumo

O presente trabalho de conclusão do curso de especialização em análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado e aço, consiste na apresentação de um estudo no qual se propõe encontrar a melhor solução técnica/econômica para o projeto de fundação de um edifício em alvenaria estrutural. Os valores dos carregamentos serão expostos ao longo do trabalho bem como os quantitativos encontrados em cada modelo de cálculo proposto. Por fim, com base nos valores encontrados nos processamentos pretende-se definir a melhor opção a ser adotada para o projeto em estudo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVO	9
2.1	Objetivo geral	9
2.2	Objetivos específicos	9
3	REVISÃO DA LITERATURA	10
3.1	Alvenaria Estrutural	10
3.1.1	Aplicações	11
3.2	Edifícios em Alvenaria Estrutural	12
3.3	Programa Minha Casa Minha Vida e a Expansão das Construções em Alvenaria Estrutural	12
3.4	Tipos de Fundação para Edifícios em Alvenaria	14
4	APRESENTAÇÃO DO CASO EM ESTUDO	16
4.1	Motivação Para o Estudo Proposto	16
4.2	Modelos de Cálculo Propostos Para a Fundação	17
4.3	Arquitetura	18
4.4	Cargas na Fundação	19
4.4.1	Carga das lajes	19
4.4.2	Carga das Paredes	20
4.4.3	Cargas Lançadas Diretamente na Fundação	23
4.4.4	Valores de Referência das Estacas	23

5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	24
5.1	Cargas Nos Pontos de Fundação e Diâmetro da Estaca Adotada.....	24
5.2	Quantitativos das Estacas	24
5.3	Quantitativos da Superestrutura de Fundação	24
5.4	Valores Finais de Quantitativos.....	25
6	CONCLUSÃO	28
7	REFERÊNCIAS	29
	APÊNDICE A – PLANTAS DE FORMAS DOS MODELOS PROPOSTOS	31
	APÊNDICE B – CARGA NOS PONTOS DE FUNDAÇÃO E DIÂMETRO DAS ESTACAS	32

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Exemplos de construções em alvenaria estrutural da antiguidade.	11
FIGURA 2: Condomínio Mundi, localizado no bairro Camargos em Belo Horizonte.....	13
FIGURA 3: Relatório de sondagem	17
FIGURA 4: Planta baixa da arquitetura	18
FIGURA 5: Carregamento das lajes do TIPO.....	19
FIGURA 6: Carregamento das lajes do FORRO.	20
FIGURA 7: Mapa de Paredes.....	21

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Cargas lineares a serem lançadas na fundação.	22
TABELA 2: Quantitativos das estacas por modelo proposto.....	24
TABELA 3: Quantitativos das estruturas por modelo proposto	25
TABELA 4: Custo final de escavação das estacas por modelo proposto.....	25
TABELA 5: Custo final de área de formas por modelo proposto	26
TABELA 6: Custo final de volume de concreto por modelo proposto	26
TABELA 7: Custo final de peso de aço por modelo proposto.....	27
TABELA 8: Custo final total de cada modelo proposto	27

1 INTRODUÇÃO

Programas do governo federal como o “Minha Casa Minha Vida” (MCMV) e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) geraram no mercado da construção civil uma demanda por unidades habitacionais que suprissem o déficit habitacional brasileiro.

Diante de um mercado tão exigente e bastante competitivo, o método construtivo em alvenaria estrutural tem demonstrado significativas reduções no custo de materiais e mão-de-obra, além de direcionar soluções racionais para o desperdício e melhoria na utilização de materiais sem interferir na qualidade da edificação (Borges, 2012).

Neste contexto, para se adotar determinada solução técnica, esta deve estar embasada em estudos específicos e comprobatórios, gerando garantias técnicas e econômicas ao empreendimento.

Diante deste cenário, o presente trabalho visa encontrar uma solução de cálculo ideal e otimizada para o projeto de fundação de um determinado edifício concebido em alvenaria estrutural estrutural. Busca também determinar uma relação ótima entre o número de pontos de fundação e a área estruturada da projeção do edifício.

Ao se determinar esta relação ($PF^3/s/Área$), pretende-se também criar uma referência para o pré-lançamento do número de pontos de fundação em edifícios similares.

Como subsídios para esta verificação, serão adotados os valores de quantitativos (Comprimento de Escavação das Estacas, Peso de Aço, Área de Formas e Volume de Concreto) encontrados em diferentes modelos de cálculo propostos neste trabalho.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é encontrar a melhor solução de engenharia para a fundação de um edifício em Alvenaria Estrutural considerando os quantitativos de Peso de Aço, Volume de Concreto, Área de Formas e Comprimento de Estacas necessários à sua execução.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar o edifício que será usado como referência para o estudo em questão;
- Apresentar o carregamento que será lançado nos modelos de fundação utilizados;
- Fazer análises em diferentes modelos utilizando o carregamento apresentado – Laje de concreto apoiada sobre estacas e cintamento em concreto apoiado sobre estacas;
- Comparar os resultados obtidos entre os diferentes modelos, analisando os resultados obtidos em cada caso;
- Encontrar o melhor modelo com base nos quantitativos de peso de aço, volume de concreto, área de formas e comprimento total de estacas;

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Alvenaria Estrutural

Caracterizamos a alvenaria como a reunião de peças (blocos) entrepostas uma a uma, ligadas por uma argamassa específica, formando um elemento vertical coeso resistente. A utilização destes elementos de maneira eficiente proporciona a racionalização da construção, quando comparada aos demais processos existentes, possibilitando igual proteção, resistência, segurança e conforto (Tauil e Nese, 2010).

A alvenaria estrutural, por sua vez, direciona sua função estrutural das edificações em suas paredes, chamadas paredes autoportantes, ao utilizar a distribuição da carga uniformemente entre seus elementos durante o processo construtivo, substituindo a utilização de vigas e pilares para a sustentação da construção.

Em análise de sustentação, considerando a importância do todo na edificação e aos esforços exigidos na estrutura, a alvenaria estrutural pode ser classificada em:

Alvenaria Estrutural Armada: *“é o processo construtivo em que, por necessidade estrutural, os elementos resistentes (estruturais) possuem uma armadura passiva de aço. Essas armaduras são dispostas nas cavidades dos blocos que são posteriormente preenchidas com micro-concreto (Graute).”* Camacho (2006:3)

Alvenaria Estrutural Não-Armada: Tipo de alvenaria que não recebe grautes, podendo ser dimensionadas para resistir a ações no seu próprio plano, segundo Gouveia (2006). Recebem reforços de aço em suas vergas e contravergas para evitar possíveis patologias, como as fissuras, por exemplo.

Alvenaria Estrutural Protendida: *“tipo de alvenaria reforçada por uma armadura ativa (pré-tensionada) que submete a alvenaria a esforços de compressão”* (Tauil e Nese, 2010: 23). Este tipo de alvenaria é menos usado em relação aos anteriores devido ao seu maior custo.

3.1.1 Aplicações

Antes mesmo dos primeiros estudos, as técnicas de alvenaria estrutural já eram usadas por nossos ancestrais, desde a antiguidade. Borges (2012) menciona o empilhamento de pedras e o uso do barro como técnicas de vedação e estruturação das primeiras edificações há milhares de anos. Não se considera o raciocínio matemático desses projetos estruturais, mas o senso empírico na construção desses monumentos. A FIGURA 1 representa algumas construções em alvenaria.



FIGURA 1: Exemplos de construções em alvenaria estrutural da antiguidade.

Ao longo do tempo, ao aprimorar as técnicas de construção e trazer para a realidade a alvenaria estrutural como sistema construtivo do futuro, adequando as soluções construtivas em alvenaria e a utilização das técnicas à diversidade do panorama socioeconômico brasileiro, fez-se da construção em alvenaria estrutural uma realidade da engenharia civil, segundo Gouveia *et. al* (2006) e Pimenta (2016).

3.2 Edifícios em Alvenaria Estrutural

As primeiras edificações em alvenaria estrutural da modernidade foram estudadas nos Estados Unidos e Europa em meados do Século XIX, de acordo com Borges (2012). Os estudos sobre a técnica de utilização do empilhamento de blocos para vedação e estrutura simultaneamente traz consigo conclusões significativas quanto à agilidade, custos e resultados no ramo da construção civil.

Não obstante ao cenário mundial, os avanços da tecnologia e o baixo custo em relação aos demais tipos de construção, tem possibilitado a alvenaria estrutural ser destaque também na construção civil brasileira, tornando o país referência mundial. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2016), as edificações têm sistemas racionalizados de consumo de materiais e volume de resíduos gerados nas obras que se destacam pela qualidade e tornam a alvenaria estrutural um dos sistemas mais empregados na construção civil atualmente. A economia de tempo na execução da obra também se torna um fator positivo quando se fala em produtividade. Segundo Porto (2010:1) *“Sendo assim, a alvenaria consolida-se, cada vez mais, como sistema construtivo significativamente competitivo, por aliar rapidez, economia e qualidade, concomitantemente”*.

Ao decorrer dos anos, a alvenaria estrutural tem se aprimorado constantemente, tanto nas tecnologias de fabricação dos instrumentos e materiais quanto nos sistemas de cálculo destes projetos. As mudanças na economia brasileira, no fim do Século XX fizeram a indústria de construção civil procurar alternativas na execução desses projetos, a fim de reduzir os custos de obra, maximizar a produtividade e popularizar a compra dessas edificações para a classe média e baixa, segundo Porto (2010). A alvenaria estrutural aparece como solução para todas estas questões.

3.3 Programa Minha Casa Minha Vida e a Expansão das Construções em Alvenaria Estrutural

Preocupados com o alto índice do déficit habitacional, no qual uma parcela significativa das famílias de classe média a baixa necessitava de moradia (Richter, 2007), o Governo Federal lançou em 2009 o programa piloto de habitação, Minha Casa Minha Vida I. O intuito deste

programa é trazer moradia com preço acessível às condições financeiras das classes atendidas, além de fomentar a economia nacional, gerando emprego e renda para a população em geral, segundo Pimenta (2016).

O programa tem hoje, mais de 2,6 milhões de famílias beneficiadas e cerca de 294,5 bilhões de reais investidos no programa habitacional, de acordo com o site do Minha Casa Minha Vida (2016).

Como via de mão dupla, muitas empresas viram no programa a oportunidade de expandirem seus negócios. Como o preço do financiamento é baixo, os subsídios do governo não supriam as largas margens de lucro que as empresas pretendiam. Desta forma *“o atrativo das grandes construtoras para participar do PMCMV foi a contratação de obras com grande escala de unidades por cada contrato”* (Pimenta, 2016:9) investindo em industrialização do seu processo construtivo. A FIGURA 2 mostra um exemplo de empreendimento em alvenaria estrutural com várias unidades habitacionais, construído pela MRV Engenharia.



