UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUÍ

FELIPE EDUARDO DEMARI

ANÁLISE DE PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO PARA CARGAS MÓVEIS E ESTÁTICAS

IJUI-RS
2014

FELIPE EDUARDO DEMARI

ANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ARMADO PARA CARGAS MÓVEIS E ESTÁTICAS

Projeto de TCC apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Paulo Cesar Rodrigues

IJUI-RS
2014

FELIPE EDUARDO DEMARI

ANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ARMADO PARA CARGAS MÓVEIS E ESTÁTICAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.

Ijuí, XX de dezembro de 2014

Prof. Paulo Cesar Rodrigues - Orientador

Prof. Cristina Eliza Pozzobon

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Alberto Simoes Pires Wayhs (UNIJUÍ)

Doutor pela Universidade tal

Prof. Paulo Cesar Rodrigues

- Orientador

RESUMO

O pavimento de concreto armado teve um grande crescimento no Brasil no ano 2000, e, hoje, ele é amplamente utilizado em pavilhões industriais. Ele leva algumas vantagens se comparado com outros pavimentos, como redução de espessura do concreto, maior espaçamento entre juntas, menor gasto com preparação de sub-base, grande durabilidade, baixa manutenção, resistência a solventes e menores consumo de combustível. Mas essas vantagens não vêm sendo percebidas em pratica, já que hoje é comum encontrar piso industriais com diversas patologias, os quais, na maioria dos casos, constituem apenas de uma argamassa ou de um concreto simples sem qualquer armadura.Com isso este trabalho tem como finalidade principal realizar o dimensionamento de um piso de concreto armado, sendo que foi feito um estudo de caso em um pavilhão industrial, o qual está localizado no município de Coronel Barros-RS. As cargas sobre o pavimento podem ser cargas moveis e cargas estáticas, ambas consideradas no dimensionamento do pavimento. Os métodos de cálculos utilizado para dimensionamento do pavimento são dois, Neto (2010) e Rodrigues & Pitta (1997). Os cálculos vão ser demonstrados e calculados manualmente e assim sendo feito a escolha da armadura.

Palavras-chave: Pavimento de concreto armado. Patologias. Métodos de cálculos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Agregado Graúdo Aparente 17

Figura 2-Retração Plástica 19

Figura 3-Representação esquemática dos tempos de pega do concreto (Mindes & Young.2003) 20

Figura 4-Corpo-de-prova 15x30 22

Figura 5-Equipamento de abrasão 24

Figura 6-Fatores que afetam o desgaste do concreto 24

Figura 7-Painel de Tela Soldada 26

Figura 8-Caracteristica das Telas Soldadas 27

Figura 9-Piso industrial em concreto armado 30

Figura 10-Piso de Concreto Protendido 30

Figura 11-Piso reforçado com fibras de aço 31

Figura 12-Cmadas do Pavimento 32

Figura 13-Juntas sem dispositivo de transferência de carga 35

Figura 14-Juntas com Barras de Transferência 36

Figura 15-Encaixe do tipo macho e fêmea 36

Figura 16-Junta Serrada 37

Figura 17-Junta de expansão 38

Figura 18-Representação esquemática de empenamento 40

Figura 19-Posição do carregamento em relação às bordas 41

Figura 20-Empilhadeira 42

Figura 21-Caracterização dos carregamentos estáticos 43

Figura 22-Prateleiras..... 44

Figura 23-Planta Baixa 46

Figura 24-Numero N para veículo de eixo simples de rodagem simples 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Classes de piso em função da resistência à abrasão 23

Tabela 2-Classificação dos solos 33

Tabela 3-Diâmetro das barras de transferência 38

Tabela 4-Armadura Calculada 88

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
As	área da armadura, geralmente em cm^2/m
b	largura considera
BGTC	Brita graduada tratado com cimento
CA	Concreto Armado
CBR	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
CCR	Concreto Compactado com solo
d	espessura da placa de concreto h
E	Módulo de Elasticidade Inicial do Concreto
Fcj	resistência à compressão do concreto prevista para a idade de “j” dias
Fck	Resistência Característica do Concreto à Compressão
Fct,m	Resistência Média do Concreto à Tração
Fctk	Resistência Característica do Concreto à Tração
h	espessura da camada de concreto
JC	Junta longitudinal de Construção
JE	Junta Serradas
JS	Junta de Expansão
k	tabela 10 , coeficiente de recalque no topo do sistema
K3	coeficiente adimensional
L	é o raio de rigidez relativo da placa (em m)
m	Metros
Mk	momento atuante

MPA	Mega Pascal
N	Newton
n	Coeficiente de Poisson= 0,15 a 0,20
N	é o número de blocos determinados pela carta de influência
Pa	Pascal
Pr	carga máxima
q	é a pressão de enchimento do pneu (em Pa)
q	pressão de enchimento dos pneus

SUMARIO

INTRODUÇÃO.....13

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 15

2.1- PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO.....15

2.1.1- TRABALHABILIDADE 16

2.1.2- Exsudação 17

2.1.3- Retração plástica 18

2.1.4- Início de pega do concreto 19

2.2- Propriedades do concreto endurecido 20

2.2.1- Resistência à compressão.....20

2.2.2- Resistência à tração 22

2.2.3- Resistência à abrasão.....22

2.3- Aços para Armadura de Concreto Armado 25

3- PISO INDRUSTRIAL 28

3.1- Tipos de pisos Industrias.....28

3.1.1- Piso em Concreto Simples 28

3.1.2- Pisos em Concreto Estruturalmente Armado 29

3.1.3- Pisos em Concreto Protendido 30

3.1.4- Pisos reforçado com fibras de aço.....31

3.2- Estrutura do piso industrial 31

3.3- Camada de subleito 32

3.4- Camada da Sub-base 34

3.5- Tipos de sub-bases 34
3.6- Juntas de Dilatação 34
3.6.1- Junta Longitudinal de construção (JC) 36
3.6.2- Juntas Serradas (JS) 37
3.6.3- Junta de Expansão (JE) 37
3.7- Barras de transferência 38
4- METODOLOGIA 39
4.1- Cargas Móveis 40
4.2- Cargas Estáticas 42
4.2.1- Cargas uniformemente distribuídas 43
4.2.2- Cargas Pontuais 44
4.3- Estudo de caso 44
4.4- Dimensionamento de acordo com Neto 2013, Carga Móvel: AM1 47
4.4.1- Concreto 47
4.4.2- Aço 48
4.4.3- Solo 48
4.4.4- Geometria do pavimento 48
4.4.5- Característica do veiculo 48
4.4.6- Método Cartas de influência de Picket e Ray 49
4.4.7- Método de Meyerhof 53
4.4.8- Método de Anders Losberg (1961) 56
4.4.9- Método de Palmgren-Miner 57
4.4.10- Dimensionamento da placa de concreto 58
4.5- Dimensionamento segundo Rodrigues & Pitta (1997), Carga Móvel: AM162
4.6- Dimensionamento de acordo com Neto 2013, Carga Móvel: AM2 67
4.6.1- Característica do veículo 67

4.6.2- Cartas de influência de Picket e Ray 67
4.6.3- Método de Meyerhof 68
4.6.4- Método de Anders Losberg (1961) 69
4.6.5- Método de Palmgren-Mines 69
4.6.6- Dimensionamento da placa de concreto 70
4.7- Dimensionamento segundo Rodrigues & Pitta (1997), Carga Móvel: AM272
4.8- Dimensionamento de acordo com Neto 2013, Carga Móvel: AM3 74
4.8.1- Característica do veículo 74
4.8.2- Cartas de influência de Picket e Ray 75
4.8.3- Método de Meyerhof 76
4.8.4- Método de Anders Losberg (1961) 76
4.8.5- Método de Palmgren-Mines 77
4.8.6- Dimensionamento da placa de concreto 77
4.9- Dimensionamento segundo Rodrigues & Pitta (1997), Carga Móvel: AM380
4.10- Dimensionamento de acordo com Neto (2013), Carga Móvel: AM4 82
4.10.1- Geometrias e cargas de estante aplicadas sobre o pavimento 82
4.11- Dimensionamento de acordo com Neto (2013), Carga Móvel: AM5 85
4.11.1- Geometrias e cargas de estante aplicadas sobre o pavimento 85
4.12- Apresentação e Análise dos resultados obtidos 88
5- CONSIDERAÇÕES FINAIS 90
5.1- Conclusões 90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 92
Anexo I-Cartas de Influência nº 2 95
Anexo II-Cartas de Influência nº 6 97
Anexo III-Valores de K3 100
Anexo IV –Tela Soldada Nervurada Gerdau 101

INTRODUÇÃO

As transformações são constantes no mundo que vivemos e as necessidades modificam em função do surgimento de novas tecnologias, da melhor busca relação/custo benefício. Quando se trata de pavimentos industriais a preocupação com custo, desempenho e durabilidade ficam em primeiro plano.

No caso de pisos industriais, dentre as diversas soluções há os pisos em concreto: simples sem armaduras, simples com armadura descontinua de retração, estruturalmente armado, protendidos e reforçados com fibras.

No presente trabalho, será apresentado o pavimento de concreto estruturalmente armado, e suas vantagens próprias, como redução de espessura do concreto, maior espaçamento entre juntas, menor gasto com preparação de sub-base, grande durabilidade, baixa manutenção, resistência a solventes e menores consumo de combustível. Estas características dão-lhe extraordinária competitividade quando comparados com outros tipos de pavimentos rígidos e com o pavimento flexível.

Para pisos industriais, o concreto é de suma importância: ele edita totalmente a qualidade de um piso. Todavia este não é o principal problema em relação à temática, pois o que levou o desenvolvimento deste trabalho é a carência de profissionais nesta área, sendo comum hoje encontrarmos pisos industriais com diversas patologias. Muitas vezes, os pisos constituem apenas de uma argamassa ou de um concreto simples sem qualquer armadura.

Encontram-se pisos que possuem armadura e mesmo assim possuem muitas patologias, seja devido à qualidade do concreto, mão de obra sem qualificação, ao fato de a

armadura utilizada não ser dimensionada, ou “dimensionada” de acordo com a experiência profissional do responsável pela execução.

Ao decorrer deste trabalho, apresenta-se o dimensionamento de um pavimento industrial sendo divido por capítulos, nos primeiros capítulos será apresentado uma revisão bibliográfica. O capitulo 4 apresenta os tipos de cargas que submetem esforços ao pavimento, as cargas podem ser distribuídas e pontuais (cargas na borda, no canto ou no interior das placas) ou móveis (rodas de veículos ou de máquinas empilhadeiras).

E em seguida será apresentado um estudo de caso, dimensionando um piso de concreto estruturalmente armado para um pavilhão industrial, sendo que para a determinação das cargas, foi levado em consideração alguns dados fornecidos pelo cliente, estas são cargas distribuídas, pontuais e cargas moveis.

As cargas moveis podem ser desde pequenos equipamentos de movimentação de carga, até grandes movimentações de contêineres, os métodos de cálculos apresentados são: Neto 2013, e Rodrigues & Pitta 1997.

O método de cálculo apresentado para cargas distribuídas e pontuais é o de Neto 2013, aonde que para o dimensionamento das mesmas o que muda é área de contato da carga com piso de concreto estruturalmente armado.

O pavilhão industrial está localizado no Município de Coronel Barros-RS, aonde possui uma fábrica de paneis de LED com uma área de produção de 1440,00 m².

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto edita a qualidade final do piso e pode comprometer a eficiência do projeto ou mesmo de execução se não for apropriado, ou seja, seria impossível falar sobre dimensionamento de piso industrial ou pavimento rígido sem abordar aspectos de tecnologia do concreto (RODRIGUES, 2010).

Quando dimensiona um piso alguns fatores como traço, a granulometria dos agregados, o teor de argamassa, devem ser levados em consideração. Em relação a espessura, um piso deve ser dimensionado de acordo com o tipo de carga que será imposta, no entanto, recomenda-se que espessura mínima seja de 10 cm. A espessura do piso deve ter três a quatro vezes o diâmetro do agregado máximo. Quando o dimensionamento do piso é realizado segundo as normas europeias existe uma limitação em relação a dimensão máxima da brita, sendo recomendada a dimensão máxima de 32 mm (GUIMARÃES, 2010).

Rodrigues (2010) ressalta que o concreto para pisos é obtido pela dosagem adequada dos materiais disponíveis na região, sendo de maneira homogênea um material onde pode ser adequadamente lançado, adensado e acabado com os equipamentos usualmente empregados na confecção, réguas vibratórias, vibradores de imersão, rodo de corte, acabadores mecânicas, entre outros.

2.1- PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Bauer (2000) afirma que o concreto fresco é constituído por agregados miúdos e graúdos, onde são envolvidos por uma pasta de cimento possuindo espaços cheios de ar. Os espaços cheios de ar são modernamente chamados de matriz, e a pasta, é composta, essencialmente de uma solução aquosa e grãos de cimento.

Após ser adicionada a água, o concreto apresenta variações expressivas de suas propriedades. No início, logo após a mistura de seus componentes, apresentam

comportamento de fluido viscoso, permanecendo assim por determinado período, que depende da cinética química do cimento, da temperatura ambiente, de seus aditivos etc. (RODRIGUES 2010).

Assim a primeira fase da vida do concreto leva poucas horas, pode ser observado nitidamente o aumento de viscosidade, mesmo quando aparentemente não se observa mudanças em sua desidratação. O comportamento do concreto em idades mais avançadas pode influenciar muito seu desempenho. (RODRIGUES, 2010).

2.1.1- TRABALHABILIDADE

A trabalhabilidade é definida como o a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco, como perda mínima de homogeneidade (BAUER, 2000).

O concreto para pisos necessita de teor de argamassa e materiais finos que possibilitem o seu acabamento na forma lisa, sendo mais usual em pavimentos industriais (RODRIGUES, 2010).

O teor de argamassa é tomado no estado seco, sendo a razão em massa entre os materiais que passam pela peneira 4,8 mm (cimento e areia), pela soma total dos materiais secos (cimento, areia e brita) (RODRIGUES 2010).

$$AR = \frac{cimento + areia}{cimento + areia + brita} X\ 100$$

Esse teor está entre 49% a 52%, mas pode variar em função da granulometria da areia- por exemplo, areias muitos finas levam a teores de argamassa mais elevados (RODRIGUES 2010).

O teor de argamassa deve ser de tal forma que preencha os vazios do agregado graúdo e superficialmente desenvolva uma camada que seja capaz de cobrir os agregados, com espessura que não seja possível enxergá-los após o acabamento. Com teores muitos baixos são possíveis de ver manchas sobre as partículas maiores (figura 1). (RODRIGUES, 2010).

Figura 1-Agregado Graúdo Aparente

Fonte: Rodrigues(2010)

2.1.2- Exsudação

Segundo Bauer (2000), a exsudação é uma forma particular da segregação, em que a parte da água misturada tende a ascender a superfície de um concreto recém-lançado. Esse feito se deve ao fato de que os constituintes sólidos da mistura serem incapazes de reter água quando tendem a descer, pois, a água apresenta menor massa especifica da mistura.

Quando o topo de camada de concreto torna-se muito úmido a água for impedida de evaporar pela camada que é superposta, poderá resultar em uma camada de concreto poroso, fraco e de pouca durabilidade (Bauer, 2000).

No piso industrial, o fenômeno é particularmente prejudicial, por aumentar a porosidade superficial em razão do incremento da relação água/cimento, que reduz a resistência à abrasão (RODRIGUES, 2010).

Nota-se que o controle está ligado às técnicas de dosagem com curva granulométrica dos agregados, ajuste de materiais finos e o controle no uso de aditivos, pois, estes como frequência acabam por aumentar a exsudação, aonde para pisos os valores da exsudação deve ser inferior a 4% (RODRIGUES, 2010).

O aumento da exsudação pode ser influenciado por condições ambientais, sendo que em temperaturas mais baixas, a pega do concreto é retardada, havendo mais tempo para que ela ocorra, da mesma maneira atuam os aditivos retardadores de pega (RODRIGUES 2010).

2.1.3- Retração plástica

> A retração plástica ocorre muito precocemente, quando a taxa de exsudação é inferior à evaporação da água do concreto, o que promove uma dissecação na camada superior do pavimento, cuja profundidade vai depender das condições atmosféricas e das características do concreto, como relação água/cimento, teor de cimento e principalmente das condições de evaporação. Em ambientes com baixa umidade relativa do ar e incidência de ventos, as misturas ricas em cimento estão mais sujeitas à retração plástica, acompanhada das tradicionais fissuras curtas, que surgem em grupos paralelos entre si. (RODRIGUES, 2010).

Segundo Rodrigues (2010) as fissuras são causadas pela sucção da água nos poros, gerada inicialmente pela secagem dos poros, mas que também é influenciada pelo processo de hidratação, que promove aumento na rigidez do sistema e reduz sua mobilidade. Normalmente, elas apresentam abertura que podem chegar a milímetros (figura 2).

Morris & Dux (2006), afirmam que as dimensões das fissuras podem evoluir, dependendo da magnitude e da direção dos esforços presentes no pavimento.

Figura 2-Retração Plástica

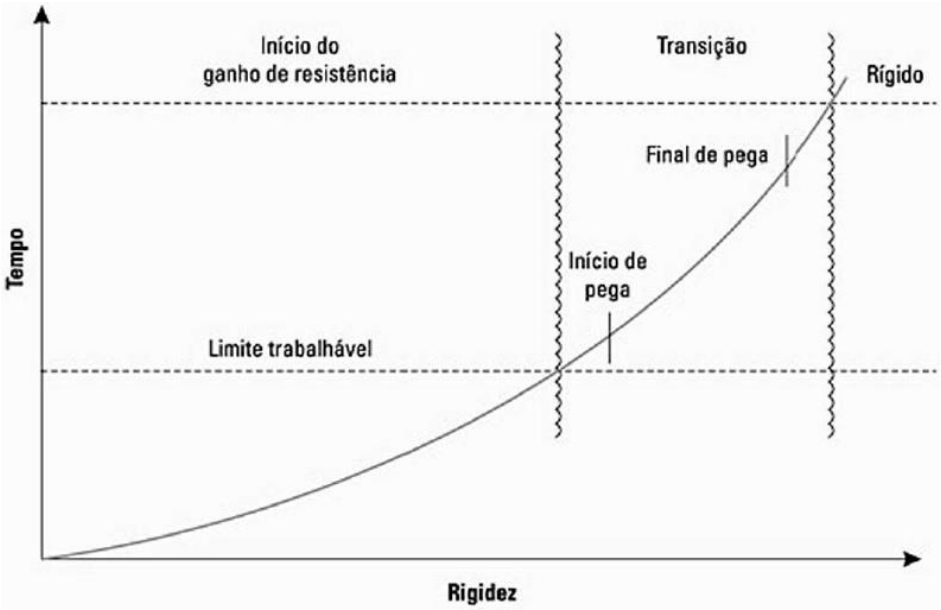
Fonte: Rodrigues(2010)

2.1.4- Início de pega do concreto

Início de pega indica a passagem do concreto do estado plástico para o rígido, em que sua forma não pode ser mais trabalhada e é função das reações químicas entre o cimento e a água (RODRIGUES 2010).

De acordo com o autor citado anteriormente, quando o cimento entra em contato com a água, iniciam-se as reações de hidratação cuja velocidade vai variar. Com o passar do tempo a hidratação avança e ocorre o início de pega. (Figura 3)

Figura 3-Representação esquemática dos tempos de pega do concreto



Fonte: Rodrigues (2010)

2.2- Propriedades do concreto endurecido

A partir do início da pega, o concreto é considerado um sólido, sendo um material em perpetua evolução. Suas reações são geralmente lentas, onde em condições ambientais possui grande sensibilidade, físicas, químicas e mecânicas (Bauer 2000).