FIGURA 2: Condomínio Mundi, localizado no bairro Camargos em Belo Horizonte.

A alvenaria estrutural surge em meio a este cenário em substituição aos modelos de construção por concreto armado, ao reduzir em até 30% dos custos da obra em suas edificações (Duarte, 1999).

A expansão das estruturas racionalizadas e mais econômicas, em processos criteriosamente definidos, consegue atender as exigências do programa simultaneamente aos objetivos das construtoras. Estes conjuntos habitacionais trazem um conceito de modernização da moradia, conforto e bem-estar de maneira acessível para as famílias que necessitam de moradia a um preço compatível com a renda familiar.

Para atender a demanda crescente dessas construções, a engenharia aprimora-se constantemente ao utilizar de um elemento (bloco) como vedação e estrutura. Torna-se essencial aos projetistas utilizar *“critérios para definir qual melhor solução para fundação, escolhendo uma subestrutura que suporte as cargas da superestrutura com padrões normativos de segurança, que se adeque aos fatores topográficos e seja embasada nos aspectos técnicos e econômicos, sem prejudicar as edificações do entorno”* (Borges 2012: 9).

3.4 Tipos de Fundação para Edifícios em Alvenaria

A escolha do tipo de fundação pelo engenheiro responsável, segundo Barros (2009), deve obedecer a parâmetros técnicos, respeitando a topografia, estratificação do terreno, disposição dos terrenos limítrofes, possíveis fundações realizadas e intensidade das ações no projeto em questão.

Os tipos mais comuns de estruturas de fundações para edifícios de pequeno porte, construídos em alvenaria estrutural, com cargas predominantemente verticais - em que não há grande solicitação em sua estrutura de fundação de esforços provenientes de carregamento horizontal, são:

- Radier: tipo de fundação rasa que se assemelha a uma placa ou laje que abrange toda a área da construção. São lajes de concreto armado em contato direto com o terreno que recebe

as cargas oriundas das paredes da superestrutura e descarregam diretamente no solo. Tem como vantagem o baixo custo e rapidez na execução;

- Cintamento sobre estacas, tubulões ou sapatas: tipo de fundação que se assemelha a uma grelha constituída por várias barras. Podem estar conectadas aos blocos de coroamento (cintamento sobre estacas) ou ligadas diretamente à infraestrutura de fundação (cintamento sobre tubulões). Sob cada parede do edifício deve haver uma cinta (viga de concreto armado) que receberá o carregamento oriundo da superestrutura levando à infraestrutura de fundação e esta descarregará no solo de apoio. Tem como vantagem a flexibilidade de execução em diferentes tipos de solos.

- Laje apoiada sobre estacas / tubulões: tipo de fundação que se assemelha ao radier, porém a laje não está ligada diretamente ao solo. Neste caso, a laje de concreto armado recebe as cargas oriundas das paredes da superestrutura e as transmite à infraestrutura de fundações (blocos de coroamento + estacas e/ou tubulões). Tem como vantagem a rapidez na execução e a possibilidade de ser executada em terrenos onde o radier seria menos indicado.

4 APRESENTAÇÃO DO CASO EM ESTUDO

O edifício que se faz objeto deste estudo faz parte de um empreendimento de 12 blocos, em alvenaria estrutural, sem pilotis, com 4 pavimentos, contendo 4 apartamentos por andar.

Existe ainda um hall comum para circulação e uma caixa de escadas com 15 degraus. Não existe elevador.

O apartamento padrão constitui-se de 2 quartos, 1 banheiro, 1 sala de estar/jantar, 1 cozinha e 1 área de serviço conjugada com a cozinha, totalizando uma área de 45,60 m²/apto.

O pé-direito livre da edificação é de 2,50 metros.

O empreendimento será abastecido por castelo d'água e, desta forma, a estrutura não será solicitada por cargas de caixa d'água.

A superestrutura do edifício será feita em Alvenaria Estrutural constituída de blocos de concreto e o modelo de cálculo adotado é o de paredes isoladas.

Cada estrutura de fundação deverá corresponder a 2 (dois) blocos geminados.

4.1 Motivação Para o Estudo Proposto

Uma característica fundamental que motivou a elaboração deste trabalho, diz respeito às características do solo. Como pode ser observado pelo relatório de sondagem de um dos pontos de verificação, representado na FIGURA 3, este solo apresenta argila muito mole e nível do lençol freático aflorante.

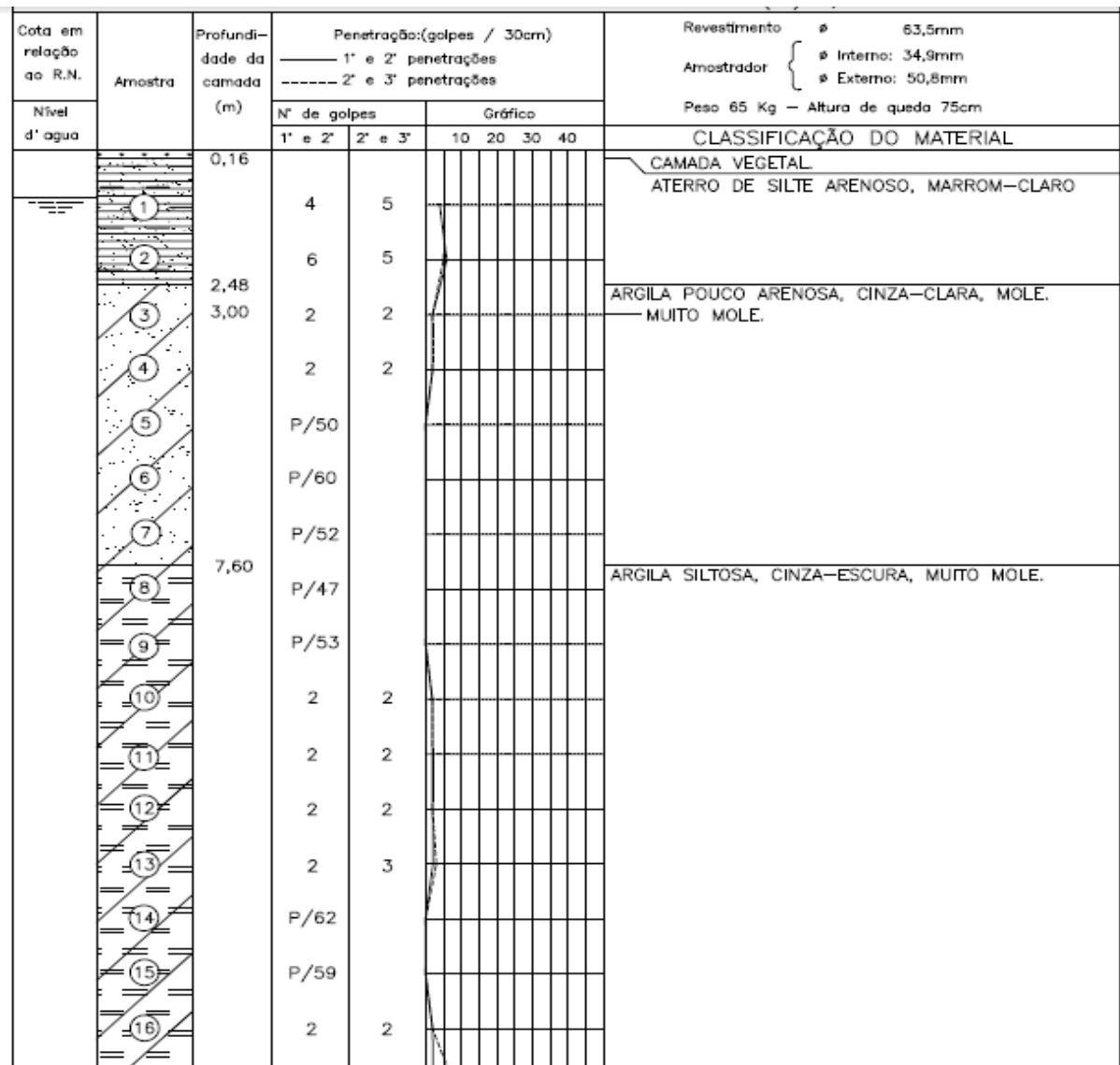


FIGURA 3: Relatório de sondagem

4.2 Modelos de Cálculo Propostos Para a Fundação

Diante dos fatos apresentados acima, e visando encontrar a melhor solução técnica/econômica para a concepção do projeto de fundações, foram propostos 6 (seis) modelos de cálculo. Sejam eles:

- **Modelo 1:** Cintamento convencional com 60 pontos de fundação.
- **Modelo 2:** Cintamento convencional com 42 pontos de fundação.

- **Modelo 3:** Laje lisa estaqueada com 74 pontos de fundação – 24 cm de altura.
- **Modelo 4:** Laje lisa estaqueada com 62 pontos de fundação – 26 cm de altura.
- **Modelo 5:** Laje lisa estaqueada com 52 pontos de fundação – 28 cm de altura.
- **Modelo 6:** Laje lisa estaqueada com 40 pontos de fundação – 30 cm de altura.

A planta de formas, para cada modelo proposto encontra-se no APÊNDICE A deste trabalho.

4.3 Arquitetura

A FIGURA 4 representa a planta baixa referente ao empreendimento.

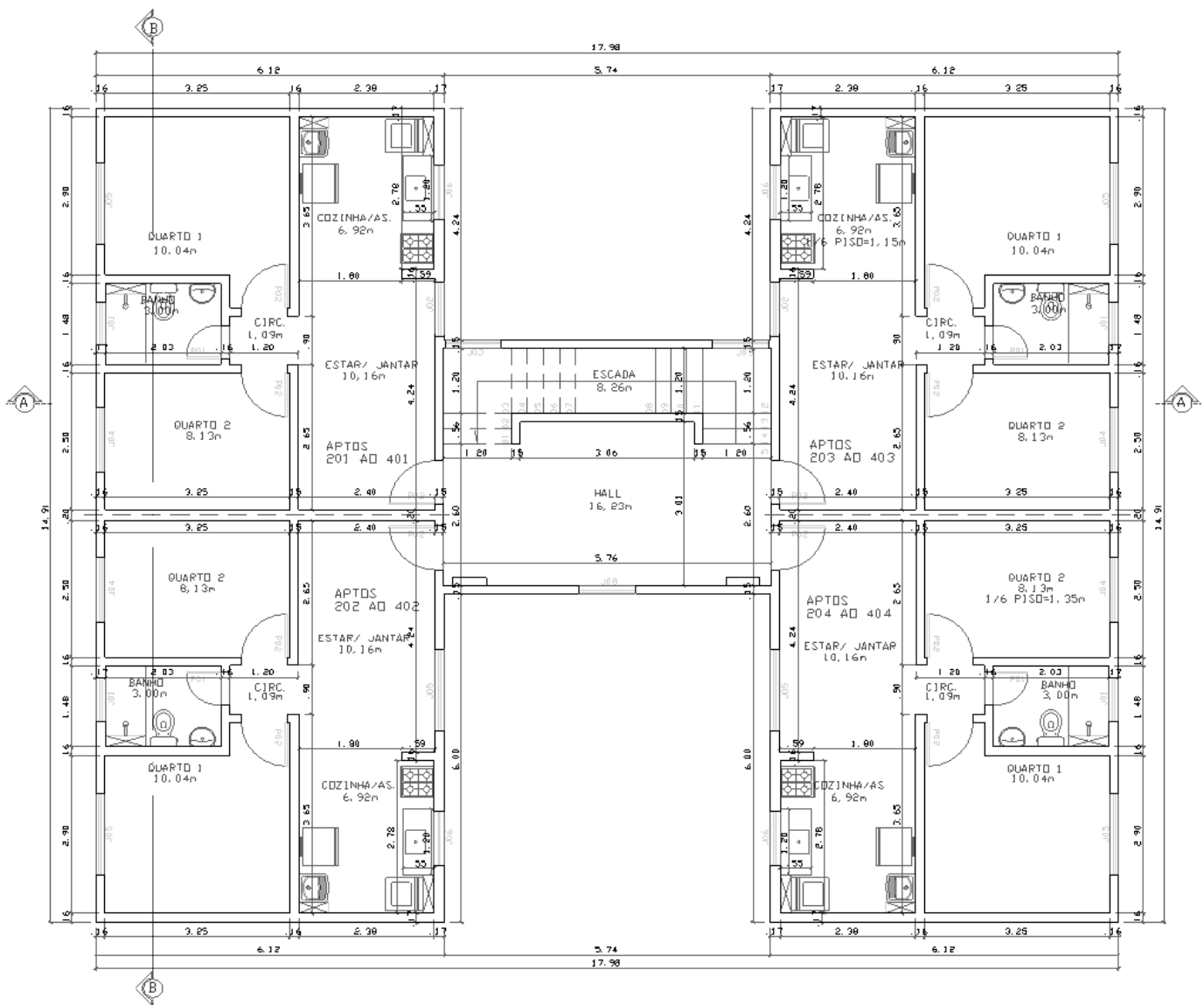


FIGURA 4: Planta baixa da arquitetura

4.4 Cargas na Fundação

O carregamento a ser lançado na fundação é constituído por 3 etapas: Cargas de lajes, cargas de paredes e cargas lançadas diretamente na fundação.

4.4.1 Carga das lajes

Lajes em concreto armado, moldadas em formas metálicas e içadas até sua posição definitiva. Possuem 9 cm de espessuras e são solicitadas (além de seu peso próprio) por uma carga de 250 kgf/m² nos pavimentos tipo (térreo, 2º e 3º andares) e 150 kgf/m² no forro. A FIGURA 5 e a FIGURA 6 mostram o carregamento das lajes que serão resistidos por cada parede dos pavimentos tipo e forro, respectivamente.

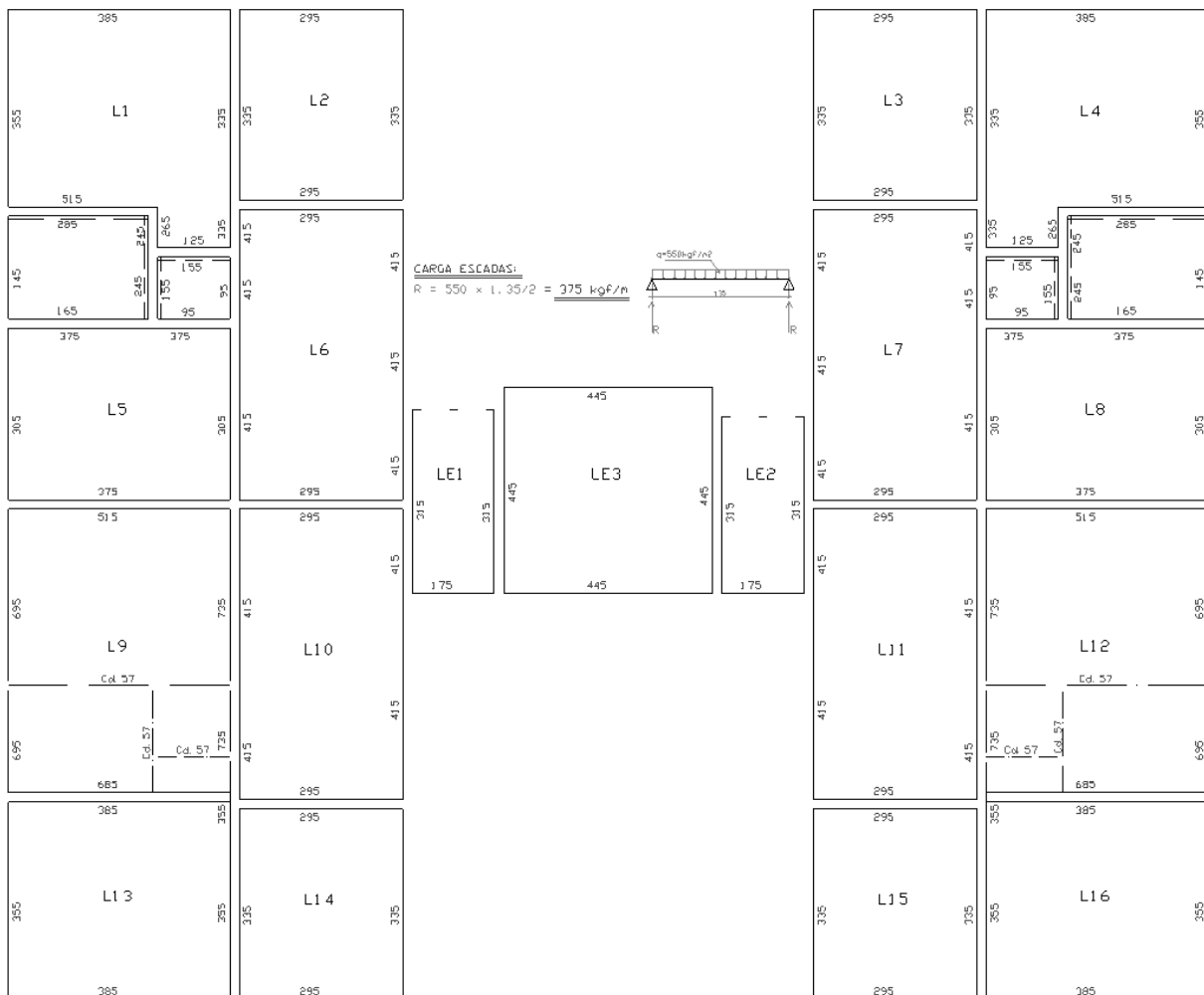


FIGURA 5: Carregamento das lajes do TIPO.

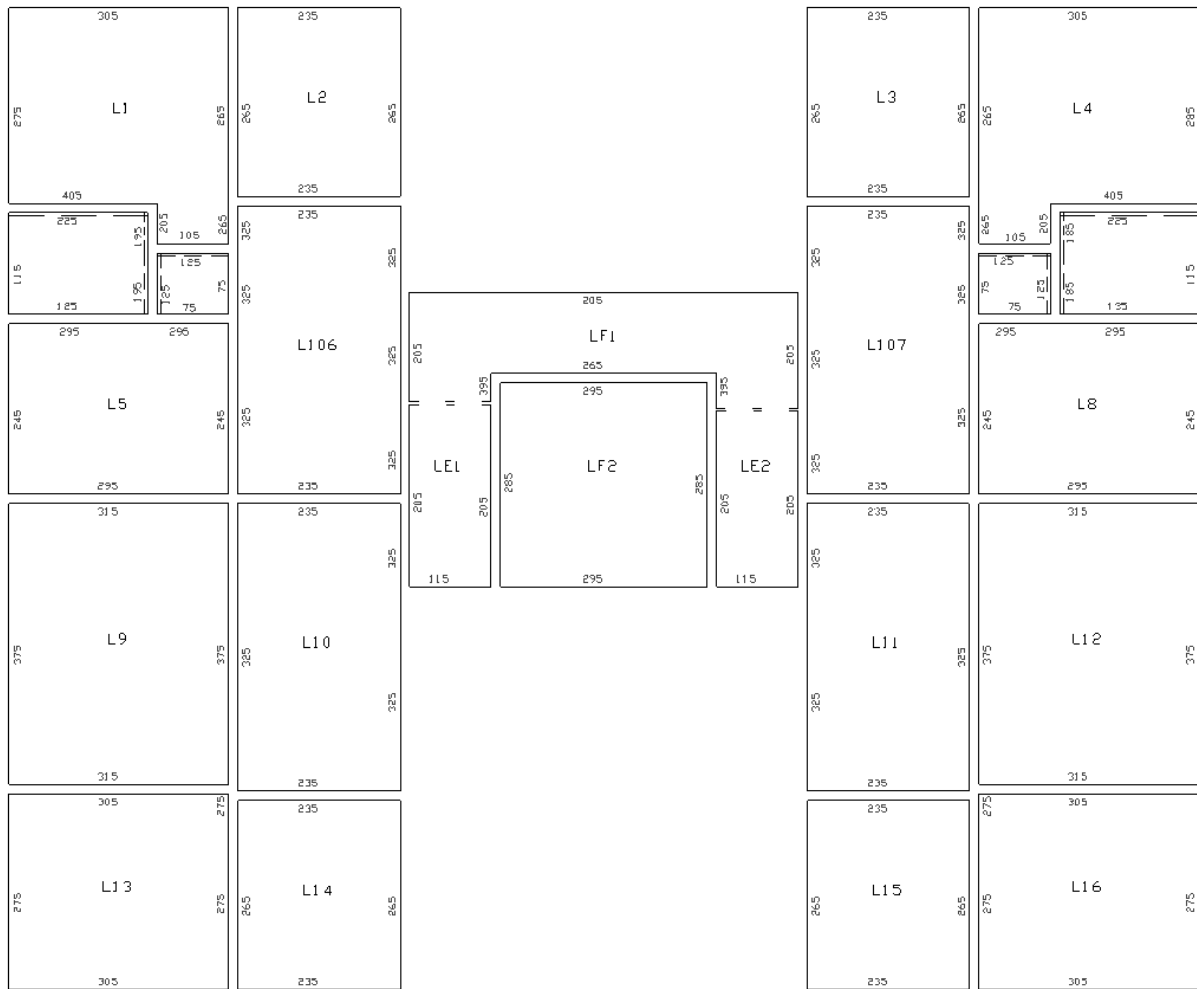


FIGURA 6: Carregamento das lajes do FORRO.