Segundo Rodrigues (2010), no piso industrial a resistência à compressão do concreto e o módulo de elasticidade, não tem a mesma importância que em estruturas. Para pisos outras características podem definir o desempenho e a durabilidade da obra de modo mais marcante, como a variação volumétrica, e retração do concreto.

2.2.1- Resistência à compressão

Mehta & Monteiro (1994) definem a resistência de um material como a capacidade deste resistir à tensão sem ruptura. No concreto, portanto, a resistência é relacionada com a tensão requerida para causar a fratura e é sinônimo do grau de ruptura no qual a tensão aplicada alcança seu valor máximo.

A resistência à compressão axial é uma das propriedades mais analisadas do concreto, sendo este o parâmetro utilizado para controlar a sua qualidade. Segundo Helene & Terzian

(1992), a propriedade do concreto que melhor o qualifica é a resistência à compressão, desde que sua dosagem e preparação tenham sido levadas em conta, também os aspectos de trabalhabilidade e durabilidade, optando-se por determinada curva granulométrica, tipo e classe de cimento e relação água/cimento e, consequentemente resultando certa resistência à compressão. Qualquer modificação na uniformidade, natureza e proporcionalmente dos materiais poderá ser indicada por uma variação na resistência.

A resistência do concreto se dá em função do processo de hidratação do cimento, o qual é relativamente lento, tradicionalmente as especificações e ensaios de resistência do concreto são baseados em corpos de prova curados em condições específicas de temperatura e umidade por um período de 28 dias (HELENE & TERZIAN, 1992).

Segundo Mehta & Monteiro (1994), a resistência varia de acordo com os parâmetros do corpo de prova (dimensões, geometrias e estado de umidade), parâmetros de carregamento (tipo de tensão e velocidade de aplicação da tensão), e resistência das faces componentes, que depende da porosidade da matriz (relação água/cimento, aditivos minerais, grau de hidratação e teor de ar aprisionado e incorporado), porosidade do agregado, e porosidade da zona de transição (em função da relação água/cimento, aditivos minerais, características de exsudação, grau de compactação, grau de hidratação e a interação química entre agregado e pasta de cimento).

De acordo com a NBR 5738/2007, o método mais indicado para determinar a resistência à compressão do concreto (fcj) é o ensaio de curta duração de ruptura de corpos-de-prova cilíndricos moldados. O procedimento para a moldagem dos corpos-de-prova devem seguir as recomendações da NBR 5739/2007. (Figura 4)

No Brasil existem dois tipos de moldagem de corpo-de-prova, 10x20 e 15x30, onde o mais utilizado é o 15x30, sendo 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e tem como idade de referência para o rompimento 28 dias, idade na qual se pressupõe que a estrutura deverá entrar em carga (NBR 5738/2007).

Figura 4-Corpo-de-prova 15x30

Fonte: Geoforma (2014)

2.2.2- Resistência à tração

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência à tração do concreto pode ser determinada em três ensaios diferentes: ensaios de tração direta, ensaio de tração na flexão ou ensaio tração indireta. O ensaio de tração por compressão diametral superestima a resistência à tração do concreto na ordem de 10 a 15 % em comparação com a tração direta.

Neto (2013) afirma que existe uma série de fatores que determinam a resistência à tração do concreto, como o tipo de agregado (textura, forma e tamanho), onde quanto maior o volume de agregado graúdo por m³ de concreto no traço, menor a resistência à tração.

2.2.3- Resistência à abrasão

Segundo Bauer (2000), a resistência à abrasão é uma característica importante para sub-bases, onde é analisado o desgaste superficial causado por movimentação de cargas, a

utilização de agregados de maior tamanho e mais duros diminui o desgaste, uma pasta de cimento com melhor qualidade contribui na mesma direção. O acabamento superficial em concreto endurecido é mais apropriadamente conseguido por polimento do que por alisamento a colher de concreto.

Rodrigues (2010) cita que, para pisos essa propriedade é fundamental, em primeiro lugar é a resistência do concreto, na qual a relação água/cimento é indicada que se situe abaixo de 0,55. Seguindo essa linha de raciocínio, os concretos com excesso de exsudação apresentam menor resistência à abrasão, assim como os agregados do concreto apresentam um papel secundário, principalmente porque as areias brasileiras são rica em quartzo, mineral bastante resistente mecanicamente. A resistência à abrasão do concreto apresenta os níveis de degaste na tabela 1. (RODRIGUES, 2010).

A resistência à abrasão do concreto é empregada por uma norma inglesa BS-8204-2(BS, 2003), que representa níveis de desempenho em função da utilização (tabela 1).

Tabela 1- Classes de piso em função da resistência à abrasão

Classe BS 8204	Utilização	Tipo de concreto	Máximo desgaste
Especial	Severa	Misturas especiais e resinas	0,05 mm
AR 1	Abrasão muito elevada	Revestimento de alto desempenho	0,1 mm
AR2	Abrasão elevada	Concreto desempenado liso	0,2 mm
AR3	Abrasão moderada	Concreto desempenado liso	0,4 mm

Fonte: Rodrigues (2010)

No ensaio de resistencia abrasão é possível medir simultaneamente as condições executivas e o desempenho dos materiais, pois pode ser feito diretamente sobre o piso executado (figura 5) (Rodrigues 2010).

Figura 5- Equipamento de abrasão

Fonte: Rodrigues (2010)

A figura 6 representa de maneira sistemática o efeito das ações executivas na resistência ao desgaste.

Figura 6- Fatores que afetam o desgaste do concreto

Ação	Efeito
Acabamento desempenado	O acabamento desempenado, principalmente o liso, é um fator significativo ro aumento da resistência à abrasão, mas repetições excessivas podem não levar a incremertos sucessivos.
Cura	Cura inicial eficiente é essencial para manter as condições de hidratação superficial e conservar a superfície com baixa porosidade e é decisiva para o incremento da propriedade.
Consumo de cimento	Deve ser superior a 325g/m³. Consumos superiores a 360 kg/m³ não são efetivos no aumento da resistência à abrasão.
Agregados	Os graúdos pouco influem na propriedade, exceto em pisos com ambiente agressivo. Os agregados graúdos e miúdos, principalmente, não devem conter partículas friáveis.
Aspersões (*dry shakes*)	As classes *Especial* e *AR1* (Tabela 4.1) devem ser obtidos com aspersões de alto desempenho, enquanto a *AR-2* pode ser conseguida com o concreto bem controlado.

Fonte: Rodrigues (2010)

2.3- Aços para Armadura de Concreto Armado

A norma NBR 7490/1996 classifica os aços como barras de diâmetro nominal 5,00 mm ou superior, os obtidos exclusivamente por laminação a quente, os obtidos por trefilação são classificado com os fios e de diâmetro nominal 10,00 mm ou inferior.

Segundo a NBR 6118/03, as barras de aços são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50 e os fios CA-60, as superfícies podem ser nervuradas ou lisas, sendo considerado os seguintes valores pra os aços:

Massa específica: 7.850 Kg/m³;

Coeficiente de dilatação térmica: 0,0005ºC para intervalos de temperatura entre -20ºC e 150ºC;

Módulo de elasticidade: 210 GPa ou 210.000 MPa.

A NBR 7480/1196, fornece um coeficiente numérico chamado de "coeficiente de conformação superficial", aonde serve como medida da rugosidade da superfície dos aços.

Ela padroniza os seguintes diâmetros:

Barras: 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 22,0; 25,0; 32,0 e 40,0;

Fios: 2,4; 3,4; 3,8; 4,2; 4,6; 5,0; 5,5; 6,0; 6,4; 7,0; 8,0; 9,5; e 10,00

Os vergalhões são fornecidos pela empresa Gerdau, nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60, as barras comercializadas são barras retas com comprimento de 12 m, em barras dobradas em rolos (nos diâmetros até 12,5). Os vergalhões CA-25 e a CA-50 são fabricados segundo os diâmetros: 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32 e 40, já os vergalhões CA-60, 2, 4, 5, 6, 7, 8.

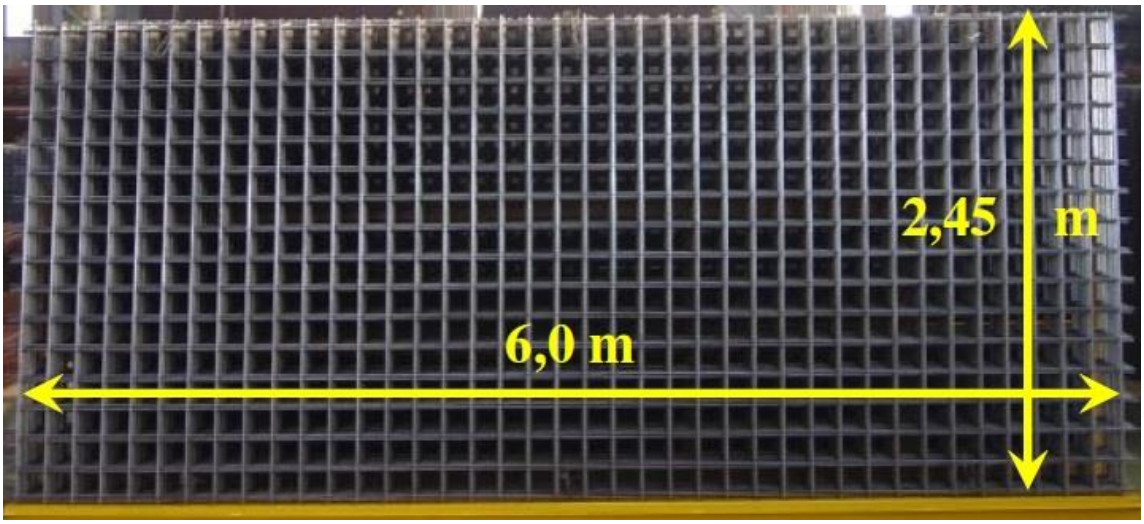
Para Pisos ou Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados, as barras de aço CA-50 ou CA-60 podem ser utilizadas em aço solto ou em painéis de telas soldadas. As telas

soldadas apresentam inúmeras vantagens sobre o aço em barra de maneira que em nenhuma situação se relata a utilização do aço em barra. (CAMPOS 2009).

Segundo Campos (2009), os Pisos ou Pavimentos utilizam a tela painel devido à praticidade em executar grandes áreas de uma só vez. Os paneis de telas soldada apresentam uma medida padrão de 2,45 m por 6,00 m equivalendo uma área de 14,70 m² (Figura 7).O tempo para dois armadores instalar essa área de armadura é aproximadamente 2 min considerando o transporte delas do local de estoque ao local do seu posicionamento no piso em que haja necessidade de amarração no cruzamento dos fios e também sem necessidade de verificação dos espaçamentos entre eles (figura 8), sendo que as telas soladas possuem um ponto de solda do tipo eletrofusão em cada ponto de encontro dos fios que a constituem.

As armaduras devem obedecer os valores mínimos estabelecidos pela norma NBR 6118/2001, sendo que devem obedecer um afastamento da superfície correspondente com os valores mínimos estabelecidos pela norma.

Figura 7-Painel de Tela Soldada



Fonte: Própria (2014)

Figura 8-Caracteristica das Telas Soldadas

Fonte: Própria (2014)

3- Piso Industrial

Quando se projeta um piso industrial uma seria de quesitos devem ser levados em consideração, como o desempenho estrutural, a estética, a durabilidade e a questão econômica. Devido ao fato da construção civil estar cada vez mais exigente novos materiais e tecnologias estão, constantemente, sendo desenvolvidos, porém, nos últimos anos, engenheiros e técnicos têm avaliado que cada vez mais crescem as patologias em pisos industrias (CHODOUNKY; VICIELI,2007; FORTES et al.2008).

O piso industrial é um dos componentes mais importantes de uma instalação industrial, em qualquer área de produção ou logística. Frequentemente são encontradas muitas desagregação superficial em relação a outros estruturais, por isso se deve ter cuidado com os critérios de dimensionamento utilizados (CHODOUNKY & VICILLI 2007).

De acordo com Guimarães (2010), no início da construção de pisos, no Brasil, o preceito mais utilizado era o sistema de damas que se caracteriza por pequenas placas de concreto. Esse sistema implica em um grande número de patologias. Com o passar dos anos e as tecnologias tiveram uma evolução exponencial gerando mudança nas dimensões, diminuindo a espessuras das placas e elevando sua área.

3.1- Tipos de pisos Industrias

Os pisos industrias podem ser divididos em algumas categorias. Segundo os autores abaixo, são descritas as mais importantes:

3.1.1- Piso em Concreto Simples

Segundo Pitta (1989), é um sistema de pavimentação no qual os esforços atuantes (tração/compressão) são resistidos apenas pelo concreto, sem presença de armadura. Com sua baixa resistividade para esforços de tração, resultasse em pavimentos com espessura elevada.

Os pavimentos são composto por placas de concreto de pequenas dimensões apoiadas sobre a fundação ou subleito reforçado, sendo que as áreas pavimentadas recebem juntas serradas ou moldadas na concretagem para indução de fissuração em pontos específicos, combatendo a retração, dilatação térmica e empenamento das placas. (CRISTELLI 2010).

Chodounky & Viecili (2007) comenta que os pavimentos em concreto simples podem possuir, ou não, barras de transferência e armaduras em algumas placas, eventualmente

exigidas pelo projeto para controle de fissuração por retração ou devido ao formato irregular da placa. Essas placas, em que se utilizam barras de transferência, possuem uma espessura maior do que as que não utilizam.

De acordo com Oliveira (2000), para evitar patologia nas áreas das juntas é utilizado barras de transferência entre as placas concretadas e não descaracteriza o pavimento como um sistema de concreto simples, pois as barras de aço não trabalham como armadura, sendo apenas utilizadas para transferir os esforços entre as placas.

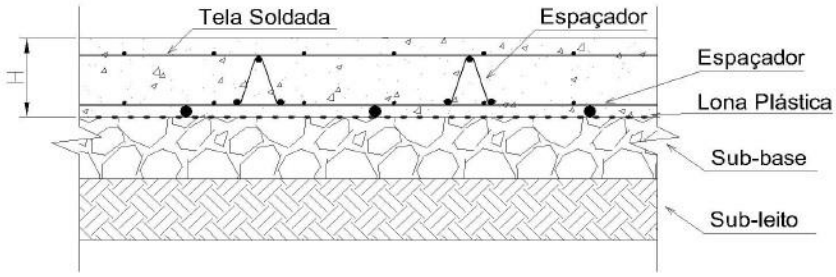
Para o dimensionamento da espessura dos pavimentos de concreto simples apresentam limitações graves, por exemplo, a impossibilidade de consideração da contribuição estrutural de bases cimentadas aderidas ou não, bem como os efeitos de gradientes térmicos sobre estas placas de concreto (CRISTELLI, 2010).

3.1.2- Pisos em Concreto Estruturalmente Armado

Para este tipo de piso os esforços são divididos, isto é, o concreto absorve os esforços de compressão e os esforços de tração são absorvidos pela armadura. No dimensionamento deste piso devem-se considerar dois tipos de armaduras: a negativa, que tem como função combater a retração, e a positiva, que visa resistir aos esforços de tração. Este tipo de dimensionamento possibilita dimensionar placas com grandes dimensões (GUIMARÃES 2010 apud CHODOUNKY; VIECILI, 2007).

Se compararmos aos pavimentos de concreto simples, os de concreto armado apresentam grandes vantagens, como maior comprimento das placas em média 15 metros de comprimento e de 14 a 16 centímetros de espessura, grande durabilidade, redução do número de juntas e pouca necessidade de manutenção. (OLIVEIRA, 2000). (Figura 9)

Figura 9-Piso industrial em concreto armado



Fonte: Guimarães (2010)

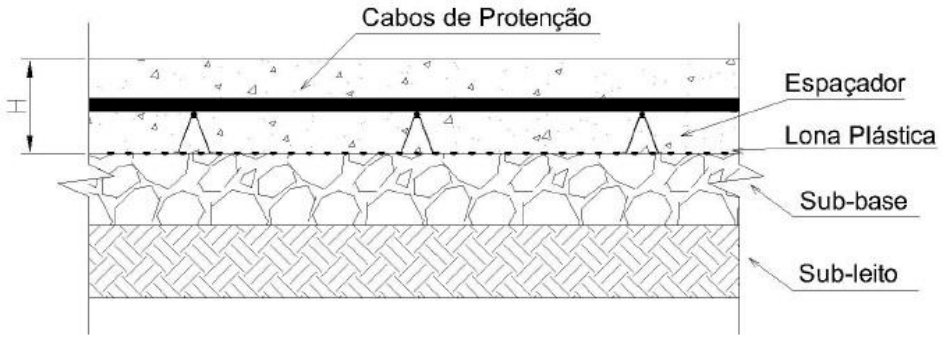
3.1.3- Pisos em Concreto Protendido

De acordo com Pitta (1988), a pretensão é um artificio que consiste de introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões, de modo a melhorar a resistência ou o comportamento do concreto sob o efeito de diversas condições de carga.

A resistência do concreto a tração neste tipo de sistema de piso é controlada pela protensão, que gera cargas de compressão horizontais nas placas de concreto, aumentando suas resistência e reduzindo sua espessura, através disso a placa comprimida apresenta baixos índice de permeabilidade e menor susceptibilidade a ocorrência de trincas e fissuras. (CRISTELLI, 2010).

De acordo com Guimarães (2010) a espessura do piso pode ser bastante reduzida, tendo tamanho de até 90 mm. Há recomendações de se dimensionar um piso protendido para que este obtenha 65% da espessura de um piso em concreto convencional. (Figura 10)

Figura 10-Piso de Concreto Protendido



Fonte: Guimarães (2010)

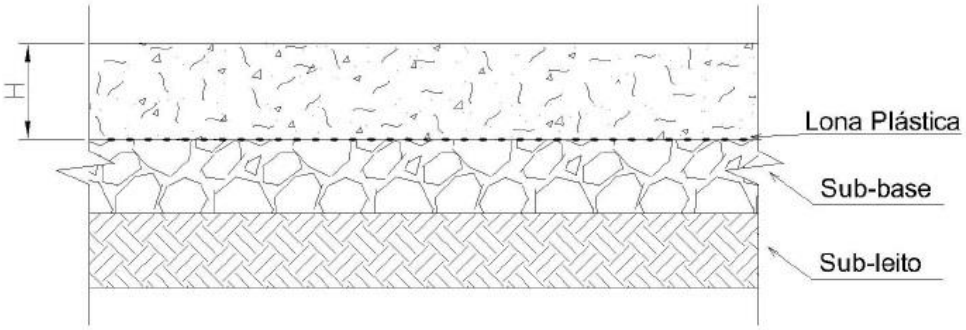
3.1.4- Pisos reforçado com fibras de aço

No Brasil esta tecnologia chegou a partir da década de 1990, promovendo um grande avanço na engenharia de pavimentação industrial, e permitindo aperfeiçoamento de técnicas de dimensionamento baseadas na escola européia. (RODRIGUES 2006)

Na construção civil adição de fibras em concreto vem sendo cada vez mais empregadas, do mesmo modo isso vem ocorrendo para pisos industriais. (GUIMARÃES 2010).

Em relação aos comprimento das fibras que podem ser utilizadas em pavimentos de concreto, não há restrições contra seu comprimento, ao contrário com o que acontece com outros elementos estruturais, pois não existem grandes restrições em relação aos agregados (FIGUEIREDO, 2000). (Figura 11)

Figura 11-Piso reforçado com fibras de aço



Fonte: Guimarães (2010)

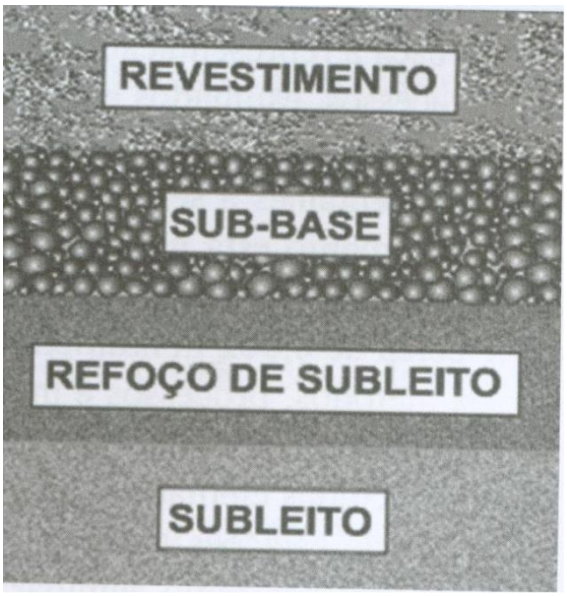
3.2- Estrutura do piso industrial

De acordo com Neto (2013), um pavimento estrutural normal é constituído pelas seguintes camadas: Revestimento, Base, Sub-Base, Reforço de subleito e subleito.

Quando as placas de concreto armado são devidamente dimensionadas, detém dupla função de uma camada de revestimento de base, as cargas que não são absorvidas transferem

para as camadas inferiores de: subleito, reforço de subleito e sub-base (NETO, 2013). (Figura 12)

Figura 12-Cmadas do Pavimento



Fonte: Neto (2013)

Devido à grande capacidade de receber esforços com cargas elevadas, o pavimento rígido de concreto armado pode ter uma estrutura com um número menor de camadas inferiores, mas isso é possível quando o subleito apresenta boas condições de suporte, a camada de reforço de subleito pode ser comprimida e, neste tipo de caso ficamos apenas com as camadas de revestimento, sub-base e subleito (NETO, 2013).

3.3- Camada de subleito

De acordo com Cristelli (2010), o subleito é a camada de fundação da maioria dos pisos industrias, tem a função de absorver esforços dos carregamentos transmitidos pelas placas de concreto, sendo de fundamental importância o estudo do solo para que, a partir de análises detalhadas e interpretações das informações geotécnicas, o projeto do pavimento possa ser elaborado com um nível de segurança.

Segundo Rodrigues (2010), a presença de sub-base granular vai promover um aumento no coeficiente de recalque, denominado Ks, que será função da espessura da sub-base e do coeficiente de recalque do solo.(Tabela 2)

Tabela 2-Classificação dos solos

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (*MPa/m*), para espessura de sub-base igual a (*cm*)			
CBR %	k (*MPa/m*)	10	15	20	30
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	72	79	96

Fonte: Manual de Pavimentação - DNIT, 2006, p.58

3.4- Camada da Sub-base

De acordo com Rodrigues (2010), as sub-bases apresentam algumas funções que vão ser citadas abaixo, algumas conhecidas e outras poucas exploradas. As seguintes funções são:

● Homogeneização nas condições de apoio: o solo apresenta características mecânicas variadas na superfície do subleito e a sub-base. A função mais importante é uniformizar o suporte de modo que se tenha coeficiente de recalque do sistema praticamente constante ou o mais constante possível;

● Controlar solos expansivos: a movimentação dos solos expansivos acaba se reduzindo por sua ação física do seu próprio peso;

● Impedir a umidade ascendente: o bloqueio da camada ascendente que ocorre por movimentação da água nos solos capilares;

● Drenagem: Para evitar que o acúmulo de água sob o pavimento venha causar danos ao subleito em áreas abertas, a sub-base pode funcionar como drenante. (RODRIGUES 2010)

3.5- Tipos de sub-bases

De acordo com Pitta (1998), para pavimentos rígidos a sub-base pode ser dividida em dois grupos, sub-bases granular e sub-bases cimentadas. A camada de sub-bases granular pode ser do tipo de granulometria aberta ou fechada, sendo esta última a mais usual em pisos industriais, quanto às cimentadas, as mais comuns são o solo melhorado com cimento, brita graduada tratada com cimento (BGTC) e concreto com rolo (CCR).

Rodrigues (2010), ainda cita mais um grupo de sub-base com solo tratado ou solo melhorado com cimento, são sub-bases aonde se emprega o próprio solo local, de modo que aumenta a capacidade de suporte do material e aumento de rigidez.

3.6- Juntas de Dilatação

Rodrigues (2006) afirma que a função básica das juntas é permitir as movimentações de contratação a expansão do concreto, permitindo a adequada transferência de carga entre as placas contiguas e garantindo o conforto do rolamento.

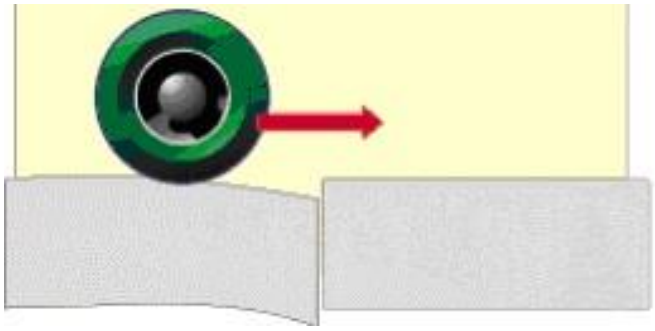
Segundo Pinheiro (2000), a função das juntas, nos pavimentos de concreto, é promover a fissuração com geometria pré-definida a fim de garantir o funcionamento estrutural previsto e manter o nível estético do pavimento.

De acordo com Junior & Junior (2006), a junta de dilatação está entre os dispositivos construtivos, sendo um detalhe que permitir a movimentação de retração e dilatação do concreto e a adequada transferência de carga entre placas contiguas, assegurando a qualidade e o conforto do rolamento.

Podemos observar na figura 13, quando o carregamento se aproxima da borda, provoca uma deformação natural da placa de concreto do pavimento, sendo proporcional a magnitude da carga, modulo de elasticidade dos materiais, condições de suporte da placa e espessura da placa. (JUNIOR & JUNIOR 2006)

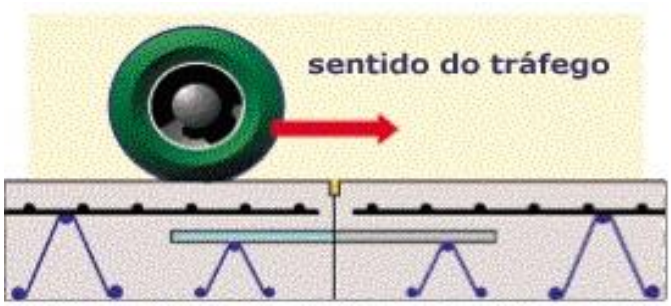
Na figura 14, quando a adequada transferência de carga através de um dispositivo devidamente dimensionado, preparada e dimensionada, obtém uma durabilidade do piso de concreto armado.

Figura 13-Juntas sem dispositivo de transferência de carga



Fonte: Rodrigues & Gasparetto (1999)

Figura 14-Juntas com Barras de Transferência



Fonte: Rodrigues & Gasparetto (1999)

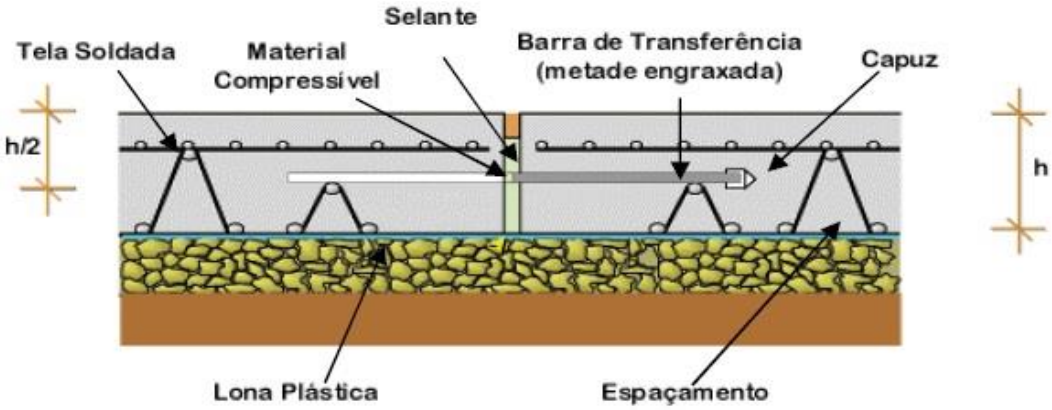
3.6.1- Junta Longitudinal de Construção (JC)

Essa junta permite a transferência de carregamentos verticais entre placas através de barras de transferência e permite a movimentação horizontal do piso. Está localizada entre duas faixas de concretagem. (JUNIOR & JUNIOR 2006).

De acordo com Rodrigues (2010), as juntas de construção são mais frágeis, devido à grande concentração de argamassa que apresentam em suas bordas, e exigem obrigatoriamente o emprego de reforço de borda, quando há tráfego de empilhadeiras de rodas rígidas.

Ainda Rodrigues (2010) comenta que as bordas das juntas serradas são de resistência bem maior que as de construção longitudinal e normalmente dispensam o tratamento de borda.

Figura 15-Encaixe do tipo macho e fêmea



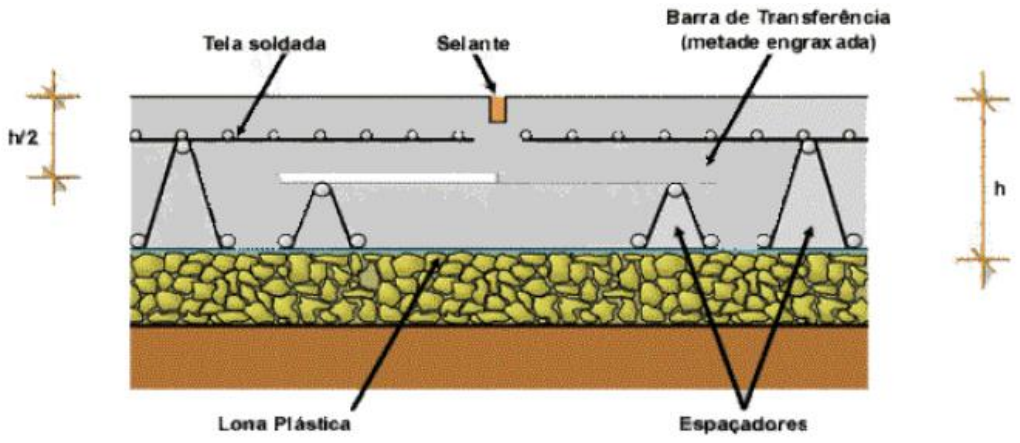
Fonte: Rodrigues & Gasparetto (1999)

3.6.2- Juntas Serradas (JS)

Segundo Baptista (1976), as juntas devem ser serradas num tempo que se evite a formação de trincas, porém não logo após a distribuição e compactação do concreto para evitar problemas de danificar a superfície da laje de concreto pela ação da máquina de serras.

As juntas serradas tem seu espaçamento de acordo com o método de dimensionamento, quantidade e tipo de reforço, retração potencial do concreto, fricção da placa com a sub-base etc. Elas são feitas por meio de corte com serras diamantadas, algumas horas após a pega do concreto, geralmente 1 a 18 horas após o lançamento (RODRIGUES 2010).

Figura 16-Junta Serrada

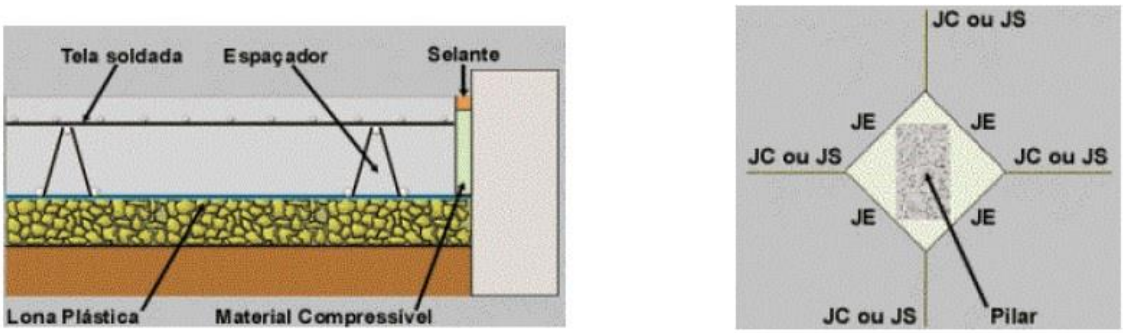


Fonte: RODRIGUES & GASPARETTO (1999)

3.6.3- Junta de Expansão (JE)

De acordo com Junior & Junior 2006, são utilizadas onde houver encontro do piso com outros elementos estruturais como vigas de baldrames, bases de máquinas, blocos de concreto e alvenaria. Esse tipo de junta em piso industrial é mais frequente em pilares ou pequenas aberturas nos pisos, o que se pode observar na figura 17.

Figura 17-Junta de expansão



Fonte: Rodrigues & Gasparetto (1999)

3.7- Barras de transferência

Rodrigues (2010) afirma que as barras de transferência para o piso industrial são barras de aço liso, de seção circular ou quadrada, sendo os antigos sistemas do tipo macho e fêmea, n

Ainda de acordo com Rodrigues (2010), para garantir a durabilidade do pavimento, deve ser feito o emprego de mecanismos de transferência de carga, tanto nas juntas longitudinais como nas transversais. Para as barras de transferência, deve-se empregar diâmetro igual ou superior a 16 mm, conforme a tabela 6.

Tabela 3-Diâmetro das barras de transferência

Espessura do Pavimento H(cm)	Diâmetro das Barras (mm)	Comprimento das barras (cm)	Espaçamento (cm)
$H \leq 12,5$	16	40	30
$12,5 < H \leq 15,0$	20	40	30
$15,0 < H \leq 20,0$	25	46	30
$H > 20,0$	32	46	30

Fonte: Rodrigues (2010)

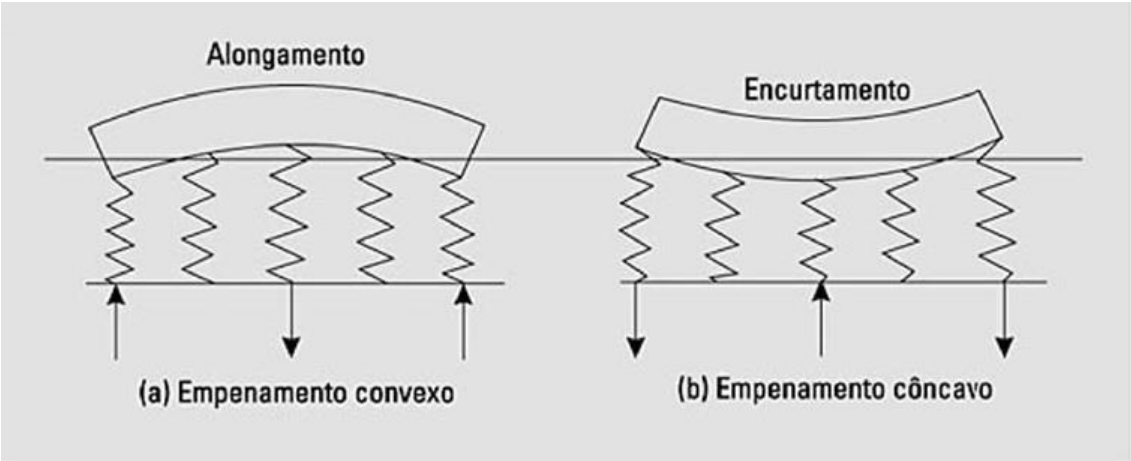
4- METODOLOGIA

Conforme Rodrigues (2010), o dimensionamento mesmo sendo fundamental para a elaboração do projeto, não deve ser considerado o mais importante, pois é necessário compartilhar o sucesso do projeto com o detalhamento e o projeto de juntas.

Dando continuidade Rodrigues (2010) afirma que o piso industrial foi herdado dos pavimentos rodoviários e aeroportuários, inicialmente com os trabalhos pioneiros de Westergaard – de base eminentemente teórica – e posteriormente por G.G.Meyerhof (Meyerhof, 1962) e A.Losberg (Losberg, 1961).

Os esforços nas placas são o resultado das tensões aplicadas por cargas externas ou variações volumétricas, na qual a magnitude depende da continuidade da placa, resistência da fundação, metodologia e qualidade da construção, intensidade e posicionamento das cargas. Pode-se observar na figura 18, uma condição para uma placa submetida à ação de temperatura (RODRIGUES, 2010).

Figura 18- Representação esquemática de empenamento



Fonte: Rodrigues (2010)

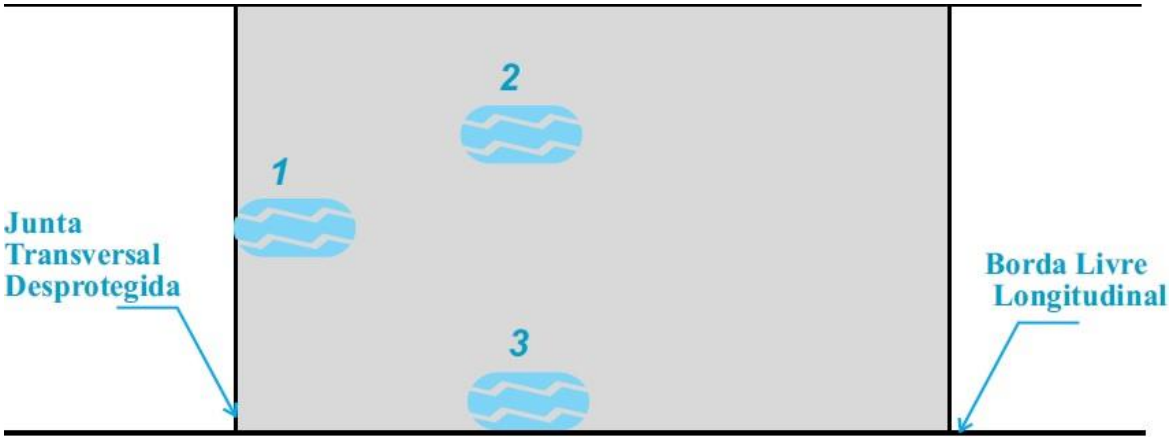
Rodrigues (2010) assegura que para o carregamento não influenciar nas tensões da placa de concreto, ela deve estar carregada de modo uniforme, estando sujeita apenas aos esforços oriundos da variação volumétrica. O carregamento gera tensão somente quando for discreto, acaba acarretando nas deformações diferenciais

4.1- Cargas Móveis

Segundo Rodrigues & Pitta (1997), o dimensionamento estruturalmente armado é efetuado com base na determinação dos momentos fletores. Após a determinação dos momentos atuantes, para o dimensionamento das armaduras, passa a ser relativamente simples, sendo que deve seguir os critérios usuais do cálculo do concreto armado. Os momentos negativos, isto é, que tracionam a zona superior da placa, são pequenos o suficiente para serem resistidos pelo próprio concreto.

Rodrigues & Pitta (1997) também comentam que em uma placa de concreto armado isolada (Figura 19) ocorrem três situações distintas de carregamento, na qual os momentos atuantes podem variar significativamente.

Figura 19-Posição do carregamento em relação às bordas



Fonte: Rodrigues & Pitta (1997)

Podemos observar que o momento gerado na (posição 3) será praticamente o dobro do que verificado na (posição 2). O momento para a carga na borda da seção transversal é aproximadamente 40 % maior do que no centro da placa (RODRIGUES & PITTA, 1997).