4.4.2 Carga das Paredes

Alvenaria Estrutural constituída de blocos de concreto de 14 centímetros de espessura. Deve resistir às cargas das lajes, bem como de seu próprio peso. Não foi considerado qualquer tipo de carregamento horizontal na edificação. A FIGURA 7, abaixo representa a nomenclatura utilizada em cada parede.

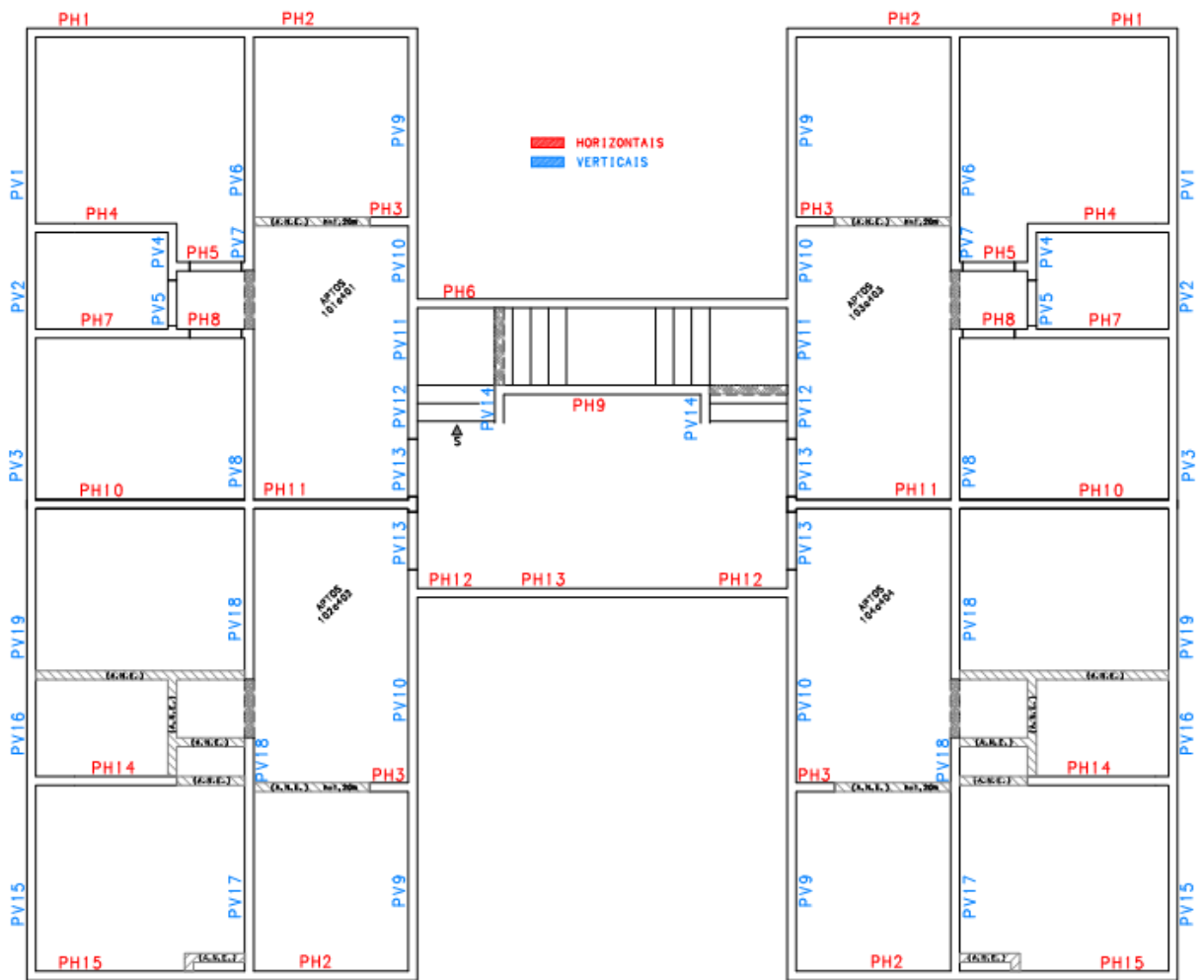


FIGURA 7: Mapa de Paredes

Cada parede irá direcionar uma carga distribuída linear à fundação, cujos valores estão representados na TABELA 1.

TABELA 1: Cargas lineares a serem lançadas na fundação.

PAREDE	CARGA (kgf/m)
PH1	4005
PH2	3824
PH3	4516
PH4	5306
PH5	3204
PH6	3875
PH7	4316
PH8	3914
PH9	5154
PH10	6125
PH11	5085
PH12	3185
PH13	4175
PH14	6106
PH15	4005
PV1	3885
PV2	3254
PV3	3705
PV4	4206
PV5	3796
PV6	4816
PV7	4974
PV8	4864
PV9	3974
PV10	4115
PV11	5034
PV12	5034
PV13	4854
PV14	5274
PV15	3885
PV16	5164
PV17	4886
PV18	6284
PV19	5005
A.N.E.	569

4.4.3 Cargas Lançadas Diretamente na Fundação

Em modelos constituídos por cintamento convencional, devido à baixa capacidade de compactação e resistência do solo, foi considerado um nível adicional de lajes, solidarizadas com as cintas de fundação. Sendo assim, foram adotadas lajes em concreto armado, moldadas in loco, com 10 cm de espessura e solicitadas (além de seu peso próprio) por uma carga de 250 kgf/m².

Em modelos constituídos por laje estaqueada, foi considerado um carregamento adicional de 20 cm de solo sobre a laje, correspondente a uma fiada extra de blocos sobre cada parede, possibilitando a passagem de tubulação.

4.4.4 Valores de Referência das Estacas

Comprimento médio das estacas: 23 metros de profundidade.

4.4.4.1 Faixas para limites de carga das estacas

Faixa 1: até 40,0 tf → Hélice contínua de 40cm de diâmetro.

Faixa 2: entre 40,0 tf e 70,0 tf → Hélice contínua de 50cm de diâmetro.

Faixa 3: entre 70,0 tf e 90,0 tf → Hélice contínua de 60cm de diâmetro.

4.4.4.2 Faixas para armação das Estacas

Faixa 1: até 40,0 tf → 6 Ø16mm c/ 8m.

Faixa 2: entre 40,0 tf e 70,0 tf → 6 Ø20mm c/ 8m.

Faixa 3: entre 70,0 tf e 90,0 tf → 10 Ø20mm c/ 8m.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Com o auxílio do *software CAD-TQS®*, os modelos propostos foram dimensionados, e os quantitativos obtidos serão mostrados nas seções seguintes.

5.1 Cargas Nos Pontos de Fundação e Diâmetro da Estaca Adotada

As cargas em cada ponto de fundação, bem como o diâmetro da estaca equivalente, estão mostradas no APÊNDICE B deste trabalho.

5.2 Quantitativos das Estacas

Os quantitativos de Volume de Concreto e Peso de Aço das estacas estão descritos na TABELA 2 a seguir:

TABELA 2: Quantitativos das estacas por modelo proposto

MODELO	NÚMERO DE PONTOS DE FUNDAÇÃO	DIÂMETRO DAS ESTACAS			VOLUME DE CONCRETO (m ³)	PESO DE AÇO (kg)
		Ø40cm	Ø50cm	Ø60cm	TOTAL	TOTAL
1	60	42	18	0	8,81	5285
2	42	16	14	12	8,15	5198
3	74	74	0	0	9,30	5506
4	62	46	16	0	8,92	5342
5	52	16	36	0	9,08	5510
6	40	6	30	4	7,78	4822

5.3 Quantitativos da Superestrutura de Fundação

Os quantitativos de Volume de Concreto, Área de Formas e Peso de Aço das cintas e/ou lajes e dos blocos de coroamento estão descritos na TABELA 3 a seguir:

TABELA 3: Quantitativos das estruturas por modelo proposto

MODELO	NÚMERO DE PONTOS DE FUNDAÇÃO	RELAÇÃO PF's / ÁREA	ÁREA ESTRUTURADA	ÁREA DE FORMA (m ²)		VOLUME DE CONCRETO (m ³)		PESO DE AÇO (kg)	
				CINTAS OU LAJE	BLOCOS 80x80/90	CINTAS OU LAJE	BLOCOS 80x80/90	CINTAS OU LAJE	BLOCOS 80x80/90
1	60	0,144	416	383	173	82	35	6336	1200
2	42	0,101	416	444	121	97	24	8340	840
3	74	0,178	416	36	213	100	43	13606	1480
4	62	0,149	416	38	179	108	36	13479	1240
5	52	0,125	416	41	150	117	30	15743	1040
6	40	0,096	416	44	115	125	23	19872	800

5.4 Valores Finais de Quantitativos

Tomando como referência os valores dos insumos de construção civil presentes no catálogo *Informador das Construções* datado de Março de 2016 e utilizando os quantitativos encontrados nos processamentos de cada modelo de cálculo, foram elaboradas as tabelas a seguir. Estes valores foram os balizadores para se chegar ao melhor modelo proposto.

A TABELA 4, mostra o custo final de escavação das estacas em cada modelo.

TABELA 4: Custo final de escavação das estacas por modelo proposto

MODELO	NÚMERO DE PONTOS DE FUNDAÇÃO	ESCAVAÇÃO ESTACAS (23m)				
		Ø40cm	Ø50cm	Ø60cm	Preço/(m)	TOTAL (R\$)
1	60	42	18	0	0,38Ø	22549,20
2	42	16	14	12		18004,40
3	74	74	0	0		25870,40
4	62	46	16	0		23073,60
5	52	16	36	0		21325,60
6	40	6	30	4		17305,20

Abaixo, descritos na TABELA 5, temos os valores referentes à área de formas necessárias.