Rodrigues (2010) afirma que, é fácil a visualização da diferença de carregamento, pois a placa de concreto reage ao carregamento em duas direções, enquanto a borda, a atuação passa a ser próxima a de uma viga, o que gera esforços em uma única direção.

Se considerarmos a deformação da placa, a diferença entre a aplicação de cargas são mais intensas, se analisarmos a mesma intensidade de carga, em que a (posição 3) está a 10 cm da borda, a sua deformação será três vezes mais que a (posição 2) (RODRIGUES 2010).

Rodrigues & Cassaro (1998) apontam que, o veículo mais comum de trafegar no piso industrial é a empilhadeira que pela sua frequência de solicitações de cargas de eixo, acaba por superar as solicitações de eventual trânsito de caminhões.

As empilhadeiras são veículos muitos compactos com elevado peso próprio e cerca de 80% de carga total concentrada no eixo dianteiro e possuindo garfos telescópicos com a finalidade de içar cargas de todos os tipos, leves e pesadas. Observa-se na figura 20, o esquema de uma empilhadeira de rodagem pneumática, sendo que esse tipo de rodagem produz um alivio das tensões no piso produzidas pelo eixo mais solicitado da empilhadeira devido à grande área de contato produzida pela deformação dos pneus. (CAMPOS 2006 apud OLIVEIRA,2000, p.28).

Figura 20-Empilhadeira

Fonte: Campos (2006)

Rodrigues (2010) afirma que, as cargas móveis podem variar em uma grande gama, indo desde pequenos equipamentos de movimentação de carga, até grandes equipamentos de movimentação de contêineres.

4.2- Cargas Estáticas

Segundo Cristielli (2010), os carregamentos estáticos são constituídos pelas cargas lineares, cargas distribuídas e cargas concentradas ou pontuais. O critério para essa classificação, baseado na relação distribuição destes esforços em diferentes áreas, auxilia o dimensionamento estrutural em função das solicitações de tração-compressão, momentos fletores e forças cortantes aplicadas ás áreas solicitadas placas de concreto, na figura 21 o autor caracteriza os carregamentos estáticos.

Figura 21-Caracterização dos carregamentos estáticos

Carregamentos Estáticos	Definição	Comportamento estrutural	Exemplo
Cargas Lineares	Esforços concentrados em grande extensão.	Aumento das tensões internas da placa causado por momento fletor.	Alvenarias apoiadas sobre placas de concreto sem vigamento inferior.
Cargas Distribuídas	Distribuição dos esforços em grandes áreas.	Elevada solicitação de resistência mecânica do piso e necessidade de grande capacidade de suporte do sistema do piso no regime elástico.	Estocagem de pallets / Depósito de grãos
Cargas Concentradas ou Pontuais	Concentração dos esforços em pequenas áreas.	Elevado esforço cortante. Efeitos de puncionamento nas placas de concreto. Superposição dos esforços. Evita-se a disposição dos apoios nas proximidades das bordas.	Base de estantes que apresentam apoio com área reduzida

Fonte: Cristielli (2010)

4.2.1- Cargas uniformemente distribuídas

De acordo com Rodrigues & Cassaro (1998), nos pavimentos industriais são frequentemente utilizadas as cargas distribuídas. Uma carga distribuída refere-se a um carregamento plano, apoiado sobre o piso por meio de uma área de contato que coincide com a projeção do carregamento.

Os carregamentos são contínuos sobre o piso, como em silos, e pallets distribuídos diretamente sobre o piso. A capacidade dos pisos para esse carregamento acaba dependendo mais da capacidade estrutural do subleito do que da própria estrutura da placa de concreto (RODRIGUES, 2010).

As tensões geradas pelos carregamentos devem ser analisadas com cuidado, pois geralmente impõe grandes solicitações à estrutura.Com o avanço das industriais, a altura dos porta pallets tem cada vez aumentado sendo que pode ter alturas de até 25 m. Essas alturas muito elevadas podem chegar a 20 tf nos apoios. (GUIMARÃES 2010 apud CHOUNKE & VIECILI,2007; DAL-MASO,2008)

4.2.2- Cargas Pontuais

Rodrigues (2010) afirma que, a área de contato é importante nos carregamentos pontuais, uma vez que são pequenas e as tensões são elevadas, mas o efeito de punção dificilmente merece uma análise mais profunda.

Campos (2009) comenta que as cargas concentradas ou pontuais pode ser definidas pelas prateleiras, cujo o ponto de aplicação de carga são os pés e o afastamento entre si por mais de 1,0 m. Geralmente a distância é de 1,2 m a 2,0 m conforme a figura 22.

Figura 22-Prateleiras

Fonte: Guimarães (2010)

4.3- Estudo de caso

Antes de começar o dimensionamento do piso de concreto armado da fábrica de paneis de LED (figura 15), foi feito um trabalho de investigação, visitando o local da obra com o acompanhamento do cliente, aonde foi levantado em consideração alguns dados para o dimensionamento do pavimento:

Quais os tipos de veículos que irá trafegar sobre o pavimento?

Na parte externa do pavilhão o veículo que vai trafegar no pavimento, vai ser um caminhão BI trem eixo tandem duplo, com carga máxima de 17 tf por eixo.

Na parte interna, os veículos a trafegar serão um caminhão do tipo silhueta com eixo simples, com carga máxima de 10 tf, e uma empilhadeira HELI CPCD40, com capacidade de carga de 4000 kgf.

Quais os tipos de estantes que serão utilizados?

A estante utilizada é constituída de 4 andares, sendo que a capacidade de carga por andar é de 1 tf, as dimensões da estante 2,5 m x 1,70, constituindo de 10 estantes.

Quais os tipos de equipamentos que serão armazenados sobre o pavimento?

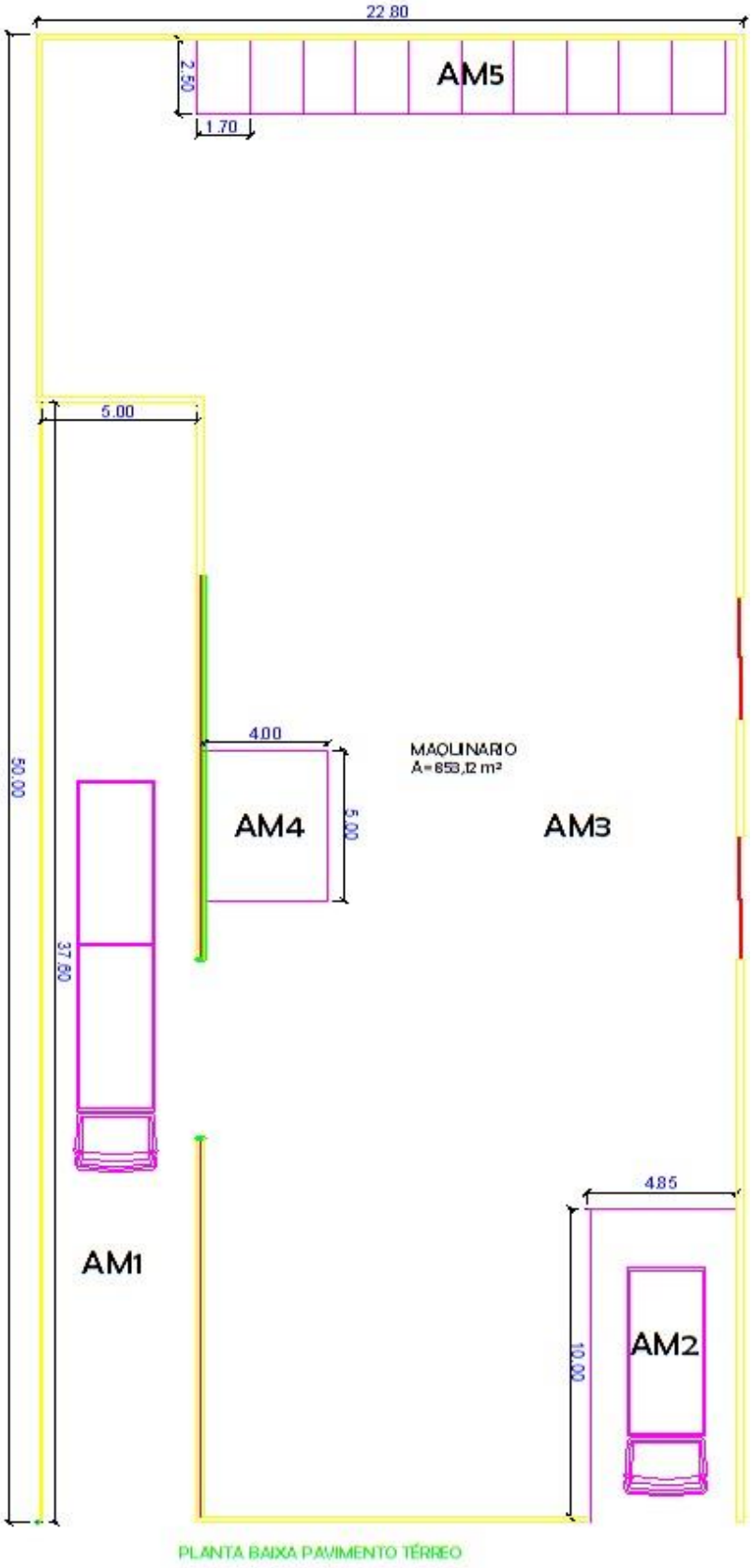
Atualmente o pavilhão armazena um equipamento com 15 tf de carga aonde sua área de contato tem as dimensões de 3 m x 4 m sendo armazenado direto sobre o piso.

Qual a previsão do cliente para troca de veículos, estantes e equipamentos para as próximas décadas?

O equipamento de 15 tf será substituído por um com maior capacidade de produção, a sua carga sobre o pavimento seria de 30 tf e sua área de contato com as dimensões 4 m x 5 m.

Como podemos observar na figura 23, obtemos diferentes tipos de cargas aplicadas nesse pavimento, os quais estão denominados como, AM1, AM2, AM3, AM4 e AM5, sendo AM1, AM2, AM3 cargas moveis, e AM4 e AM5 cargas estáticas.

Figura 23-Planta Baixa



Fonte: Engenheiro Civil Paulo Roberto Stumm

A carga móvel AM1, vai ser um caminhão tipo BI Trem eixo tandem duplo, com carga máxima de 17 tf por eixo, sendo que a maior distância máxima entre os eixos 2,40 m e a menor 1,20 m. (RODRIGUES 2010 apud DNIT).

Na carga móvel AM2, o veículo vai ser silhueta com eixo simples, carga máxima de 10 tf e a distância entre os eixos de 3,50 m. (RODRIGUES 2010 apud DNIT).

Para AM3, o veículo vai ser uma empilhadeira HELI CPCD40, com a maior distância entre os eixos de 2,00 m, e a menor 1,48 m, o peso próprio de 6150 kgf e capacidade de carga de 4000 kgf.

Para a determinação das cargas estáticas, na AM5 constituirá de estantes, com a capacidade máxima de carga de 1000 kgf sendo 4 andares de estante, AM4 receberá uma carga de 30.000 kgf e sua área de contato de 4 m x 5 m.

A fábrica está localizada no Município de Coronel Barros-RS.

A seguir vamos apresentar dois métodos de cálculo para o dimensionamento das cargas móveis, o primeiro método de dimensionamento é de Neto 2013, e o segundo por Rodrigues & Pitta 1997, e assim definir a escolha da armadura.

Para as cargas estáticas, o dimensionamento será feito apenas pelo método de Neto 2013.

4.4- Dimensionamento de acordo com Neto 2013, Carga Móvel: AM1

4.4.1- Concreto

Define-se a característica do concreto com base em uma classe C30.

Resistência Característica do Concreto à Compressão (fck)= 30,00 Mpa.

Resistência Média do Concreto à Tração $(fct, m) = 0{,}30.fck^{(\frac{2}{3})}$

$$(fct, m) = 0{,}30.30^{(\frac{2}{3})}$$

$$(\text{fct, m}) = 2{,}896\,\text{MPA x100}$$

$$(fct, m) = 289{,}64\ tf/m^2$$

Resistência Característica do Concreto à Tração $(fctk) = 1{,}30.fctm$

$$(fctk) = 1{,}30.289{,}64\ tf/m^2$$

$$(fctk) = 376{,}532\ tf/m^2$$

Módulo de elasticidade inicial: $ECI = 5600.\sqrt{fck}$

$$ECI = 5600.\sqrt{30}$$

$$ECI = 30672{,}46\ MPa$$

4.4.2- Aço

Para o aço das malhas duplas principais, utilizaremos telas soldadas em aço CA-60 e barras de transferência em CA-25. O diâmetro da barra de transferência será adotado de acordo com a espessura do piso, com auxílio da Tabela 6.

4.4.3- Solo

A sub-base vai ser constituída de Brita Graduada com espessura h=15cm, e índice de suporte Califórnia do subleito: 15%.

Com isso obtemos um valor de K devido à presença de sub-base granular vista na tabela 2, onde obtemos o valor de coeficiente de recalque 66 Mpa/m.

4.4.4- Geometria do pavimento

A princípio vamos adotar um pavimento com altura (h) de 15 cm e cobrimento de concreto (d´) de 5 cm.

Altura de cálculo do pavimento (d)=h – d= 15 cm – 5 cm= 10,00 cm.

As dimensões das placas vão ser adotadas 3,50 m x 4,80 m, segundo Neto (2013), o comprimento/largura se situa entre 1,20 e 1,60, afim de proteger o concreto de anomalias decorrentes do fenômeno da retração hidráulica.

4.4.5- Característica do veiculo

Para o dimensionamento precisamos saber os seguintes dados do veículo: largura da roda, distância entre eixos e carga máxima aplicada por eixo.

Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

O veículo vai ser do tipo BI Trem eixo tandem duplo, com carga máxima de 17 tf e a distância máxima entre os eixos de 2,40 m.

Para a pressão de enchimento dos pneus (q) adota-se o valor de 0,70.

O valor de 17 tf de carga aplicada por e

ixo será utilizado no cálculo e dimensionamento do pavimento a esforços solicitantes de momento fletor.

Até o momento, obtém-se os dados de entrada para o problema, referentes ao concreto e aço, dados do coeficiente de recalque do solo e dados do Bi Trem com base no catálogo do DNIT.

4.4.6- Método Cartas de influência de Picket e Ray

O Método de Cartas de Influência, de Picket e Ray, destaca-se pelo fato de considerar o cálculo do número N, em função da pressão nos pneus, geometrias de pneus e eixos e, a partir deles, determinar o valor do momento fletor máximo atuante.

De acordo com Neto 2013, o número N representa o valor de operações/solicitações causados por um eixo de veículo sobre um pavimento. O dano causado pela passagem de cada veículo é de pequena magnitude, mas o efeito acumulativo desse dano repercute na resistência à fadiga do pavimento.

Raio de Rigidez:

$$l = \left[\frac{(E*h^3)}{(12*(1-n^2)*k}\right]^{0,25} \quad em\ m$$

E *Módulo de Elasticidade Inicial do Concreto*

h *Espessura da Camada de Concreto*

n *Coeficiente de Poisson= 0,15 a 0,20*

k *Tabela 10, coeficiente de recalque no topo do sistema*

$$l = \left[\frac{(30672{,}46 * 15^3)}{(12 * (1 - 0{,}20^2) * 66}\right]^{0{,}25}$$

$$l = 0{,}607\ m$$

Rodrigues & Pitta (1997) recomenda que o coeficiente de Poisson deva ser utilizado com 0.15, e Neto (2013) aconselha 0, 20. Indo a favor da segurança vamos adotar o valor maior sendo de 0,20.

O raio de rigidez é de suma importância, e se partir do valor de placa próximo 8xl, a placa se torna mais suscetível ao aparecimento de fissuras pra retração hidráulica.

L=8.l

L=8x0,607

L=4,856 m

O valor limite de comprimento da placa é de 4,856 m, sendo assim o comprimento da placa de 4,80.

Segundo Neto (2013), como se optou por um comprimento de placa de 4,80 m no projeto, ele se situa abaixo do valor limite estabelecido de 4,85 m, deixando a placa dentro de um intervalo seguro referente a anomalias por retração hidráulica.

Determinação da área de contato (A), do comprimento (L) e da largura do pneu (w):

Área de Contato do Pneu:

$$A = \frac{Pr}{q}$$

Pr *Carga Máxima*

q *Pressão de Enchimento dos Pneus*

$$A = \frac{17/2}{70\ tf/m^2} = 0{,}1214\ m^2$$

Comprimento:

$$L = \sqrt{\left(\frac{A}{0{,}5227}\right)}$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{0{,}1214}{0{,}5227}\right)} = 0{,}4819\ m$$

Largura do Pneu:

$w = 0{,}60 * L$

$$w = 0{,}60 * 0{,}4819 = 0{,}2891\ m$$

Determinação do Número N:

$$L' = \frac{(0{,}254 * L)}{l}$$

$$L' = \frac{(0{,}254 * 0{,}4819)}{0{,}607} = 0{,}2016\ m = 20{,}16\ cm$$

$$d' = \frac{0{,}254 * d}{l}$$

$$d' = \frac{(0{,}254 * 2{,}40)}{0{,}607} = 1{,}00\ m = 100\ cm$$

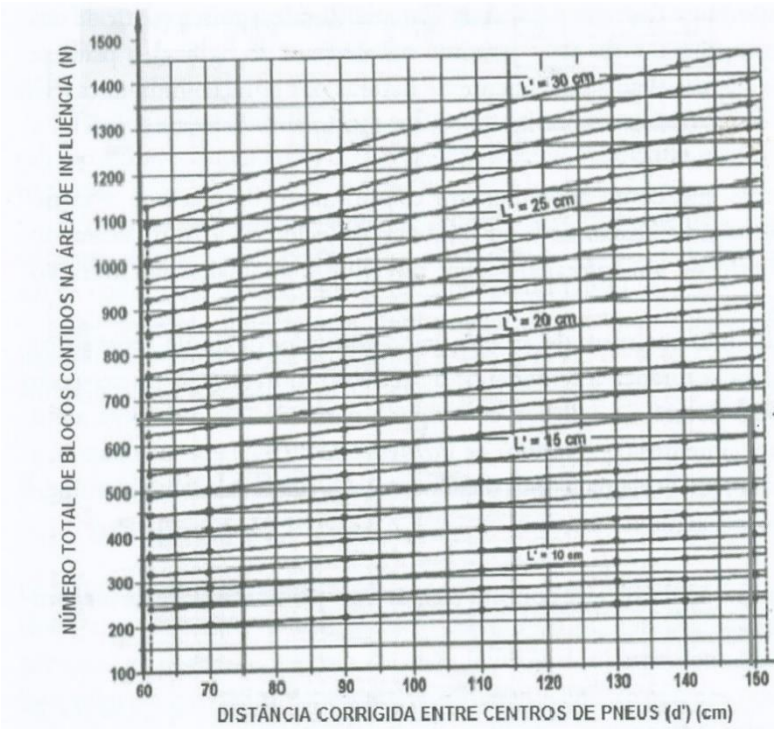
d *Maior distância entre os eixos tabela de classificação de veículos-Carga por Eixo-DNIT*

Pelo Ábaco (figura 24), podemos encontrar o valor de N. O número N é o valor de operações/ solicitações, causadas por um eixo de veículo sobre um pavimento.

De acordo com Neto (2013), o dano causado pela passagem de cada veículo é de pequena magnitude, mas o efeito acumulativo desse dano repercute na resistência a fadiga do pavimento.

Entrando com o valor de d´=100 cm e l´=20,16 cm (figura 24), obtém-se o valor N=820

Figura 24-Numero N para veículo de eixo simples de rodagem simples



Fonte: Neto (2013)

Cálculo do esforço solicitante:

Momento no bordo da placa (Mb):

$$Mb = \frac{N * q * l^2}{10000}$$

$$Mb = \frac{790 * 70 * (0{,}607)^2}{10000} = 2{,}03 tf * m$$

Momento no Interior da Placa

$$MI = \frac{Mb}{2}$$

$$MI = \frac{2{,}03}{2} = 1{,}015\ tf * m$$

4.4.7- Método de Meyerhof

Segundo Neto (2013), no método de meyerhof, pode se encontrar os valores de esforços para cargas montantes, distribuídas e móveis, aplicadas em cada situação em separado, no pavimento, onde a cada situação faz o concreto do pavimento trabalhar sob diferentes variações de esforços de momento fletor. Deve ser escolhido o maior valor dentre essas situações.

Dimensionamento frente às cargas móveis:

Raio de rigidez:

$$l = 0{,}607\ m$$

Determinação da área de contato (A), do comprimento (L) e da largura do pneu (w):

A= $0{,}1214\ m^2$

Valor de a:

$$a = \sqrt{\left(\frac{Ac}{\pi}\right)}$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{0{,}1214}{\pi}\right)} = 0{,}1966\ m$$

Momento Fletor :

$$M = \left(\frac{Pr}{6 * (1 + \left(\left(2 * \frac{a}{l}\right)\right))}\right)$$

$$M = \left(\frac{17/2}{6 * (1 + \left(\left(2 * \frac{0{,}1966}{0{,}607}\right)\right))}\right) = 0{,}859\ tf * m$$

Espessura da placa:

$$h = \sqrt{\left(\frac{(6 * 0{,}859)}{206{,}43}\right)} = 0{,}1581\ m = 15{,}81cm$$

h (calculado) < h (adotado), satisfaz.

15,81cm > 15,00 cm (Não satisfaz)

$$\sigma ADM = \left(\frac{fctm, k}{F.S.}\right)$$

$$\sigma ADM = \left(\frac{2{,}890}{1{,}4}\right) = 12{,}06\ MPA\ x100 = 206{,}43\ tf/m^2$$

Como o valor da espessura h calculado de valor maior que h adotado, vamos adotar uma espessura de 20 cm e calcular novamente.

Recalculando Cartas de Influência -

Adotando uma espessura de 20 cm:

Raio de Rigidez:

$$l = \left[\frac{(E*h^3)}{(12*(1-n^2)*k}\right]^{0,25} \quad \text{em m.}$$

$$l = \left[\frac{(30672{,}46 * 0,20^3)}{(12 * (1 - 0{,}20^2) * 73}\right]^{0,25}$$

$$l = 0{,}735\ m$$

L=8.l

Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

L=8x0,735

L=5,88 m

O valor limite de comprimento da placa é de 5,88 m, no entanto o comprimento da placa de 4,85, com isso pode-se aumentar as dimensões da placa, para 3,80 m x 5,00.

Determinação do número N:

$$L' = \frac{(0{,}254 * L)}{l}$$

$$L' = \frac{(0{,}254 * 0{,}4819)}{0{,}735} = 0{,}166\ m = 16{,}6\ cm$$

$$d' = \frac{0{,}254 * d}{l}$$

$$d' = \frac{(0{,}254 * 2{,}40)}{0{,}735} = 0{,}8293\ m = 82{,}93\ cm$$

Entrando com o valor de d´=82,93 cm e l´=16,60 cm na (figura 15), obtém-se o valor N=630

Cálculo do esforço solicitante:

Momento no bordo da placa (Mb):

$$Mb = \frac{N * q * l^2}{10000}$$

$$Mb = \frac{630 * 70 * (0{,}735)^2}{10000} = 2{,}38\ tf * m$$

Momento no Interior da Placa:

$$MI = \frac{Mb}{2}$$

$$MI = \frac{2{,}38}{2} = 1{,}19\ tf * m$$

Recalculando Método de Meyerhof:

$$l = 0{,}7537\ m$$

Momento Fletor:

$$M = \left(\frac{17/2}{6 * (1 + \left(\left(2 * \frac{0{,}1966}{0{,}735}\right)\right))} \right) = 0{,}92\ tf * m$$

Espessura da placa:

$$h = \sqrt{\left(\frac{(6 * 0{,}92)}{206{,}43}\right)} = 0{,}1635 = 16{,}35\ cm$$

h (calculado) < h (adotado), satisfaz.

16,40 cm < 20,00 cm (Satisfaz)

4.4.8- Método de Anders Losberg (1961)

De acordo com Neto (2013), através do Método de Anders Losberg (1961), consegue encontrar o valor de Carga Equivalente como o valor de Inercia da Seção.

O cálculo para os esforços solicitantes são:

Cálculo do Momento de Inercia da Seção Íntegra (IG):

$$IG = \left(\frac{b * h^3}{12}\right)$$

$$IG = \left(\frac{1\,m * (0{,}20\,m)^3}{12}\right) = 0{,}00067\,m\text{^}4$$

Momentos Fletores Críticos:

$$Mcritico = \left(\frac{fctm, k * IG}{YT}\right)$$

$$Mcritico = \left(\frac{289{,}64 * 0{,}00067}{0{,}20/2}\right) = 1{,}94\,tf * m$$

$$YT = \left(\frac{h}{2}\right)$$

$$M'NEGATIVO = Mcritico$$

$$MPositivo = \frac{M'NEGATIVO}{2}$$

$MPositivo = \frac{1{,}94\,tf*m}{2} = 0{,}97\,tf * m$ Aplicado no centro da placa

4.4.9- Método de Palmgren-Miner

Capacidade resistente da seção de concreto desprovida de armadura

$$M = \frac{\sigma ADM * (b * h^2)}{6}$$

$$M = \frac{374 * (1 * 0{,}20^2)}{6} = 2{,}49\ tf * m$$

$$\sigma ADM = \frac{fckt}{F.S}$$

$$\sigma ADM = \frac{5{,}60}{1{,}5} = 3{,}74\ MPa = 374\ tf/m^2$$

F.S *= 1,5*

Para determinar o valor de fctm e de fctk para esse método, recomenda-se determinar por Buchers e Rodrigues:

$$fctma = 0{,}56 * fck^{0{,}60}$$

$$fctma = 0{,}56 * (30)^{0{,}60}$$

$$fctma = 4{,}30\ MPa$$

$$fctk = 1{,}30 * fctm$$

$$fctk = 1{,}30 * 4{,}30$$

$$fctk = 5{,}60\ MP\mathrm{A}$$

4.4.10- Dimensionamento da placa de concreto

Para o dimensionamento da placa de concreto do pavimento deve se usar o valor máximo dos momentos fletor:

Cartas de Influência de Picket e Ray, obteve-se:

Momento Fletor aplicado no Bordo da Placa

MB=2,38 tf.m

Momento Fletor aplicado no Interior da Placa

MI=1,19 tf.m

Pelo Método de Meyerhof, obteve-se:

Momento para cargas móveis

MB=0,92 tf.m

Pelo Método de Anders Losberg 1961

Momento Fletor Crítico Mcritico

Mc=1,94 tf.m

Momento Fletor aplicado na borda livre da placa

M=0,85 tf.m

Pelo Método de Miner 1961, obteve-se:

M=2,49 tf.m

O maior valor obtido para esforço solicitante de momento fletor foi de Mmáx:2,49 tf.m. Sendo assim, deve-se utilizar este para o dimensionamento do pavimento de concreto à flexão:

MDsol=Y.Mmáx: 1, 40.2,49= 3,49 tf.m

Cálculo do kmd 1:

$$kmd\ 1 = \frac{MD\ sol}{(bw * d^2 * fcd)}$$

$$kmd\ 1 = \frac{3{,}49}{(1 * (0{,}15)^2 * 2142{,}85)} = 0{,}0724$$

$$fcd = \frac{fck}{y} = \frac{30}{1{,}4} = 2142{,}85\ tf.m$$

Cálculo do kmd do aço adotado CA-60:

$$\varepsilon = \frac{fyd}{Es}$$

$$\varepsilon = \frac{5220\ kg/cm^2}{205.000.000.00/10000} = 2{,}55\ ^{\circ}/_{\circ\circ}$$

$$fyd = \frac{fyk}{y}$$

$$fyd = \frac{6000}{1{,}15} = 5214{,}39\frac{kg}{m^2} = \frac{5{,}22tf}{cm^2}$$

y *= 1,15*

$$Kx = \frac{\varepsilon c}{(\varepsilon c + \ \varepsilon E)}$$

$$Kx = \frac{3{,}50}{(3{,}50 + \ 2{,}55)} = 0{,}5785$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * kx)$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * 5785)$$

$$kz = 0{,}7686$$

$$kmd\ 2 = 0{,}68 * kx * kz$$

$$kmd\ 2 = 0{,}68 * 0{,}5785 * 0{,}7686 = 0{,}302$$

O valor do kmd 1 < kmd 2, onde o concreto não rompe por ruptura frágil.

Cálculo do Kx:

$$0{,}272 * Kx^2 - 0{,}68Kx + 0{,}0748 = 0$$

$$\frac{-0{,}68 \pm \sqrt{0{,}68^2 - 4 * 0{,}272 * 0{,}0724}}{2 * 0{,}272}$$

$$x' = 0{,}1115cm$$

$$x'' = 2{,}38\ cm$$

$$X'ln = x' * h = 2{,}38 * 20\ cm = 47{,}69cm$$

$$X''ln = x'' * h = 0{,}1115 * 20\ cm = 2{,}306cm$$

Adota-se o valor de x=0,1115 cm, pelo fato do valor final de 3,30 cm permanecer dentro da seção transversal do pavimento com altura de h=20 cm

Cálculo do Kz:

$$Kz = 1 - (0{,}4 * Kx)$$

$$Kz = 1 - (0{,}4 * 0{,}1115) = 0{,}9554$$

Cálculo da armadura:

$$As = \frac{Mdsol}{(Kz * d * fyd)}$$

$$As = \frac{3{,}49}{(0{,}9554 * 0{,}15 * 5{,}22)} = 4{,}665\frac{cm^2}{m}$$

Para fazer a escolha da armadura, utilizou-se o manual de tela soldada Gerdau.

Área de Aço Calculado	As=4,665cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada Gerdau	As = 2,46 cm²/m

AnexoIV → 2x Tela Q246

4.5- Dimensionamento segundo Rodrigues & Pitta (1997), Carga Móvel: AM1

De acordo com Rodrigues & Pitta 1997, o dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armado, determina as tensões atuantes e os momentos fletores, de acordo com o modelo proposto por Westergaard, por meio das cartas de influência de Picket e Ray.

Para a determinação dos momentos fletores é efetuado de acordo com a Portland Cement Association, através do emprego das cartas de influência de número 2 para os momentos no interior da placa, e de número 6, para os momentos na borda livre (RODRIGUES & PITTA, 1997).

Para a determinação dos momentos, consideram-se duas condições de carregamentos: a primeira, sendo mais favorável, toma as cargas atuando no interior da placa, enquanto a outra leva em conta o carregamento na borda livre, neste caso os esforços podem atingir cerca do dobro dos valores produzidos pelo primeiro caso. (RODRIGUES & PITTA, 1997).

Segundo Rodrigues & Pitta (1997), após terem conhecido os momentos atuantes, a determinação armadura é relativamente simples, sendo seguidos os critérios usuais do cálculo de concreto armado.

1º Caso: Carga no Interior da placa

Determinação do momento atuante Mi:

Determina-se inicialmente a área de contato A do pneu e as suas dimensões básicas L (comprimento) e W (largura):

Área de Contato do Pneu $A = \frac{Pr}{q}$

$$A = \frac{34/8}{70\ tf/m^2} = 0{,}0607\ m^2$$

Pr carga atuante em um pneu, isto é, carga total do eixo dividida pelo número de rodas;

q é a pressão de enchimento dos pneus, (em Pa)

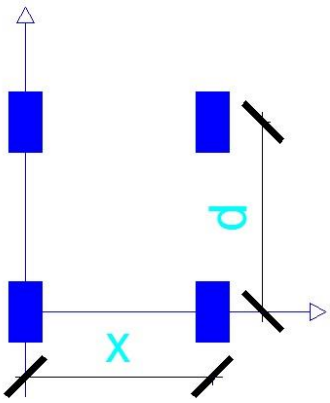
$$L = \sqrt{\frac{A}{0{,}523}}$$

$$L = \sqrt{\frac{0{,}0607}{0{,}523}} = 0{,}340$$

$$W = 0{,}6\ x\ L$$

$$W = 0{,}6\ x\ 0{,}340 = 0{,}204\ m$$

Determina-se o número N de blocos de carta de influência Nº 2, com auxílio da figura 3 (Anexo I), em função do raio de rigidez da placa de concreto, l, da distância entre as duas rodas do semieixo de rodagem dupla, x; das distâncias entre os conjuntos de rodas dos semieixos tandem duplo ou triplo, d.



$$l = \sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12 * (1 - v^2) * k}}$$

E *Módulo de Elasticidade Inicial do Concreto*

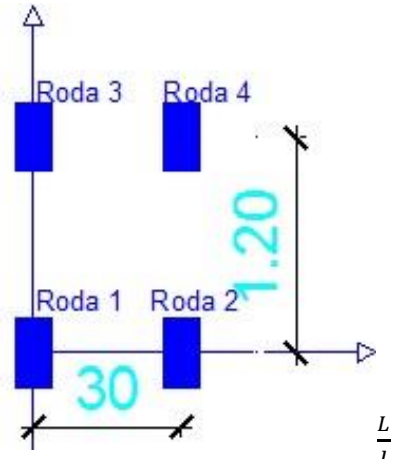
h *Espessura da Camada de Concreto*

n *Coeficiente de Poisson= 0,15 a 0,20*

k *Tabela 10, Coeficiente de Recalque no topo do Sistema*

$$l=\sqrt[4]{\frac{30672{,}46*0{,}20^3}{12*(1-0{,}20^2)*73}}=0{,}735m$$

Determina-se o número N figura 3 (Anexo I), para a carga no Interior da placa:



$$\frac{L}{l}=\frac{0{,}340}{0{,}735}=0{,}46$$

Roda (1): $\frac{x}{l}=\frac{0}{0{,}735}=0$ $\frac{d}{l}=\frac{0}{0{,}735}=0$ N=250

Roda (2): $\frac{x}{l}=\frac{0{,}30}{0{,}735}=0{,}4081$ $\frac{d}{l}=\frac{0}{0{,}735}=0$ N=60

Roda (3): $\frac{x}{l}=\frac{0}{0{,}735}=0$ $\frac{d}{l}=\frac{1{,}20}{0{,}735}=1{,}63$ N=0

Roda (4): $\frac{x}{l}=\frac{0{,}30}{0{,}735}=0{,}4081$ $\frac{d}{l}=\frac{1{,}20}{0{,}735}=1{,}63$ N=0

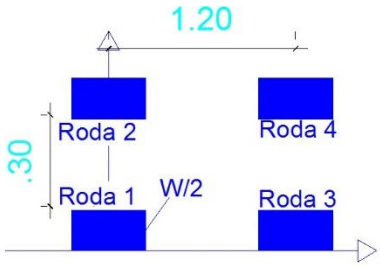
N total=N1+N2+N3+N4

N total=200+60+0+0=310

Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

2º Caso: Carga na borda da placa

O número N para a carga na borda da placa determina-se pela carta de influência Nº 6 (Anexo II), o método de cálculo é similar à empregada para a carga no interior da placa. Na qual deve se considerar l, da distância entre as duas rodas do semieixo de rodagem dupla, x; das distâncias entre os conjuntos de rodas dos semieixos tandem duplo ou triplo, d.



Roda (1): $\frac{x}{l} = \frac{0}{0,735} = 0$ $\frac{d}{l} = \frac{0,102}{0,735} = 0,1387$ N=450

Roda (2): $\frac{x}{l} = \frac{0,00}{0,735} = 0$ $\frac{d}{l} = \frac{0,4102}{0,735} = 0,56$ N=250

Roda (3): $\frac{x}{l} = \frac{1,20}{0,735} = 1,63$ $\frac{d}{l} = \frac{0,102}{0,735} = 0,1387$ N=-60

Roda (4): $\frac{x}{l} = \frac{1,20}{0,735} = 1,63$ $\frac{d}{l} = \frac{0,4102}{0,735} = 0,56$ N=-40

N total=N1+N2+N3+N4

N total=250+450-60-40=600

Cálculo do Momento no interior Mi e na borda Mb:

$$Mk = \frac{N * q * l^2}{10.000}$$

N é o número de blocos determinados pela carta de influência

q é a pressão de enchimento do pneu (em Pa)

l é o raio de rigidez relativo da placa (em m)

$$Mi = \frac{310 * 0{,}70 * 10^6 * 0{,}735^2}{10.000} = 11722{,}8825\ N * \frac{m}{m} = 117{,}22\ tf * cm/m$$

$$Mb = \frac{600 * 0{,}70 * 10^6 * 0{,}735^2}{10.000} = 22689{,}45\ N * \frac{m}{m} = 226{,}89 tf * cm/m$$

Para a determinação da armadura, são utilizados os coeficientes adimensionais K6 e K3 (Anexo III).

Os valores de k3, em função do k6 e da resistência característica do concreto, fck, são fornecidos na tabela 6 (Anexo 3). Nestes, já estão embutidos os coeficientes de seguranças, de minoração para materiais e de majoração para as ações, previsto em norma NBR 6118 (Projeto e Execução de concreto Armado).

$$K6 = \frac{b * d^2}{Mk} \qquad As = \frac{K3 * Mk}{d}$$

Mk momento atuante

b largura considerada

d espessura da placa de concreto h

As área da armadura, geralmente em cm²/m

K3 coeficiente adimensional

$$K6 = \frac{100 * 15^2}{226{,}89} = 99{,}16 - -K3 = 0{,}284$$

$$As = \frac{0{,}283 * 226{,}89}{15} = 4{,}28 \frac{cm^2}{m}$$

Área de Aço Calculado	As=4,28cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada	As = 2,46

Gerdau	cm²/m

Anexo IV

2x Tela Q246

4.6- Dimensionamento de acordo com Neto 2013, Carga Móvel: AM2

4.6.1- Característica do veículo

O veículo vai ser silhueta com eixo duplo, com carga máxima de 10 tf e a distância máxima entre os eixos de 3,50 m.

Para a pressão de enchimento dos pneus (q) adota-se o valor de 0,70.

O valor de 10 tf de carga aplicada por eixo será utilizado no cálculo e dimensionamento do pavimento a esforços solicitantes de momento fletor.

4.6.2- Cartas de influência de Picket e Ray

Para a dimensão da placa, será adotado os valores de 3,60 m x 4,80 m.

Raio de Rigidez:

$$l = 0{,}607\ m$$

L=8*l

L=8*0,607

L=4,85

Determinação da área de contato (A), do comprimento (L) e da largura do pneu (w):

Área de Contato do Pneu

$$A = \frac{10/2}{70\ tf/m^2} = 0{,}07143 m^2$$

Comprimento

$$L = \sqrt{\left(\frac{0{,}07143}{0{,}5227}\right)} = 0{,}3697\ m$$

Largura do Pneu $w = 0{,}60 * L$

$$w = 0{,}60 * 0{,}3697 = 0{,}22182\ m$$

Determinação do número N:

$$L' = \frac{(0{,}254 * 0{,}3697)}{0{,}607} = 0{,}15478m = 15{,}47\ cm$$

$$d' = \frac{(0{,}254 * 3{,}50)}{0{,}607} = 1{,}46\ m = 146\ cm$$

Entrando com o valor de d´=140 cm e l´=14,79 cm (figura 24), obtém-se o valor N=630

Cálculo do esforço solicitante:

Momento no bordo da placa (Mb):

$$Mb = \frac{630 * 70 * (0{,}607)^2}{10000} = 1{,}625\ tf * m$$

Momento no Interior da Placa

$$MI = \frac{1{,}625}{2} = 0{,}8124tf * m$$

4.6.3- Método de Meyerhof

Dimensionamento frente às cargas móveis:

Valor de a

$$a = \sqrt{\left(\frac{0{,}07143}{\pi}\right)} = 0{,}151\ m$$

Momento Fletor

$$M = \left(\frac{10/2}{6 * (1 + \left(\left(2 * \frac{0,151}{0,607}\right)\right))} \right) = 0,5565\ tf * m$$

Espessura da placa

$$h = \sqrt{\left(\frac{(6 * 0,5565)}{206,43}\right)} = 0,1271\ m = 12,71cm$$

h (calculado) < h (adotado), satisfaz.