TABELA 5: Custo final de área de formas por modelo proposto

MODELO	NÚMERO DE PONTOS DE FUNDAÇÃO	ÁREA DE FORMAS (m ²)			
		ESTACAS	ESTRUTURA	Preço/(m ²)	TOTAL (R\$)
1	60	0,0	556	26,61	14797,82
2	42	0,0	565		15034,12
3	74	0,0	249		6615,80
4	62	0,0	217		5774,88
5	52	0,0	191		5087,24
6	40	0,0	160		4246,32

O volume final de concreto, considerando todos os elementos estruturais de cada modelo, está descrito na TABELA 6:

TABELA 6: Custo final de volume de concreto por modelo proposto

MODELO	NÚMERO DE PONTOS DE FUNDAÇÃO	VOLUME DE CONCRETO (m ³)			
		ESTACAS	ESTRUTURA	Preço/(m ³)	TOTAL (R\$)
1	60	8,8	116,4	180,44	22600,50
2	42	8,2	121,0		23306,43
3	74	9,3	142,6		27405,65
4	62	8,9	144,0		27593,48
5	52	9,1	146,6		28085,55
6	40	7,8	148,0		28106,15

O peso final de aço, necessários à execução tanto das estacas, quanto da estrutura definida em cada modelo, está descrita na TABELA 7 abaixo.

TABELA 7: Custo final de peso de aço por modelo proposto

MODELO	NÚMERO DE PONTOS DE FUNDAÇÃO	PESO DE AÇO (kg)			
		ESTACAS	ESTRUTURA	Preço/(kg)	TOTAL
1	60	5284,8	7536,0	3,64	46667,71
2	42	5198,4	9180,2		52338,10
3	74	5505,6	15085,9		74953,06
4	62	5342,4	14719,4		73024,95
5	52	5510,4	16783,2		81148,70
6	40	4822,4	20671,5		92797,80

Desta forma, considerando todos os insumos descritos e seus respectivos valores, temos, como mostrado na TABELA 8 a seguir, o valor final de custo para cada um dos 6 modelos propostos.

TABELA 8: Custo final total de cada modelo proposto

MODELO	NÚMERO DE PONTOS DE FUNDAÇÃO	TOTAL GERAL (R\$)
1	60	106615,2
2	42	108683,1
3	74	134844,9
4	62	129466,9
5	52	135647,1
6	40	142455,5

6 CONCLUSÃO

Como podemos observar na TABELA 8, analisando os preços dos quantitativos de Peso de Aço, Volume de Concreto, Área de Formas e Comprimento de Estacas necessários à execução de cada um dos 6 modelos propostos inicialmente, o Modelo 1 – estrutura em cintamento convencional com 60 pontos de fundação é o que apresenta o menor valor final.

Este modelo estrutural apresenta uma relação entre o número de pontos de fundação e a área de projeção da estrutura (PF's/Área) de 0,144.

Para efeito de comparação, o menor valor final, considerando uma estrutura em laje, foi o Modelo 4 - Laje estaqueada com 62 pontos de fundação. Este modelo apresentou um valor 21,4% acima, bem como uma relação (PF's/Área) de 0,149.

Sugere-se então, que o melhor modelo dentre os propostos, seja o Modelo 1, por apresentar o menor custo final.

Conclui-se ainda, que a relação (PF's/Área) entre 0,14 e 0,15 seja um bom balizador para se definir o número de pontos de fundação no momento de lançamento da estrutura. Devendo ser analisado e corrigido conforme a necessidade do empreendimento.

Salienta-se que, como não foi considerado neste estudo o valor da mão de obra, bem como os diferentes tempos de execução de um modelo em relação ao outro, ficaria a cargo do construtor, avaliar se esta diferença encontrada nos valores finais realmente inviabilizaria o uso da Laje estaqueada.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Brasil é referência mundial em alvenaria estrutural. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-de-pautas/brasil-e-referencia-mundial-em-alvenaria-estrutural/> Acessado em 15 de novembro de 2016.

BARROS, R. *Análise de blocos de concreto armado sobre duas estacas com cálice totalmente embutido mediante presença de viga de travamento*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2009.

BORGES, L. F. *Estudo de caso sobre fundações para edifícios em alvenaria estrutural*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, 2012.

CAMACHO, J. S. *Projeto de edifícios de Alvenaria Estrutural*. Universidade Estadual Paulista. NEPAE- Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutura. Ilha Solteira - SP, 2006.

DUARTE, R. B. *Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural*. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre- RS, 1999.

GOUVEIA, J. P.; MELO, F.; LOURENÇO, P. B. *Alvenaria Estrutural: Aplicação a um caso de estudo*. Jornadas Portuguesas de Engenharias de Estruturas. 4ª Edição. Lisboa – Portugal, 2006.

MINHA CASA MINHA VIDA. 2016. Disponível em: www.minhacasaminhavidagov.br/ Acessado em 14 de novembro de 2016.

PIMENTA, C. L. *Análise comparativa de custo de empreendimento de baixa renda entre os métodos construtivos em alvenaria estrutural e parede de concreto moldado in loco*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2016.

PORTO, T. B. *Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com a estrutura de fundação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2010.

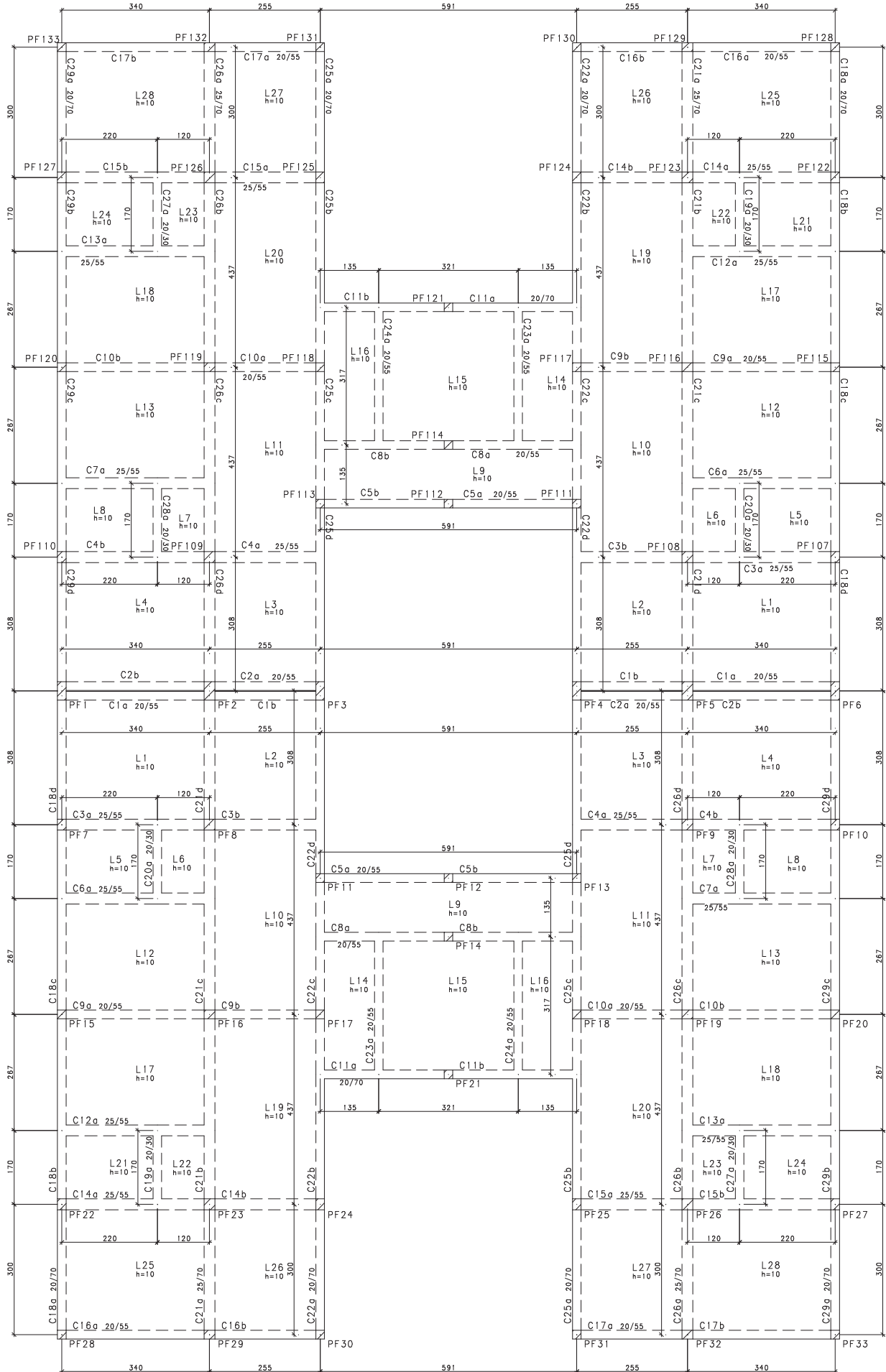
RICHTER, C. *Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: Uma análise da confiabilidade e da conformidade*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre- RS, 2007.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. *Alvenaria Estrutural*. 1ª Edição. Editora Pini. São Paulo- SP, 2010.

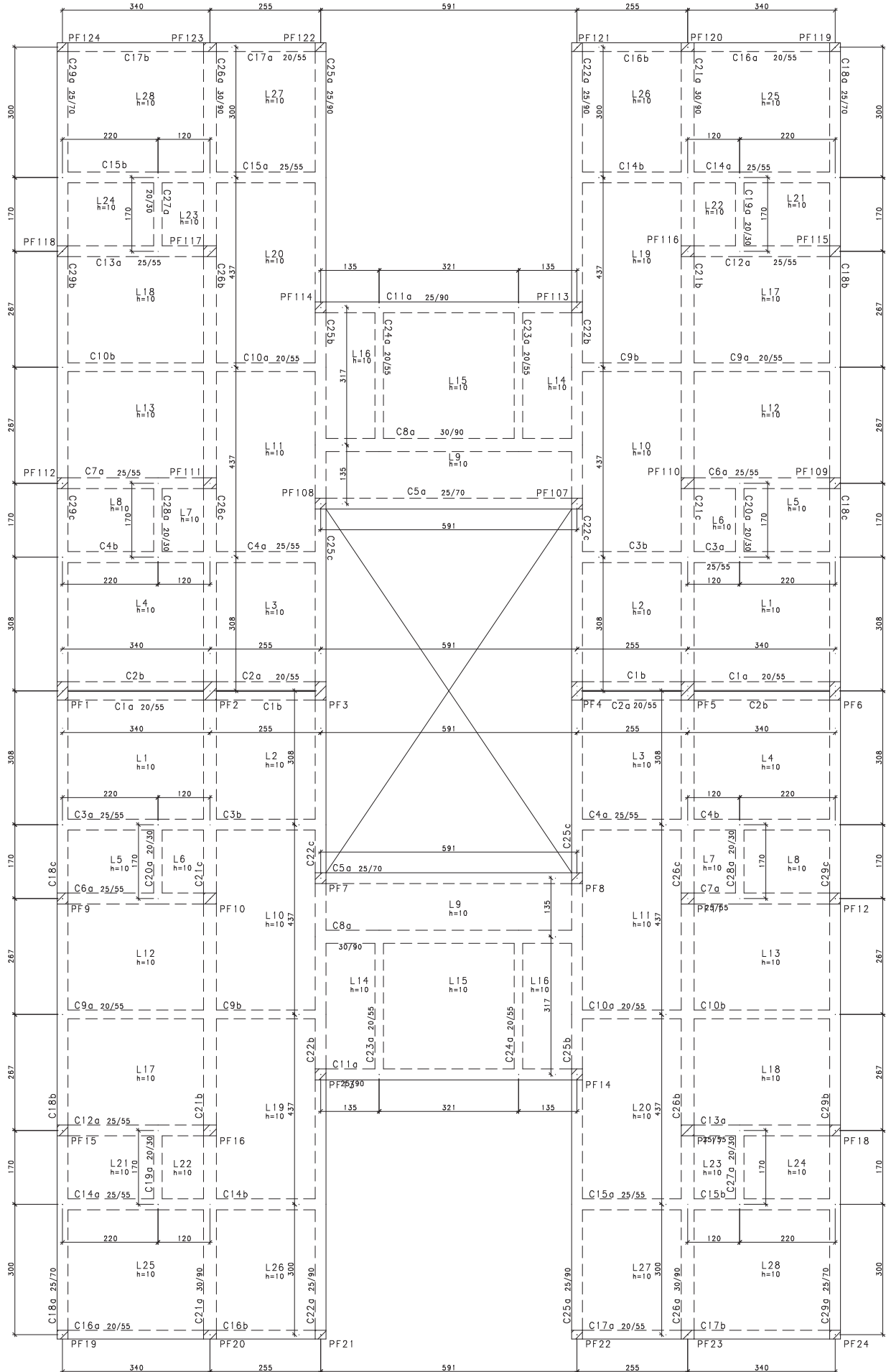
**APÊNDICE A – PLANTAS DE FORMAS DOS MODELOS
PROPOSTOS**