12,71 cm < 15,00 cm (satisfaz)

4.6.4- Método de Anders Losberg (1961)

Cálculo do Momento de Inercia da Seção Íntegra (IG)

$$IG = \left(\frac{1\ m * (0,15\ m)^3}{12}\right) = 0,00028\ m^4$$

Momentos Fletores Críticos

$$Mcritico = \left(\frac{289,64 * 0,00028}{0,15/2}\right) = 1,08\ tf * m$$

$$M'NEGATIVO = Mcritico$$

$MPositivo = \frac{1,08\ tf*m}{2} = 0,54\ tf * m$ Aplicado no centro da placa

4.6.5- Método de Palmgren-Mines

Capacidade resistente da seção de concreto desprovida de armadura

$$M = \frac{374 * (1 * 0,15^2)}{6} = 1,40\ tf * m$$

$$\sigma ADM = \frac{5,60}{1,5} = 3,74\ MPa = 374\ tf/m^2$$

F.S *= 1,5*

Para determinar o valor de fctm e de fctk para esse método, recomenda-se determinar por Buchers e Rodrigues:

$$fctma = 4{,}31\ MPa$$

$$fctk = 5{,}60\ MPa$$

4.6.6- Dimensionamento da placa de concreto

Cartas de Influência de Picket e Ray, obteve-se:

Momento Fletor aplicado no Bordo da Placa

MB=1,62 tf.m

Momento Fletor aplicado no Interior da Placa

MB=0,8124 tf.m

Pelo Método de Meyerhof, obteve-se:

Momento para cargas móveis

MB=0,5565 tf.m

Pelo Método de Anders Losberg 1961

Momento Fletor Crítico Mcritico

Mc=1,08 tf.m

Momento Fletor aplicado na borda livre da placa

M=0,70 tf.m

Pelo Método Miner

Momento Fletor

M=1,40 tf*m

Cálculo da Armadura necessária:

$$Md\ critico\ = 1{,}40 * 1{,}62$$

Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

$$Md\ critico\ = 2{,}268tf * m$$

Cálculo do kmd do aço adotado CA-60:

$$Kmd = \frac{2{,}268\ tf*,m}{1*(0{,}10)^2*2142{,}85} = 0{,}1058$$

$$\varepsilon = \frac{5220\ kg/cm^2}{205.000.000.00/10000} = 2{,}55\ ^{\circ}/_{\circ}$$

$$fyd = \frac{6000}{1{,}15} = 5214{,}39\frac{kg}{m^2} = \frac{5{,}22tf}{cm^2}$$

y = 1,15

$$Kx = \frac{3{,}50}{(3{,}50 +\ 2{,}55)} = 0{,}5785$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * kx)$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * 5785)$$

$$kz = 0{,}7686$$

$kmd\ 2 = 0{,}68 * 0{,}5785 * 0{,}7686$=0,302

O valor do kmd 1 < kmd 2, onde o concreto não rompe por ruptura frágil

Cálculo do Kx:

$$0{,}272 * Kx^2 - 0{,}68Kx + 0{,}1058 = 0$$

$$\frac{-0{,}68 \pm \sqrt{0{,}68^2 - 4 * 0{,}272 * 0{,}1058}}{2 * 0{,}272}$$

$$x' = 2{,}33$$

$$x'' = 0{,}167$$

$$X'ln = x' * h = 2{,}33 * 15\ cm = 34{,}95\ cm$$

$$X''ln = x'' * h = 0{,}167 * 15\ cm = 2{,}50\ cm$$

Adotar o xln de acordo com qual ficará dentro da seção transversal, ou seja, o X''ln permanece dentro da seção transversal do pavimento com altura de h=15 cm.

Cálculo do Kz:

$$Kz = 1 - (0{,}4 * Kx)$$

$$Kz = 1 - (0{,}4 * 0{,}167)$$

$$Kz = 0{,}9332$$

Cálculo da armadura necessária para combater o Momento Fletor Critico:

$$As = \frac{2{,}268\ tf/cm^2}{(0{,}9332 * 0{,}10 * 5{,}22 tf/cm^2)} = 4{,}655\ cm^2/m$$

Área de Aço Calculado	As=4,65cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada Gerdau	As = 2,46 cm²/m

Anexo IV

2x Tela Q246

4.7- Dimensionamento segundo Rodrigues & Pitta (1997), Carga Móvel: AM2

1º Caso: Carga no Interior da placa

Determinação do momento atuante Mi:

Área de Contato do Pneu

$$A = \frac{10/4}{70\ tf/m^2} = 0{,}0357\ m$$

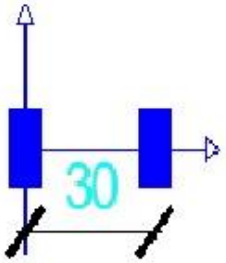
$$L = \sqrt{\frac{0{,}0357}{0{,}523} = 0{,}2612\ m}$$

$$W = 0{,}6\ x\ 0{,}2613 = 0{,}1567\ m$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{35417{,}51 * 0{,}15^3}{12 * (1 - 0{,}20^2) * 66}} = 0{,}607\ m$$

Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

Determina-se o número N figura 3 (Anexo I), para a carga na Borda da placa:

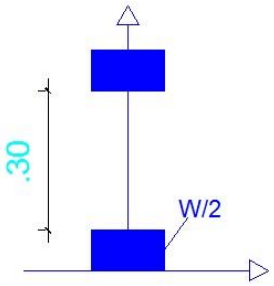


Roda (1): $\frac{x}{l} = \frac{0}{0{,}607} = 0$ $\frac{d}{l} = \frac{0}{0{,}607} = 0$ N=200

Roda (2): $\frac{x}{l} = \frac{0{,}30}{0{,}607} = 0{,}494$ $\frac{d}{l} = \frac{0}{0{,}0{,}629} = 0$ N=120

N total=200+120=320

2º Caso: Carga na borda da placa



$$\frac{L}{l} = \frac{0{,}2612}{0{,}607} = 0{,}43$$

Roda (1): $\frac{x}{l} = \frac{0}{0{,}607} = 0$ $\frac{d}{l} = \frac{0{,}0784}{0{,}607} = 0{,}1291$ N=420

Roda (2): $\frac{x}{l} = \frac{0}{0{,}607} = 0$ $\frac{d}{l} = \frac{0{,}378}{0{,}607} = 0{,}507$ N=190

N total=420+190=610

Cálculo do Momento no interior Mi e na borda Mb:

$$Mi = \frac{320 * 0{,}70 * 10^6 * 0{,}607^2}{10.000} = 8253{,}2576\ N * \frac{m}{m} = 82{,}53\ tf * cm/m$$

$$Mb = \frac{610 * 0{,}70 * 10^6 * 0{,}607^2}{10.000} = 15732{,}13\ N * \frac{m}{m} = 155{,}09\ tf * cm/m$$

Para a determinação da armadura são utilizados os coeficientes adimensionais K6 e K3 (Anexo III).

$$K6 = \frac{100 * 10^2}{157{,}32} = 63{,}56 - -K3 = 0{,}290$$

$$As = \frac{0{,}291 * 157{,}32}{15} = 4{,}56\ cm^2$$

Área de Aço Calculado	As=4,56cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada Gerdau	As = 2,46 cm²/m

Anexo IV

2x Tela Q246

4.8- Dimensionamento de acordo com Neto 2013, Carga Móvel: AM3

4.8.1- Característica do veículo

O veículo vai ser uma empilhadeira HELI CPCD40.

Distância entre os eixos de 2,00 m.

Cargas:

Peso próprio=6150 kgf

Capacidade máxima:4000 kgf

Segundo Neto 2013, quando não foi possível encontrar os dados referentes às aplicações de cargas nos eixos dianteiros e traseiro, pode-se considerar para o eixo dianteiro uma carga equivalente a 85% da carga total (Peso próprio + Capacidade de carga).

Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

C=85%*(4000 kgf + 6150 kgf) =8627,50 kgf

4.8.2- Cartas de influência de Picket e Ray

As dimensões da placa de concreto vai ser 3,60 m x 4,80.

Raio de Rigidez:

$$l = 0{,}607m$$

L=8*l

L=4,85 --- Valor limite de comprimento

Determinação da área de contato (A), do comprimento (L) e da largura do pneu (w):

Área de Contato do Pneu:

$$A = \frac{8{,}63/2}{70\ tf/m^2} = 0{,}062m^2$$

Comprimento:

$$L = \sqrt{\left(\frac{0{,}062}{0{,}5227}\right)} = 0{,}344\ m$$

Largura do Pneu :

$$w = 0{,}60 * 0{,}344 = 0{,}344\ m$$

Determinação do número N:

$$L' = \frac{(0{,}254 * 0{,}344)}{0{,}607} = 0{,}1439\ m = 14{,}39\ cm$$

$$d' = \frac{(0{,}254 * 2{,}00)}{0{,}607} = 0{,}8369\ m = 83{,}69\ cm$$

Pelo Ábaco (figura13), podemos encontrar o valor de N, entrando com o valor de d´=83,69 cm e l´=14,39 cm (figura 15), obtém-se o valor N=550

Cálculo do esforço solicitante

Momento no bordo da placa (Mb):

$$Mb = \frac{550 * 70 * (0{,}607)^2}{10000} = 1{,}41\ tf *$$

Momento no Interior da Placa

$$MI = \frac{1{,}41}{2} = 0{,}705\ tf * m$$

4.8.3- Método de Meyerhof

Dimensionamento frente às cargas móveis:

Valor de a

$$a = \sqrt{\left(\frac{0{,}062}{\pi}\right)} = 0{,}140\ m$$

Momento Fletor

$$M = \left(\frac{8{,}63/2}{6 * (1 + \left(\left(2 * \frac{0{,}140}{0{,}607}\right)\right))}\right) = 0{,}49\ tf * m$$

Espessura da placa

$$h = \sqrt{\left(\frac{(6 * 0{,}50)}{206{,}43}\right)} = 0{,}1282\ m = 12{,}00\ cm$$

h (calculado) < h (adotado), satisfaz.

12,00 cm < 15,00 cm (satisfaz)

4.8.4- Método de Anders Losberg (1961)

Cálculo do Momento de Inercia da Seção Íntegra (IG)

$$IG = \left(\frac{1\ m * (0{,}15\ m)^3}{12}\right) = 0{,}00028\ m^4$$

Momentos Fletores Críticos

Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

$$Mcritico = \left(\frac{289{,}64 * 0{,}00028}{0{,}15/2}\right) = 1{,}08\ tf * m$$

$$M'NEGATIVO = Mcritico$$

$$MPositivo = \frac{1{,}08\ tf*m}{2} = 0{,}54\ tf * m \text{ Aplicado no centro da placa}$$

4.8.5- Método de Palmgren-Mines

Capacidade resistente da seção de concreto desprovida de armadura

$$M = \frac{374 * (1 * 0{,}15^2)}{6} = 1{,}40\ tf * m$$

$$\sigma ADM = \frac{5{,}60}{1{,}5} = 3{,}74\ MPa = 374\ tf/m^2$$

F.S *= 1,5*

Para determinar o valor de fctm e de fctk para esse método, recomenda-se determinar por Buchers e Rodrigues:

$$fctma = 4{,}30\ MPa$$

$$fctk = 5{,}60\ MPa$$

4.8.6- Dimensionamento da placa de concreto

Para o dimensionamento da placa de concreto do pavimento deve-se usar o valor máximo dos momentos fletor:

Cartas de Influência de Picket e Ray, obteve-se:

Momento Fletor aplicado no Bordo da Placa

MB=1,41 tf.m

Momento Fletor aplicado no Interior da Placa

MB=0,705 tf.m

Pelo Método de Meyerhof, obteve-se:

Momento para cargas móveis

MB=0,49 tf.m

Pelo Método de Anders Losberg 1961

Momento Fletor Critico Mcritico

Mc=1,08 tf.m

Momento Fletor aplicado na borda livre da placa

M=0,54 tf.m

Pelo Método Miner

Momento Fletor

M=1,40 tf.m

Cálculo da Armadura necessária

$$Md\ critico\ = 1{,}40 * 1{,}41$$

$$Md\ critico\ = 1{,}97\ tf * m$$

Cálculo do kmd do aço adotado CA-60

$$Kmd = \frac{1{,}978\ tf*,m}{1*(0{,}10)^2*2142{,}85} = 0{,}0919$$

$$\varepsilon = \frac{5220\ kg/cm^2}{205.000.000.00/10000} = 2{,}55\ ^{\circ}/_{\circ\circ}$$

$$fyd = \frac{6000}{1{,}15} = 5214{,}39\frac{kg}{m^2} = \frac{5{,}22tf}{cm^2}$$

y *= 1,15*

$$Kx = \frac{3{,}50}{(3{,}50 +\ 2{,}55)} = 0{,}5785$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * kx)$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * 5785)$$

$$kz = 0{,}7686$$

$$kmd\ 2 = 0{,}68 * 0{,}5785 * 0{,}7686 = 0{,}302$$

O valor do kmd 1 < kmd 2, onde o concreto não rompe por ruptura frágil.

Cálculo do Kx:

$$0{,}272 * Kx^2 - 0{,}68Kx + 0{,}0919 = 0$$

$$\frac{-0{,}68 \pm \sqrt{0{,}68^2 - 4 * 0{,}272 * 0{,}0919}}{2 * 0{,}272}$$

$$x' = 2{,}356$$

$$x'' = 0{,}1433$$

$$X'ln = x' * h = 2{,}356 * 15\ cm = 35{,}34\ cm$$

$$X''ln = x'' * h = 0{,}1433 * 15\ cm = 2{,}1495\ m$$

Adotar o xln de acordo com qual ficará dentro da seção transversal, ou seja, o X'' ln permanece dentro da seção transversal do pavimento com altura de h=15 cm.

Cálculo do Kz

$$Kz = 1 - (0{,}4 * Kx)$$

$$Kz = 1 - (0{,}4 * 0{,}1433)$$

$$Kz = 0{,}94268$$

Cálculo da armadura necessária para combater o Momento Fletor Crítico.

$$As = \frac{1{,}97\ tf/cm^2}{(0{,}94268 * 0{,}10 * 5{,}22tf/cm^2)} = 4{,}00\ cm^2/m$$

Área de Aço Calculado	As=4,00 cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada Gerdau	As = 2,46 cm²/m

Anexo IV

2x Tela Q246

4.9- Dimensionamento segundo Rodrigues & Pitta (1997), Carga Móvel: AM3

1º Caso: Carga no Interior da placa

Para o dimensionamento do piso industrial estruturalmente armado, de acordo com Rodrigues & Pitta (1997), a carga a ser utilizada é o peso do eixo mais carregado 4000 kgf.

A largura do eixo de 1,48 m.

Determinação do momento atuante Mi:

Área de Contato do Pneu

$$A = \frac{4/2}{70\ tf/m^2} = 0{,}0571\ m^2$$

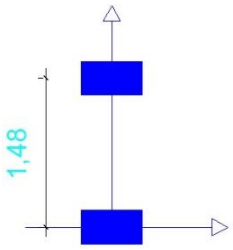
$$L = \sqrt{\frac{0{,}0357}{0{,}523} = 0{,}33\ m}$$

$$W = 0{,}6\ x\ 0{,}2613 = 0{,}198\ m$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{35417{,}51 * 0{,}15^3}{12 * (1 - 0{,}20^2) * 66}} = 0{,}607\ m$$

Determina-se o número N figura 3 (Anexo I), para a carga na Borda da placa:

Para facilitar, determinar-se-á apenas o momento na Borda da placa, o qual o momento inferior é igual ao valor deste dividido por dois.



Roda (1): $\frac{x}{l} = \frac{0}{0{,}607} = 0$ $\frac{d}{l} = \frac{0{,}099}{0{,}607} = 0{,}1630$ N=520

Roda (2): $\frac{x}{l} = \frac{0}{0{,}607} = 0$ $\frac{d}{l} = \frac{(1{,}48+0{,}099)}{0{,}607} = 0{,}2{,}47$ N=0

N total=200+120=320

Cálculo do Momento no interior Mi e na borda Mb:

$$Mb = \frac{520 * 0{,}70 * 10^6 * 0{,}607^2}{10.000} = 13411{,}5471\ N * \frac{m}{m} = 134{,}11\ tf * cm/m$$

$$\text{MI} = \frac{134{,}11}{2} = 67{,}05\ tf * cm/m$$

Para a determinação da armadura, são utilizados os coeficientes adimensionais K6 e K3 (Anexo III).

$$K6 = \frac{100 * 10^2}{134{,}11} = 74{,}57 - -K3 = 0{,}287$$

$$As = \frac{0{,}287 * 134{,}11}{10} = 3{,}84\ cm^2/m$$

Área de Aço Calculado	As=3,84 cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada Gerdau	As = 3,96 cm²/m

Anexo IV → 2x Tela Q196

4.10- Dimensionamento de acordo com Neto (2013), Carga Móvel: AM4

4.10.1- Geometrias e cargas de estante aplicadas sobre o pavimento

A área de contato recebida pelo equipamento de 30000 kgf, vai ser de 4 m x 5m.

Tensão aplicada pela chapa de base no pavimento

Raio de Rigidez:

$$l = 0{,}607\ m$$

$$TADM = \frac{Fctmk}{fs}$$

$$TADM = \frac{3{,}76}{2} = 1{,}88\ MPA$$

$$T = \frac{P}{AC} \leq 4{,}2 * Fctmk$$

$$T = \frac{30\ tf}{(4 * 5)} \leq 4{,}2 * 188\ tf/m^2$$

$$T = 1{,}50 \frac{tf}{m^2} \leq 789{,}6\ tf/m^2\ \ (Satisfaz)$$

Como a tensão resistente do pavimento de concreto (4,2*fctm, k) é superior à tensão solicitante (Tplaca), o pavimento satisfaz a aplicação de tensão aplicada pela chapa de base do pilar da estante.

Cálculo do Momento Fletor:

$$a = \sqrt{\left(\frac{0{,}20\ cm^2}{\pi}\right)} = 0{,}2523\ cm^2$$

$$M = \left(\frac{1{,}5}{6 * (1 + \left(\left(2 * \frac{0{,}2523}{0{,}607}\right)\right))}\right) = 0{,}1365\ tf * m$$

Espessura da placa :

$$h = \sqrt{\left(\frac{(6 * 0{,}1365)}{188}\right)} = 0{,}0660\ m = 6{,}60cm$$

Como a espessura do pavimento de concreto adotado de 15 cm é superior à altura mínima encontrada no cálculo de 6,60 cm (Satisfaz).

Dimensionamento da placa de concreto :

Para o dimensionamento da placa de concreto do pavimento deve-se usar o valor máximo dos momentos fletor:

$$Md\ critico\ = \gamma * Mcritico$$

$$Md\ critico\ = 1{,}40 * 0{,}1365$$

$$Md\ critico\ = 0{,}1911tf * m$$

Cálculo do kmd do aço adotado CA-60:

$$Kmd = \frac{0{,}1911\ tf*,m}{1*(0{,}10)^2*2142{,}85} = 0{,}00892$$

$$\varepsilon = \frac{5220\ kg/cm^2}{205.000.000.00/10000} = 2{,}55\ ^{\circ}/_{\circ\circ}$$

$$fyd = \frac{6000}{1{,}15} = 5214{,}39\frac{kg}{m^2} = \frac{5{,}22tf}{cm^2}$$

y *= 1,15*

$$Kx = \frac{3{,}50}{(3{,}50 +\ 2{,}55)} = 0{,}5785$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * kx)$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * 5785)$$

$$kz = 0{,}7686$$

$$kmd\ 2 = 0{,}68 * 0{,}5785 * 0{,}7686 = 0{,}302$$

O valor do kmd 1 < kmd 2, onde o concreto não rompe por ruptura frágil

Cálculo do Kx:

$$0{,}272 * Kx^2 - 0{,}68Kx + 0{,}00089 = 0$$

$$\frac{-0{,}68 \pm \sqrt{0{,}68^2 - 4 * 0{,}272 * 0{,}00089}}{2 * 0{,}272}$$

$$x' = 2{,}48$$

$$x'' = 0{,}01305$$

$$X'ln = x' * h = 2{,}48 * 15\ cm = 37{,}2\ cm$$

$$X''ln = x'' * h = 0{,}01305 * 15\ cm = 0{,}1957\ m$$

Adotar o xln de acordo com qual ficará dentro da seção transversal, ou seja, o X'' ln permanece dentro da seção transversal do pavimento com altura de h=15 cm.

Cálculo do Kz:

$$Kz = 1 - (0{,}4 * Kx)$$

$$Kz = 1 - (0{,}4 * 0{,}0135)$$

$$Kz = 0{,}9946$$

Cálculo da armadura necessária para combater o Momento Fletor Critico:

$$As = \frac{0{,}1911\ tf/cm^2}{(0{,}9946 * 0{,}10 * 5{,}22tf/cm^2)} = 0{,}368\ \ cm^2/m$$

Área de Aço Calculado	As=0,368 cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada Gerdau	As = 0,61 cm²/m

Anexo IV → Tela Q61

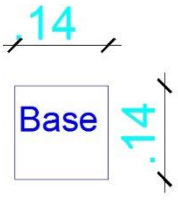
Análise de Pavimento de Concreto Armado para Cargas Moveis e Estáticas

4.11- Dimensionamento de acordo com Neto (2013), Carga Móvel: AM5

4.11.1- Geometrias e cargas de estante aplicadas sobre o pavimento

A capacidade máxima é de 1000 kgf, sendo 4 andares de estante.

Os pilares intermediarias recebem a maior parcela da carga equivalente.



Base da estante

Sendo assim 4 andares, tem-se uma carga total de :4x 1 tf = 4000 kgf

Se dividido 4 tf/ 4 pilares, obterá 1 tf.

Como as estantes estão montadas de modo contíguo, percebe-se que cada um dos pilares de divisa acaba por absorver o dobro da carga dos pilares de periferia. Sendo assim, para a situação a seguir, os pilares intermediários acabam por receber o dobro de cargas dos pilares de periferia.

Portanto a carga aplicada nos pilares intermediarias, 2* 1tf= 2tf

Tensão aplicada pela chapa de base no pavimento

Raio de Rigidez:

$$l = 0{,}607\ m$$

$$TADM = 188\frac{tf}{m^2}$$

$$T = \frac{P}{AC} \leq 4{,}2 * Fctmk$$

$$T = \frac{2}{0{,}14 * 014} \leq 4{,}2 * 188\frac{tf}{m^2}$$

$$T = 102{,}04\frac{tf}{m^2} \leq 789{,}6\frac{tf}{m^2}\,(Satisfaz)$$

Como a tensão resistente do pavimento de concreto (4,2*fctm,k) é superior à tensão solicitante (Tplaca), o pavimento satisfaz a aplicação de tensão aplicada pela chapa de base do pilar da estante.

Cálculo do Momento Fletor:

$$a = \sqrt{\left(\frac{196\ cm^2}{\pi}\right)} = 7{,}90\ cm^2$$

$$M = \left(\frac{2}{6 * (1 + \left(\left(2 * \frac{0{,}079}{0{,}607}\right)\right))}\right) = 0{,}2645\ tf * m$$

Espessura da placa:

$$h = \sqrt{\left(\frac{(6 * 2484)}{188}\right)} = 0{,}0890\ m = 8{,}90\ cm$$

Como a espessura do pavimento de concreto adotado de 15 cm é superior à altura mínima encontrada no cálculo de 8,9 (Satisfaz).

Dimensionamento da placa de concreto

Para o dimensionamento da placa de concreto do pavimento deve-se usar o valor máximo dos momentos fletor:

$$Md\ critico\ = \gamma * Mcritico$$

$$Md\ critico\ = 1{,}40 * 0{,}26$$

$$Md\ critico\ = 0{,}37tf * m$$

Cálculo do kmd do aço adotado CA-60

$$Kmd = \frac{0{,}37\ tf*,m}{1*(0{,}10)^2*2142{,}85} = 0{,}00174$$

$$\varepsilon = \frac{5220\ kg/cm^2}{205.000.000.00/10000} = 2{,}55\ ^{\circ}/_{\circ\circ}$$

$$fyd = \frac{6000}{1{,}15} = 5214{,}39\frac{kg}{m^2} = \frac{5{,}22tf}{cm^2}$$

y *= 1,15*

$$Kx = \frac{3{,}50}{(3{,}50 + 2{,}55)} = 0{,}5785$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * kx)$$

$$kz = 1 - (0{,}4 * 5785)$$

$$kz = 0{,}7686$$

$$kmd\ 2 = 0{,}68 * 0{,}5785 * 0{,}7686 = 0{,}302$$

O valor do kmd 1 < kmd 2, onde o concreto não rompe por ruptura frágil

Cálculo do Kx:

$$0{,}272 * Kx^2 - 0{,}68Kx + 0{,}00174 = 0$$

$$\frac{-0{,}68 \pm \sqrt{0{,}68^2 - 4 * 0{,}272 * 0{,}00174}}{2 * 0{,}272}$$

$$x' = 2{,}76$$

$$x'' = 0{,}2642$$

$$X'ln = x' * h = 2{,}76 * 15\ cm = 41{,}46\ cm$$

$$X''ln = x'' * h = 0{,}2642 * 15\ cm = 3{,}96\ cm$$

Adotar o xln de acordo com qual ficara dentro da seção transversal, ou seja, o X’’ ln permanece dentro da seção transversal do pavimento com altura de h=15 cm

Cálculo do Kz:

$$Kz = 1 - (0{,}4 * Kx)$$

$$Kz = 1 - (0{,}4 * 0{,}2642)$$

$$Kz = 0{,}8943$$

Cálculo da armadura necessária para combater o Momento Fletor Critico:

$$As = \frac{0{,}37\ tf/cm^2}{(0{,}8943 * 0{,}10 * 5{,}22 tf/cm^2)} = 0{,}79\ \ cm^2/m$$

Área de Aço Calculado	As=0,79cm²/m
Área de Aço tela soldada Nervurada Gerdau	As = 0,92 cm²/m

Anexo IV → Tela Q92

4.12- Apresentação e Análise dos resultados obtidos

A tabela 7 demonstra os resultados obtidos pelos dois métodos de cálculos, como também, estão sendo representadas as armaduras encontradas para o pavilhão industrial. Pode-se observar que os resultados obtidos são muito próximos, onde a diferença de armadura pelos dois métodos é muito pequena, sendo assim, aceitável.

Tabela 4-Armadura Calculada

AM	Neto 2013	Rodrigues e Pitta 1997
AM1	AS=4,665 cm²/m – 2xTela Q246	AS=4,28 cm²/m – 2xTela Q246
AM2	AS=4,65 cm²/m – 2xTela Q246	AS=4,56 cm²/m – 2xTela Q246
AM3	AS=4,00 cm²/m – 2xTela Q246	AS=3,84 cm²/m – 2xTela Q196
AM4	AS=0,368 cm²/m – Tela Q61	
AM5	AS=0,79 cm²/m- Tela Q92	

Como podemos observar na armadura externa AM1, obteve-se dois resultados de área de aço, pelo método de Neto (2013) (As=4,665 cm²/m) e pelo método de Rodrigues e Pitta (1997) (As=4,28 cm²/m), assim se encontra pelos dois métodos, duas tela soldada Gerdau

Q246, a armadura escolhida tem a função de resistir os esforços de um caminhão BI trem eixo tandem duplo, com carga máxima de 17 tf por eixo.

Para armadura AM2, o aço calculado por de Neto (2013) (As=4,65 cm²/m) e pelo método de Rodrigues & Pitta (1997) (As=4,56 cm²/m), a tela soldada Gerdau escolhida 2x Tela Q246, sendo que a armadura deverá resistir os esforços de um caminhão do tipo silhueta com eixo simples, com carga máxima de 10 tf.

Observa-se que foi encontrada a mesma armadura para a carga de 17 tf e 10 tf e que a diferença de carga chega a ser quase 60%. Esses valores encontrados próximo, porque a espessura do piso utilizada em cálculo para 17 tf foi de 20 cm e para 10 tf 15 cm, ou seja, como foi aumentado a espessura do pavimento externo para 20 cm a armadura tende a ser menor do que com a mesma carga para um pavimento com 15 cm, com isso conclui-se que a altura do pavimento influencia o cálculo da armadura e o concreto tem extrema importância tanto como o aço para resistir os esforços.

Na armadura AM3, obtêm-se dois tipos de telas soldadas, pelo método de Neto (2013) a área de aço encontrada As=4,00 cm²/m e pelo método de Rodrigues & Pitta (1997) As=3,84 cm²/m. Observa-se que a diferença de área de aço é aceitável, as telas de aço encontradas por Neto (2013) 2x Tela Q246, e por Rodrigues & Pitta (1997) 2xTela Q196.

Como vamos adotar a favor da segurança do pavimento, adota-se a maior área de aço, sendo o valor encontrado por Neto (2013) 2xTela Q246.Área de aço encontrada tem a função de resistir os esforços de uma empilhadeira HELI CPCD40, com capacidade de carga de 4000 kgf.

Para dimensionamento das cargas estáticas foi utilizado apenas Neto (2013), pois Rodrigues & Pitta (1997) não apresentam método de cálculo para cargas estáticas. A área de aço encontrada para AM4 As=0,368, obtendo-se uma tela de aço Q61. A armadura encontrada devera resistir aos esforços transmitidos pelo equipamento de 30 tf.

A armadura encontrada pra resistir os esforços transmitidos pela estante de 4 andares, com sua capacidade máxima de carga sendo de 1 tf é de AM5 As=0,79 cm²/m encontrando uma tela solada Gerdau Q92.

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1- Conclusões

Para que ocorra um a avanço na indústria da construção civil, deve-se buscar um aperfeiçoamento de novos materiais e métodos. Como também o desenvolvimento de novas técnicas deve ser vital, para que esta indústria obtenha um progresso significativo. Contudo, é necessária a busca de novas alternativas, já que, nos últimos anos, diversas patologias em pisos industriais vêm sendo relatadas.

As patologias em pisos industriais pode estar relacionadas com o crescimento recente nas industrias, no Brasil, foi em torno de 2000, e isso resultou-se por possuir poucos profissionais com qualificação nessa área, suas vantagens são extraordinárias comparadas com outros tipos de pavimentos rígidos e pavimentos flexível, a suas vantagens como: redução de espessura do concreto, maior espaçamento entre juntas, menor gasto com preparação de sub-base, grande durabilidade, baixa manutenção, resistência a solventes e menor o consumo de combustível, suas vantagens não vem sendo percebido em pratica.

O dimensionamento das placas de concreto armado, está diretamente ligadas com as patologias nos pisos de concreto armado, quando elas são devidamente dimensionadas, funcionam sozinhas como dupla função de uma camada de revestimento de base, devido à grande capacidade de receber esforços com cargas elevadas.

Para a construção de placas de concreto armado de qualidade o dimensionamento é de suma importância, mas ele só deve ser considerado importante, quando compartilhado com o sucesso na execução e na escolha adequada do concreto. O concreto edita totalmente a qualidade do piso, desta forma buscando o melhor desempenho destas características: o teor de argamassa, a espessura do piso, o tamanho do agregado, o slump, a resistência característica, o fator de água cimento.

O presente trabalho apresentou o dimensionamento de um pavimento de concreto armado, sendo que o pavimento foi dimensionado para cargas moveis e estáticas, para cargas moveis foi utilizado dois métodos de cálculo Neto (2013) e Rodrigues & Pitta (1997), e para cargas estáticas, apenas o método de Neto (2013), os resultados obtidos por ambos os métodos foi satisfatório.

Os valores encontrados pelos dois métodos foi muito próximos, sendo assim aceitável. Também se observou que a espessura do piso influencia muito para o cálculo da armadura de aço, que para uma carga de 17 tf com 20 cm e para carga 10 tf 15 cm, a diferença de armadura de ambas foi muito pequena, e sim o concreto tem extrema importância tanto com o aço para resistir os esforços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

___. NBR 5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.9 p.

___.NBR 5739: Concreto-Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.9 p.

BALDO, José Tadeu. **Pavimentos Viários e Pisos Industriais.** In: ISAIA, Geraldo Cechella (ed.) Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. Vol 2 cap 42, p. 1297-1332.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção.** 5 ed.revisada. Revisão técnica: joão Fernando Dias. Rio de Janeiro, RJ:LTC, 2000.

CAMPOS, Ana Paula. **Diretrizes para elaboração de projetos de pisos e pavimentos de concreto estruturalmente armado.** Atuação e formação.2009.110f. Projeto de conclusão de curso- Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzi, São Paulo,1896.

CHODOUNKY, M.A., VIECILI, F.A **Pisos Industriais de Concreto:** aspectos teóricos e executivos. São Paulo: Reggenza, 2007.

CRISTELLI, Rafael. **Pavimento industriais de concreto.** Atuação e formação.2010.161f. Monografia apresentada ao curso de especialização em construção civil-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,1912.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. 247p.

DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem: Norma Rodoviária, RJ, 1997.

FIGUEREDO, A.D. **Concreto com fibras de aço.** São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. Boletim Técnico PCC/260.

GUIMARÃES, Diego. **Pisos industriais em concreto: determinação de teores de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos.** Atuação e formação. 2010.90. Projeto de conclusão do curso-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HELENE, Paulo; TERZIAN, **Paulo. Manual de dosagem e Controle do Concreto.** São Paulo: Pini; 1992. 349 p.

JUNIOR, Jocerlando Carvalho Santos, NASCIMENTO, Sergio Carlos Salles. **Estudos dos pavimentos industriais de concreto e projeto de juntas.** Concluinte do Curso de Engenharia Civil-Universidade Católica do Salvador.2012

JÙNIOR, Lucas Alberto V.JUNIOR, Paulo Francinete S.IV Seminario de Iniciação Científica.2006

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 3.ed., 2008, 674p.

MEHTA, Providar Kumar; MONTEIRO, Paulo. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994.

MILANI, A.C. **Análise de Laje Planas Protendidas Pelo Método dos Elementos Finitos.** 2006.123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NETO, Jary de Xerez. Pavimentos **Usuais de Concreto para Cargas Simples.** 1ª edição. São Paulo. Pini, 2013.163 f.

NETO, Jary de Xerez. **Pavimentos Usuais de Concreto para Tráfegos de Máquinas Ultrapesadas.** 1ª edição. São Paulo. Pini, 2013.154 f.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industrias de concreto.** São Carlos, 216 p. Dissertação (mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

OLIVEIRA, Patricia Lizi de Oliveira. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto.** Atuação e formação.2000.246 f. Dissertação de Mestrado –Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1970.

PITTA, Márcio Rocha. **Construção de pavimentos de concreto simples.** Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1988.

RODRIGUES, Públio P. F. **Pavimentos Industriais de Concreto Armado: Projetos e Critérios Executivos.** Instituto Brasileiro de Tela Soldada, IBTS, São Paulo, 2006 – 2ª Edição. Caps. 4, 5 e 6, p 45-74.

RODRIGUES, Públio P. F.; GASPARETTO, Wagner E. Juntas em Pisos Industriais de Concreto. Revista Téchne, Set/Out-99.

Rodrigues, Públio Penna Firme e Pitta, Márcio Rocha: Pavimento de Concreto. Revista Ibracon nº 19, São Paulo, 1997.

RODRIGUES, Públio Penna Firme, CASSARO, Caio Franscino. **Pisos Industriais de Concreto Armado.** São Paulo, 1998. 93 f.

RODRIGUES, Públio. **Manual de Pisos Industriais:** fibras de aço e protendido. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2010.

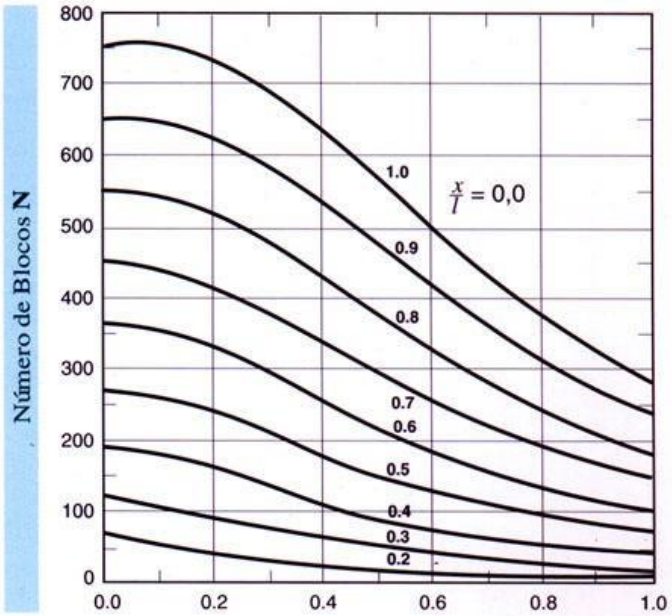
RODRIGUES, Públio; BOATACINI, Silvia; GASPARETTO, Wagner. **Manual Gerdaul de Pisos Industriais.** 1ª ed. São Paulo: Pini, 2006.

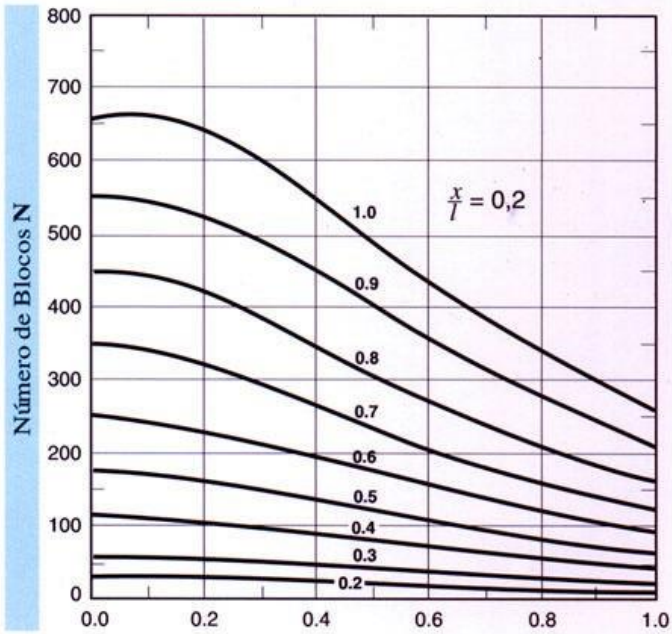
ZEMZEN, Alessandro. **Comparação de métodos de cálculo para determinação dos momentos fletores em lajes de concreto armado.** Atuação e formação. 2012.91f. Projeto de conclusão do curso- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijui, 2002.