**APÊNDICE B – CARGA NOS PONTOS DE FUNDAÇÃO E
DIÂMETRO DAS ESTACAS**

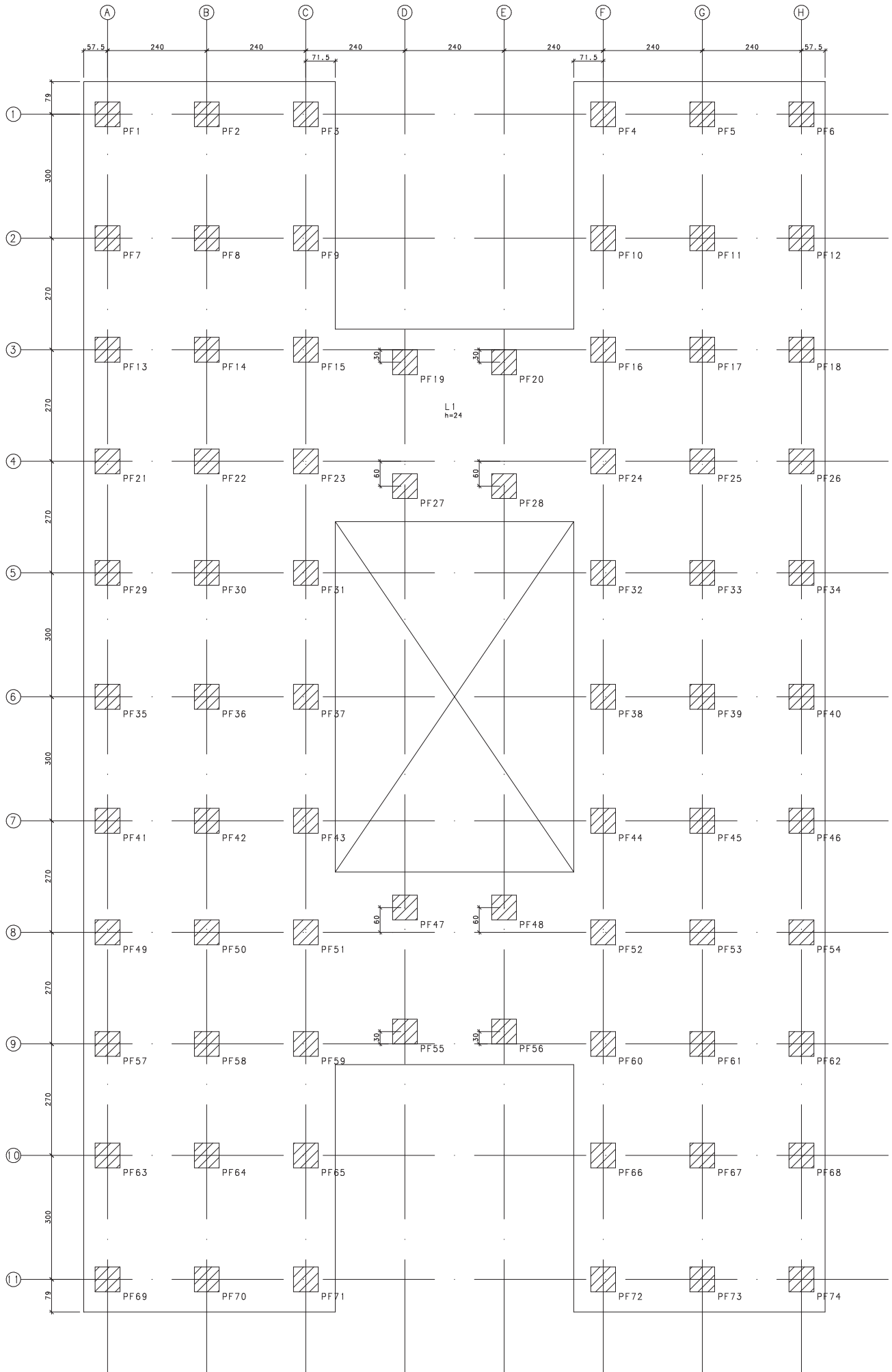
MODELO 1 - OPÇÃO COM 60 PF's



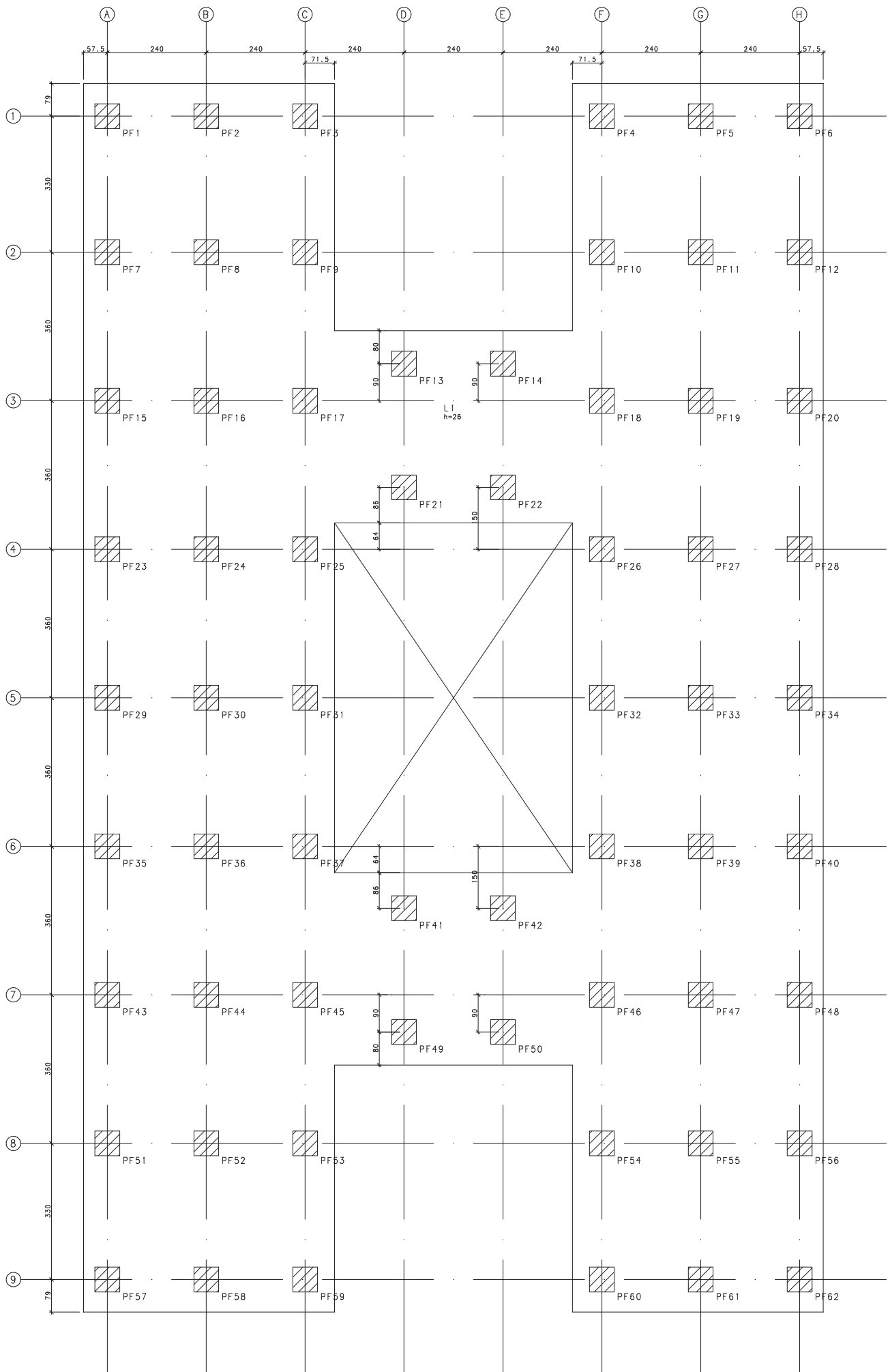
MODELO 2 - OPÇÃO COM 42 PF's



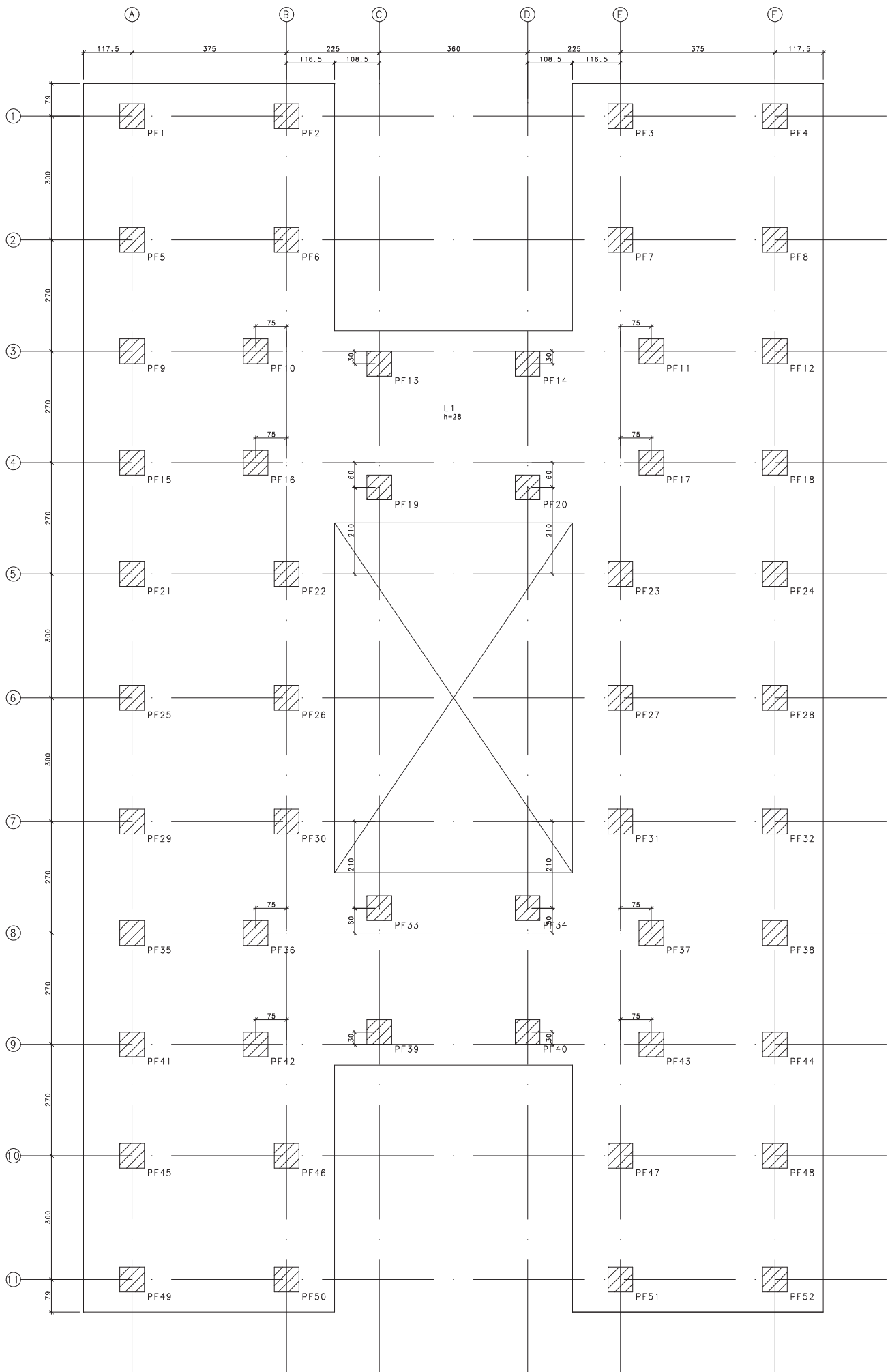
MODELO 3 - OPÇÃO COM 74 PF's



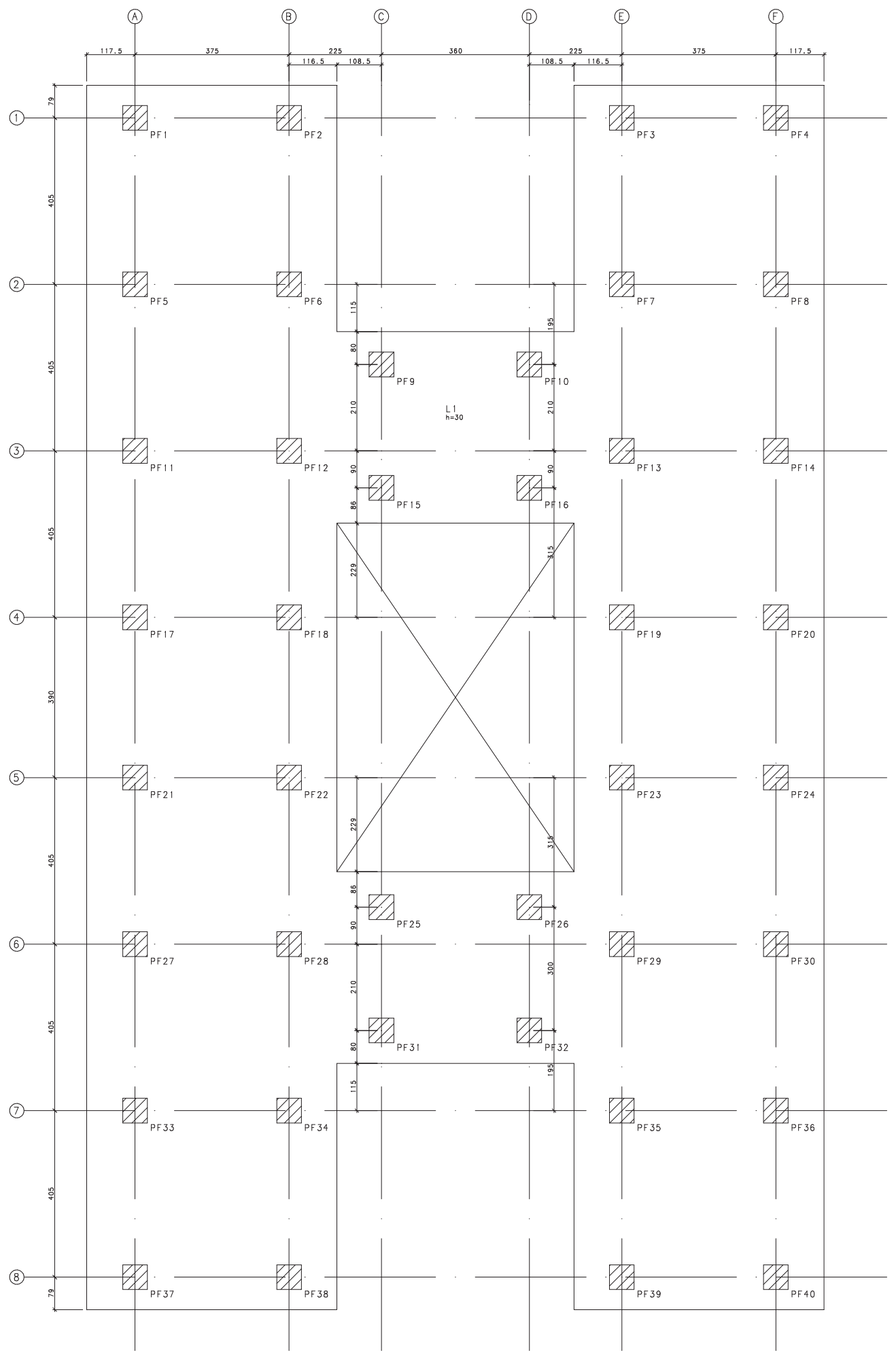
MODELO 4 - OPÇÃO COM 52 PF's



MODELO 5 - OPÇÃO COM 52 PF's



MODELO 6 - OPÇÃO COM 40 PF's



MODELO 1		
PF's	CARGA TOTAL (tf)	ESTACA
PF1	22,0	→ HC Ø40
PF2	48,0	→ HC Ø50
PF3	25,5	→ HC Ø40
PF4	25,5	→ HC Ø40
PF5	48,0	→ HC Ø50
PF6	22,0	→ HC Ø40
PF7	36,0	→ HC Ø40
PF8	57,0	→ HC Ø50
PF9	57,0	→ HC Ø50
PF10	36,0	→ HC Ø40
PF11	35,5	→ HC Ø40
PF12	18,0	→ HC Ø40
PF13	35,5	→ HC Ø40
PF14	33,0	→ HC Ø40
PF15	41,0	→ HC Ø50
PF16	67,0	→ HC Ø50
PF17	36,0	→ HC Ø40
PF18	36,5	→ HC Ø40
PF19	67,0	→ HC Ø50
PF20	41,0	→ HC Ø50
PF21	30,0	→ HC Ø40
PF22	35,5	→ HC Ø40
PF23	56,5	→ HC Ø50
PF24	28,0	→ HC Ø40
PF25	28,0	→ HC Ø40
PF26	56,5	→ HC Ø50
PF27	35,5	→ HC Ø40
PF28	12,0	→ HC Ø40
PF29	26,0	→ HC Ø40
PF30	9,0	→ HC Ø40
PF31	9,0	→ HC Ø40
PF32	26,0	→ HC Ø40
PF33	12,0	→ HC Ø40
PF107	36,0	→ HC Ø40
PF108	57,0	→ HC Ø50
PF109	57,0	→ HC Ø50
PF110	36,0	→ HC Ø40
PF111	35,5	→ HC Ø40
PF112	18,0	→ HC Ø40
PF113	35,5	→ HC Ø40
PF114	33,0	→ HC Ø40
PF115	41,0	→ HC Ø50
PF116	67,0	→ HC Ø50
PF117	36,0	→ HC Ø40
PF118	36,5	→ HC Ø40
PF119	67,0	→ HC Ø50
PF120	41,0	→ HC Ø50
PF121	30,0	→ HC Ø40
PF122	35,5	→ HC Ø40
PF123	56,5	→ HC Ø50
PF124	28,0	→ HC Ø40
PF125	28,0	→ HC Ø40
PF126	56,5	→ HC Ø50
PF127	35,5	→ HC Ø40
PF128	12,0	→ HC Ø40
PF129	26,0	→ HC Ø40
PF130	9,0	→ HC Ø40
PF131	9,0	→ HC Ø40
PF132	26,0	→ HC Ø40
PF133	12,0	→ HC Ø40