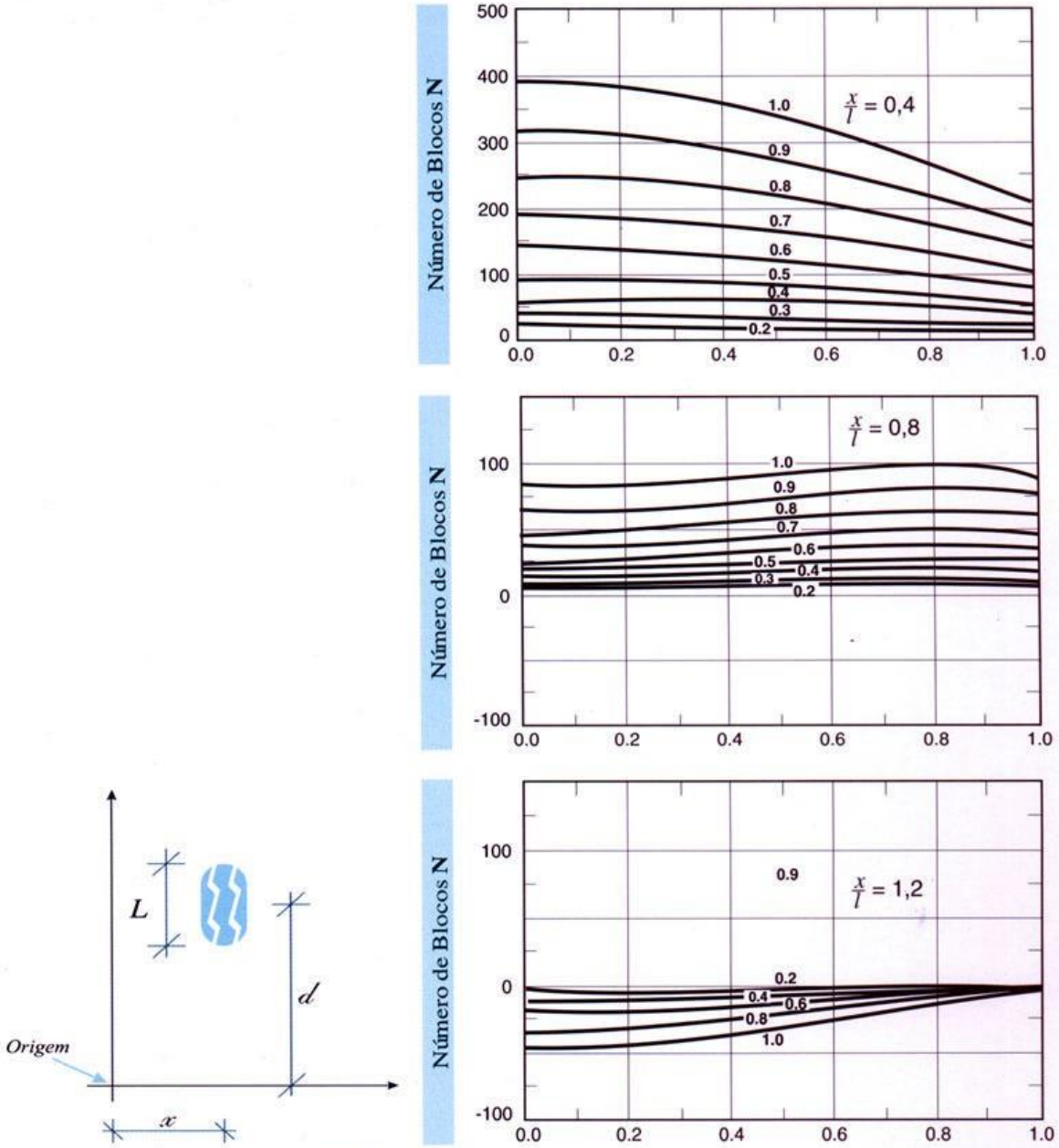
Anexo I-Cartas de Influência nº 2

Carta de influência nº 2

FIGURA 3 Número de Blocos N para carga no interior da placa







NOTAS:

Os números das curvas indicam a relação entre L/ℓ

Considerado a sub-base como sendo um líquido denso

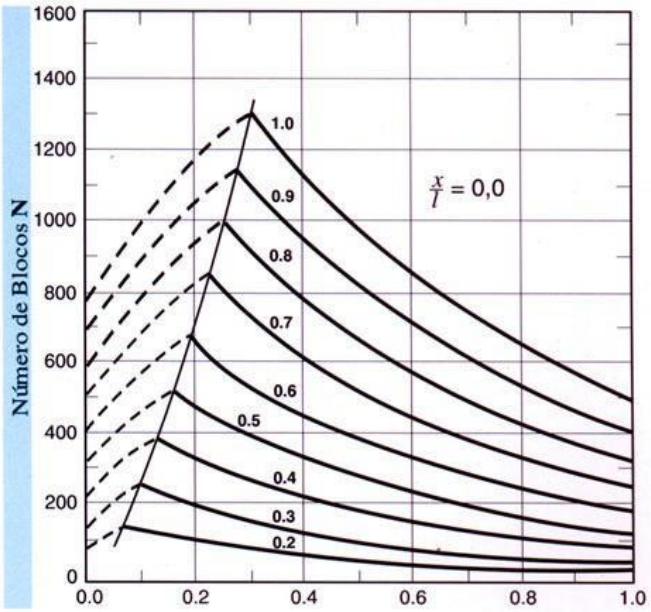
Coeficiente de Poisson (υ) = 0,15

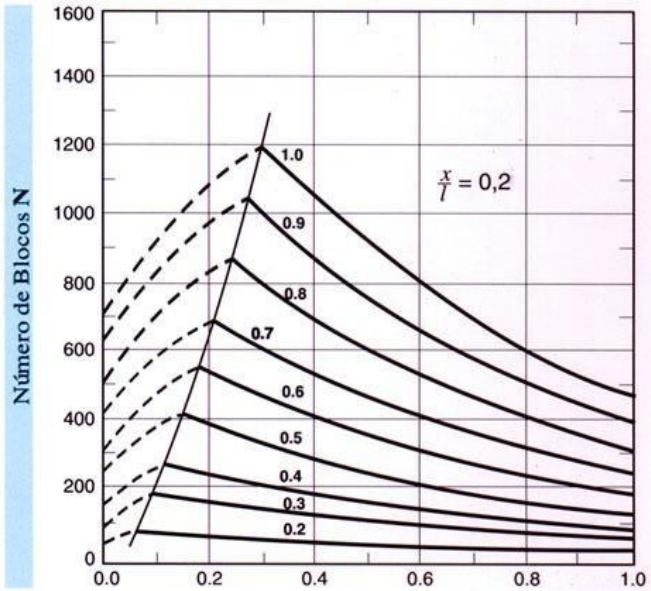
fonte: Principles of Pavement Design (Bibliografia 10)

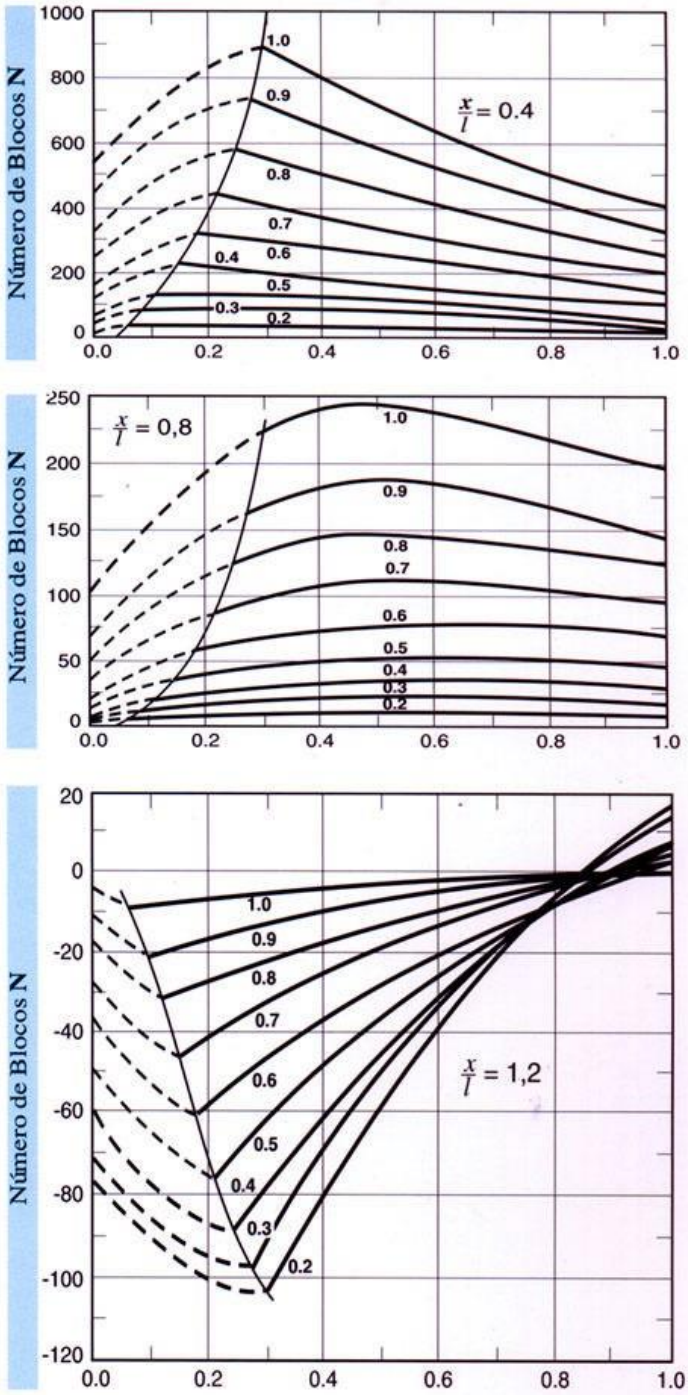
Anexo II-Cartas de Influência nº 6

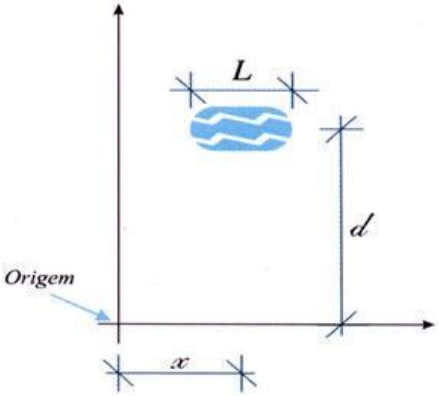
Carta de influência nº 6

FIGURA 4 Número de Blocos **N** para carga na borda livre longitunal da placa









NOTAS:

Os números das curvas indicam a relação entre L/ℓ

Considerado a sub-base como sendo um líquido denso

Coeficiente de Poisson (υ) = 0,15

fonte: Principles of Pavement Design (Bibliografia 10)

Anexo III-Valores de K3

TABELA 6 Valores de k_3

Flexão normal simples seção retangular

$\gamma_f = 1,4$

$\gamma_c = 1,4$

$\gamma_s = 1,15$

Valores de k_6 para concreto de f_{ck} igual a:					Valores de k_3
25	26	27	28	30	CA-60
18.638	17.921	17.257	16.641	15.531	0,269
4.710	4.529	4.361	4.206	3.925	0,270
2.118	2.036	1.961	1.891	1.726	0,271
1.206	1.159	1.116	1.077	1.005	0,272
781,7	751.7	723,8	698,0	651,4	0,273
550,4	529,2	509,6	491,4	458,6	0,274
410,3	394,5	379,9	366,3	341,9	0,275
319,0	306,7	295,4	284.8	265,8	0,276
256,2	246,4	237,2	228,8	213,5	0,277
211,2	203,1	195,6	188,6	176,0	0,278
177,8	171,0	164,7	158,8	148,2	0,279
152,4	146,6	141,1	136,1	127,0	0,280
132,7	127,6	122,9	118,5	110,6	0,282
117,1	112,6	108,4	104,5	97,54	0,283
104,5	100,5	96,75	93,30	87,08	0,284
94,30	90,67	87,31	84,19	78,58	0,285
85,94	82,63	79,57	76,73	71,62	0,287
79,01	75,98	73,16	70,55	65,85	0,288
73,19	70,37	67,77	65,35	60,99	0,290
68,22	65,60	63,17	60,91	56,85	0,291
63,94	61,48	59,20	57,09	53,28	0,293
60,20	57,89	55,74	53,75	50,17	0,294
56,92	54,73	52,70	50,82	47,43	0,296
54,01	51,93	50,01	48.23	45,01	0,298
51,42	49,44	47,61	45,91	42,85	0,299
49.14	47.15	45,50	43,87	40,95	0,301
47,54	45,71	44,02	42,44	39,62	0,302
46,06	44,28	42,64	41,12	38,38	0,304
44,68	42,96	41,37	39,89	37,23	0,305
43,39	41,73	40,18	38,75	36,16	0,307
42,20	40,57	39,07	37,67	35,16	0,308
41,07	39,49	38,03	36,67	34,23	0,309
40,02	38,48	37,06	35,73	33,35	0,311
39,03	37,53	36,14	34,85	32,53	0,312
38,10	36,64	35,28	34,02	31,75	0,314
37,22	35,79	34,47	33,24	31,02	0,316
36,40	35,00	33,70	32,50	30,33	0,317
35,61	34,24	32,97	31,80	29,68	0,319
34,87	33,53	32,29	31,14	29,06	0,320
34,17	32,86	31,64	30,51	28,47	0,322
33,50	32,22	31,02	29,91	27,92	0,324
32,87	31,61	30,44	29,35	27,39	0,325
32,27	31,03	29,88	28,81	26,89	0,327

fonte: Adaptado de Cálculo de Concreto Armado, segundo a Nova NB-1 e o CEB (Bibliografia 12)

Anexo IV –Tela Soldada Nervurada Gerdau

Série	Designação	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Rolo/Painel	Largura	Comprc	kg/m²	kg/peça
61	Q 61	15	15	3,4	3,4	0,61	0,61	Rolo	2,45	120,00	0,97	285,2
61	Q 61	15	15	3,4	3,4	0,61	0,61	Painel	2,45	6,00	0,97	14,25
75	Q 75	15	15	3,8	3,8	0,75	0,75	Rolo	2,45	120,00	1,21	355,7
75	Q 75	15	15	3,8	3,8	0,75	0,75	Painel	2,45	6,00	1,21	17,81
92	Q 92	15	15	4,2	4,2	0,92	0,92	Rolo	2,45	60,00	1,48	217,6
92	Q 92	15	15	4,2	4,2	0,92	0,92	Painel	2,45	6,00	1,48	21,8
113	Q 113	10	10	3,8	3,8	1,13	1,13	Rolo	2,45	60,00	1,80	264,6
113	Q 113	10	10	3,8	3,8	1,13	1,13	Painel	2,45	6,00	1,80	26,46
138	Q 138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	Rolo	2,45	60,00	2,20	323,4
138	Q 138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	Painel	2,45	6,00	2,20	32,3
159	Q 159	10	10	4,5	4,5	1,59	1,59	Painel	2,45	6,00	2,52	37,0
196	Q 196	10	10	5,0	5,0	1,96	1,96	Painel	2,45	6,00	3,11	45,7
246	Q 246	10	10	5,6	5,6	2,46	2,46	Painel	2,45	6,00	3,91	57,5
283	Q 283	10	10	6,0	6,0	2,83	2,83	Painel	2,45	6,00	4,48	65,9
335	Q 335	15	15	8,0	8,0	3,35	3,35	Painel	2,45	6,00	5,37	78,9
396	Q 396	10	10	7,1	7,1	3,96	3,96	Painel	2,45	6,00	6,28	92,3
503	Q 503	10	10	8,0	8,0	5,03	5,03	Painel	2,45	6,00	7,97	117,2
636	Q 636	10	10	9,0	9,0	6,36	6,36	Painel	2,45	6,00	10,09	148,3
785	Q 785	10	10	10,0	10,0	7,85	7,85	Painel	2,45	6,00	12,46	183,2
92	T 92	30	15	4,2	4,2	0,46	0,92	Rolo	2,45	120,00	1,12	329,3
113	T 113	30	10	3,8	3,8	0,38	1,13	Rolo	2,45	60,00	1,22	179,34
138	T 138	30	10	4,2	4,2	0,46	1,38	Rolo	2,45	60,00	1,49	219,0
196	T 196	30	10	5,0	5,0	0,65	1,96	Painel	2,45	6,00	2,11	31,0
246	T 246	30	10	5,6	5,6	0,82	2,46	Painel	2,45	6,00	2,64	38,8
283	T 283	30	10	6,0	6,0	0,94	2,83	Painel	2,45	6,00	3,03	44,54
335	T 335	30	15	6,0	8,0	0,94	3,35	Painel	2,45	6,00	3,45	50,7
503	T 503	30	10	6,0	8,0	0,94	3,35	Painel	2,45	6,00	4,76	70,0
113	L 113	10	30	3,8	3,8	1,13	0,38	Rolo	2,45	60,00	1,21	177,9
113	L 113	10	30	3,8	3,8	1,13	0,38	Painel	2,45	6,00	1,21	17,72
138	L 138	10	30	4,2	4,2	1,38	0,46	Rolo	2,45	60,00	1,47	216,1
138	L 138	10	30	4,2	4,2	1,38	0,46	Painel	2,45	6,00	1,47	21,64
159	L 159	10	30	4,5	4,5	1,59	0,53	Painel	2,45	6,00	1,69	24,8
196	L 196	10	30	5,0	5,0	1,96	0,65	Painel	2,45	6,00	2,09	30,7
246	L 246	10	30	5,6	5,6	2,46	0,82	Painel	2,45	6,00	2,62	38,5
283	L 283	10	30	6,0	6,0	2,83	0,94	Painel	2,45	6,00	3,00	44,1
335	L 335	15	30	8,0	6,0	3,35	0,94	Painel	2,45	6,00	3,48	51,2
396	L 396	10	30	7,1	6,0	3,96	0,94	Painel	2,45	6,00	3,91	57,5
503	L 503	10	30	8,0	6,0	5,03	0,94	Painel	2,45	6,00	4,77	70,1
636	L 636	10	30	9,0	6,0	6,36	0,94	Painel	2,45	6,00	5,84	85,8
785	L 785	10	30	10,0	6,0	7,85	0,94	Painel	2,45	6,00	7,03	103,3
138	R 138	10	15	4,2	4,2	1,38	0,92	Painel	2,45	6,00	1,83	26,9
159	R 159	10	15	4,5	4,5	1,59	1,06	Painel	2,45	6,00	2,11	31,0
196	R 196	10	15	5,0	5,0	1,96	1,30	Painel	2,45	6,00	2,60	38,2
246	R 246	10	15	5,6	5,6	2,46	1,64	Painel	2,45	6,00	3,26	47,9
283	R 283	10	15	6,0	6,0	2,83	1,88	Painel	2,45	6,00	3,74	55,0
138	M 138	10	20	4,2	4,2	1,38	0,69	Painel	2,45	6,00	1,65	24,3
159	M 159	10	20	4,5	4,5	1,59	0,79	Painel	2,45	6,00	1,90	27,9
196	M 196	10	20	5,0	5,0	1,96	0,98	Painel	2,45	6,00	2,34	34,4
246	M 246	10	20	5,6	5,6	2,46	1,23	Painel	2,45	6,00	2,94	43,2
283	M 283	10	20	6,0	6,0	2,83	1,41	Painel	2,45	6,00	3,37	49,5

Fonte: https://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download/catalogos/catalogo_aco_para_constru%C3%A7ao_civil.pdf