MODELO 2		
PF's	CARGA TOTAL (tf)	ESTACA
PF1	35,0	→ HC Ø40
PF2	68,0	→ HC Ø50
PF3	22,5	→ HC Ø40
PF4	22,5	→ HC Ø40
PF5	68,0	→ HC Ø50
PF6	35,0	→ HC Ø40
PF7	65,5	→ HC Ø50
PF8	66,0	→ HC Ø50
PF9	50,5	→ HC Ø50
PF10	79,0	→ HC Ø60
PF11	79,0	→ HC Ø60
PF12	50,5	→ HC Ø50
PF13	71,0	→ HC Ø60
PF14	71,5	→ HC Ø60
PF15	49,0	→ HC Ø50
PF16	80,0	→ HC Ø60
PF17	80,0	→ HC Ø60
PF18	49,0	→ HC Ø50
PF19	18,5	→ HC Ø40
PF20	36,5	→ HC Ø40
PF21	17,0	→ HC Ø40
PF22	17,0	→ HC Ø40
PF23	36,5	→ HC Ø40
PF24	18,5	→ HC Ø40
PF107	65,5	→ HC Ø50
PF108	66,0	→ HC Ø50
PF109	50,5	→ HC Ø50
PF110	79,0	→ HC Ø60
PF111	79,0	→ HC Ø60
PF112	50,5	→ HC Ø50
PF113	71,0	→ HC Ø60
PF114	71,5	→ HC Ø60
PF115	49,0	→ HC Ø50
PF116	80,0	→ HC Ø60
PF117	80,0	→ HC Ø60
PF118	49,0	→ HC Ø50
PF119	18,5	→ HC Ø40
PF120	36,5	→ HC Ø40
PF121	17,0	→ HC Ø40
PF122	17,0	→ HC Ø40
PF123	36,5	→ HC Ø40
PF124	18,5	→ HC Ø40

MODELO 3

PF's	CARGA TOTAL (tf)	ESTACA
PF1	24,0	→ HC Ø40
PF2	28,5	→ HC Ø40
PF3	27,5	→ HC Ø40
PF4	27,5	→ HC Ø40
PF5	28,5	→ HC Ø40
PF6	24,0	→ HC Ø40
PF7	31,5	→ HC Ø40
PF8	29,0	→ HC Ø40
PF9	31,0	→ HC Ø40
PF10	31,0	→ HC Ø40
PF11	29,0	→ HC Ø40
PF12	31,5	→ HC Ø40
PF13	27,5	→ HC Ø40
PF14	27,5	→ HC Ø40
PF15	33,0	→ HC Ø40
PF16	33,0	→ HC Ø40
PF17	27,5	→ HC Ø40
PF18	27,5	→ HC Ø40
PF19	27,5	→ HC Ø40
PF20	27,5	→ HC Ø40
PF21	28,0	→ HC Ø40
PF22	31,0	→ HC Ø40
PF23	30,0	→ HC Ø40
PF24	29,5	→ HC Ø40
PF25	31,0	→ HC Ø40
PF26	28,0	→ HC Ø40
PF27	30,5	→ HC Ø40
PF28	31,5	→ HC Ø40
PF29	30,0	→ HC Ø40
PF30	31,0	→ HC Ø40
PF31	31,5	→ HC Ø40
PF32	32,0	→ HC Ø40
PF33	31,0	→ HC Ø40
PF34	30,0	→ HC Ø40
PF35	31,5	→ HC Ø40
PF36	37,5	→ HC Ø40
PF37	37,5	→ HC Ø40
PF38	37,5	→ HC Ø40
PF39	37,5	→ HC Ø40
PF40	31,5	→ HC Ø40
PF41	30,0	→ HC Ø40
PF42	31,0	→ HC Ø40
PF43	32,0	→ HC Ø40
PF44	31,5	→ HC Ø40
PF45	31,0	→ HC Ø40
PF46	30,0	→ HC Ø40
PF47	31,5	→ HC Ø40
PF48	30,5	→ HC Ø40
PF49	28,0	→ HC Ø40
PF50	31,0	→ HC Ø40
PF51	29,5	→ HC Ø40
PF52	30,0	→ HC Ø40
PF53	31,0	→ HC Ø40
PF54	28,0	→ HC Ø40
PF55	27,5	→ HC Ø40
PF56	27,5	→ HC Ø40
PF57	27,5	→ HC Ø40
PF58	27,5	→ HC Ø40
PF59	33,0	→ HC Ø40
PF60	33,0	→ HC Ø40
PF61	27,5	→ HC Ø40
PF62	27,5	→ HC Ø40
PF63	31,5	→ HC Ø40
PF64	29,0	→ HC Ø40
PF65	31,0	→ HC Ø40
PF66	31,0	→ HC Ø40
PF67	29,0	→ HC Ø40
PF68	31,5	→ HC Ø40
PF69	24,0	→ HC Ø40
PF70	28,5	→ HC Ø40
PF71	27,5	→ HC Ø40
PF72	27,5	→ HC Ø40
PF73	28,5	→ HC Ø40
PF74	24,0	→ HC Ø40

MODELO 4		
PF's	CARGA TOTAL (tf)	ESTACA
PF1	25,0	→ HC Ø40
PF2	29,5	→ HC Ø40
PF3	28,0	→ HC Ø40
PF4	28,0	→ HC Ø40
PF5	29,5	→ HC Ø40
PF6	25,0	→ HC Ø40
PF7	37,0	→ HC Ø40
PF8	35,5	→ HC Ø40
PF9	37,5	→ HC Ø40
PF10	37,5	→ HC Ø40
PF11	35,5	→ HC Ø40
PF12	37,0	→ HC Ø40
PF13	28,5	→ HC Ø40
PF14	28,5	→ HC Ø40
PF15	37,0	→ HC Ø40
PF16	41,5	→ HC Ø50
PF17	42,5	→ HC Ø50
PF18	42,0	→ HC Ø50
PF19	41,5	→ HC Ø50
PF20	37,0	→ HC Ø40
PF21	30,5	→ HC Ø40
PF22	31,5	→ HC Ø40
PF23	38,0	→ HC Ø40
PF24	41,0	→ HC Ø50
PF25	39,0	→ HC Ø40
PF26	39,0	→ HC Ø40
PF27	40,5	→ HC Ø50
PF28	38,0	→ HC Ø40
PF29	36,5	→ HC Ø40
PF30	43,0	→ HC Ø50
PF31	43,5	→ HC Ø50
PF32	43,5	→ HC Ø50
PF33	43,0	→ HC Ø50
PF34	36,5	→ HC Ø40
PF35	38,0	→ HC Ø40
PF36	40,5	→ HC Ø50
PF37	39,0	→ HC Ø40
PF38	39,0	→ HC Ø40
PF39	41,0	→ HC Ø50
PF40	38,0	→ HC Ø40
PF41	31,5	→ HC Ø40
PF42	30,5	→ HC Ø40
PF43	37,0	→ HC Ø40
PF44	41,5	→ HC Ø50
PF45	42,0	→ HC Ø50
PF46	42,5	→ HC Ø50
PF47	41,5	→ HC Ø50
PF48	37,0	→ HC Ø40
PF49	28,5	→ HC Ø40
PF50	28,5	→ HC Ø40
PF51	37,0	→ HC Ø40
PF52	35,5	→ HC Ø40
PF53	37,5	→ HC Ø40
PF54	37,5	→ HC Ø40
PF55	35,5	→ HC Ø40
PF56	37,0	→ HC Ø40
PF57	25,0	→ HC Ø40
PF58	29,5	→ HC Ø40
PF59	28,0	→ HC Ø40
PF60	28,0	→ HC Ø40
PF61	29,5	→ HC Ø40
PF62	25,0	→ HC Ø40

MODELO 5		
PF's	CARGA TOTAL (tf)	ESTACA
PF1	39,5	→ HC Ø40
PF2	41	→ HC Ø50
PF3	40,5	→ HC Ø50
PF4	39,5	→ HC Ø40
PF5	48	→ HC Ø50
PF6	44	→ HC Ø50
PF7	44	→ HC Ø50
PF8	48	→ HC Ø50
PF9	39,5	→ HC Ø40
PF10	36	→ HC Ø40
PF11	35,5	→ HC Ø40
PF12	40	→ HC Ø40
PF13	43	→ HC Ø50
PF14	42,5	→ HC Ø50
PF15	43,5	→ HC Ø50
PF16	34	→ HC Ø40
PF17	33,5	→ HC Ø40
PF18	43,5	→ HC Ø50
PF19	43,5	→ HC Ø50
PF20	44	→ HC Ø50
PF21	48	→ HC Ø50
PF22	42	→ HC Ø50
PF23	42	→ HC Ø50
PF24	48	→ HC Ø50
PF25	51,5	→ HC Ø50
PF26	57	→ HC Ø50
PF27	57	→ HC Ø50
PF28	51,5	→ HC Ø50
PF29	48	→ HC Ø50
PF30	42	→ HC Ø50
PF31	42	→ HC Ø50
PF32	48	→ HC Ø50
PF33	44	→ HC Ø50
PF34	43,5	→ HC Ø50
PF35	43,5	→ HC Ø50
PF36	33,5	→ HC Ø40
PF37	34	→ HC Ø40
PF38	43,5	→ HC Ø50
PF39	42,5	→ HC Ø50
PF40	43	→ HC Ø50
PF41	40	→ HC Ø40
PF42	35,5	→ HC Ø40
PF43	36	→ HC Ø40
PF44	39,5	→ HC Ø40
PF45	48	→ HC Ø50
PF46	44	→ HC Ø50
PF47	44	→ HC Ø50
PF48	48	→ HC Ø50
PF49	39,5	→ HC Ø40
PF50	40,5	→ HC Ø50
PF51	41	→ HC Ø50
PF52	39,5	→ HC Ø40

MODELO 6		
PF's	CARGA TOTAL (tf)	ESTACA
PF1	45,0	→ HC Ø50
PF2	46,0	→ HC Ø50
PF3	46,0	→ HC Ø50
PF4	45,0	→ HC Ø50
PF5	71,0	→ HC Ø60
PF6	63,5	→ HC Ø50
PF7	63,5	→ HC Ø50
PF8	71,0	→ HC Ø60
PF9	36,5	→ HC Ø40
PF10	36,0	→ HC Ø40
PF11	69,5	→ HC Ø50
PF12	53,0	→ HC Ø50
PF13	52,0	→ HC Ø50
PF14	69,5	→ HC Ø50
PF15	40,0	→ HC Ø40
PF16	40,5	→ HC Ø50
PF17	67,0	→ HC Ø50
PF18	66,0	→ HC Ø50
PF19	66,0	→ HC Ø50
PF20	67,0	→ HC Ø50
PF21	67,0	→ HC Ø50
PF22	66,0	→ HC Ø50
PF23	66,0	→ HC Ø50
PF24	67,0	→ HC Ø50
PF25	40,5	→ HC Ø50
PF26	40,0	→ HC Ø40
PF27	69,5	→ HC Ø50
PF28	52,0	→ HC Ø50
PF29	53,0	→ HC Ø50
PF30	69,5	→ HC Ø50
PF31	36,0	→ HC Ø40
PF32	36,5	→ HC Ø40
PF33	71,0	→ HC Ø60
PF34	63,5	→ HC Ø50
PF35	63,5	→ HC Ø50
PF36	71,0	→ HC Ø60
PF37	45,0	→ HC Ø50
PF38	46,0	→ HC Ø50
PF39	46,0	→ HC Ø50
PF40	45,0	→ HC Ø50