

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Apesar do advento de ferramentas como os programas computacionais desenvolvidos através dos métodos numéricos que permitem estudos mais detalhados a respeito do comportamento das placas de concreto sobre base elástica, os métodos de dimensionamento tradicionais são constantemente utilizados pelos profissionais especialistas em pavimentos e pisos industriais de concreto.

Através do desenvolvimento dos modelos unidimensionais (programa *Ftool* versão 3.00) o estudo busca uma abordagem simplificada para um problema complexo, envolvendo interação solo - estrutura. Ressalta-se que o objetivo principal não é apresentar uma solução conclusiva e sim, demonstrar que é possível obter resultados aproximados de momentos fletores (M) e deflexões (ω), de modo a efetuar um breve pré-dimensionamento das espessuras das placas de concreto simples sobre base elástica (representada através do modelo de Winkler) quando submetidas ao tráfego de empilhadeiras e avaliar o comportamento dessas estruturas em função do conjunto subleito - sub-base (k_{inc}).

Já, por meio do desenvolvimento dos modelos bidimensionais (programa *SAP 2.000* versão 14.2) o estudo visa alcançar resultados mais próximos ao comportamento real do conjunto solo – estrutura e, dessa forma, incrementar os parâmetros inerentes ao projeto estrutural no tocante ao pré-dimensionamento da espessura da placa de concreto e a análise de modelos numéricos, complementando as metodologias usuais de cálculo.

Ao concluir a análise dos resultados, espera-se contribuir de forma significativa com os métodos tradicionais de cálculo, auxiliando no pré-dimensionamento e na análise numérica das placas de concreto sobre base elástica para pisos industriais, mais especificamente, quando submetidas à ação direta de cargas estáticas e móveis decorrentes do tráfego de empilhadeiras com rodames pneumáticos e eixo de rotação simples e duplo.

Subleito e sub-base: Módulo de reação

Ao se aplicar os métodos de dimensionamento das placas de concreto para pisos industriais (ver Anexo B), observa-se que a variação do módulo de resistência do subleito (k) tem pouca influência na determinação da espessura. Logo, assim como os pavimentos rodoviários de concreto, os pisos industriais também podem ser construídos sobre solos de baixa resistência, desde que haja o emprego de sub-bases a fim de regularizar e incrementar a resistência do subleito, além de reduzir o processo de bombeamento de finos, mais comum em pavimentos rodoviários, mas não menos importante.

Através da análise dos modelos numéricos unidimensionais e bidimensionais, observa-se que o módulo de reação do sistema subleito – sub-base (k_{inc}) influencia diretamente os resultados, principalmente as deflexões máximas ($\omega_{máx}$). Quanto maior o valor do módulo de reação da base elástica (k_{inc}) da placa, menor a deflexão máxima ($\omega_{máx}$) no ponto de aplicação da carga P e vice versa.

Área de contato entre o pneu e a placa de concreto (A)

Os parâmetros dos resultados teóricos são fundamentados nas hipóteses consideradas pelo modelo analítico de Westergaard. Entre elas, destaca-se o fato da área de contato entre o pneu e a placa de concreto apresentar forma geométrica circular (Caso I – canto e Caso II – interior) e semicircular (Caso III – borda) (ver Figura 4.5).

A partir da análise dos resultados apresentados pelos modelos numéricos bidimensionais (placas de concreto simples sobre base elástica), observa-se que há diferenças significativas entre os esforços resultantes dos modelos cuja configuração é carga concentrada no interior da placa (Caso II – a) e os esforços resultantes dos modelos cuja configuração é carga uniformemente distribuída sobre a área de contato entre o pneu e a placa de concreto com forma geométrica retangular (Caso II – b), em média 43,00%.

Para a primeira configuração de carga (Caso II – a), os resultados apresentados pelos modelos são superiores aos resultados teóricos, ou seja, para os quatro modelos estudados há um acréscimo considerável nos valores dos momentos fletores máximos ($M_{máx}$). A princípio, nota-se que essa configuração de

carga tende a superdimensionar a estrutura e, conseqüentemente, torna a execução do projeto menos econômica.

Para a segunda configuração de carga (Caso II – b), os resultados apresentados pelos modelos são inferiores aos resultados teóricos, isto é, para os quatro modelos estudados há um decréscimo considerável nos valores dos momentos fletores máximos ($M_{máx}$). A priori, nota-se que quando se adota a área de contato com forma geométrica retangular, tende-se a gerar esforços resultantes inferiores aos gerados quando se adota a área de contato com forma geométrica circular ou semicircular.

Usualmente, nos métodos tradicionais de dimensionamento das placas de concreto para pisos industriais, adota-se a área de contato com forma geométrica retangular e, geralmente, os resultados apresentados são satisfatórios, técnica e economicamente.

Representação do modelo analítico de Westergaard através dos modelos numéricos unidimensionais e bidimensionais

Quanto aos resultados teóricos, os momentos fletores máximos ($M_{máx}$) apresentados pelos modelos analisados atendem aos critérios de projeto, ou melhor, aos momentos fletores máximos do concreto (momentos de fissuração do concreto simples) - M_1 ou M_2 , conforme verificado anteriormente.

Para a carga situada no canto da placa de concreto (Caso I), após a análise dos resultados, observa-se que tanto os modelos numéricos unidimensionais (vigas de concreto sobre base elástica) quanto os modelos numéricos bidimensionais (placas de concreto sobre base elástica) apresentam momentos fletores máximos ($M_{máx}$) muito próximos aos resultados teóricos e entre si. Para o Caso I, os modelos numéricos unidimensionais e bidimensionais representam eficientemente o modelo analítico de Westergaard.

Para a carga situada no interior da placa de concreto (Caso II), observa-se que para ambas as configurações de carga (Caso II – a e Caso II – b), os modelos numéricos bidimensionais apresentam resultados coerentes. Através da análise dos resultados, nota-se que a forma geométrica da área de contato entre o pneu e a placa de concreto interfere de forma significativa nos valores dos momentos fletores máximos ($M_{máx}$). No entanto, vale ressaltar que os modelos numéricos

bidimensionais desenvolvidos neste trabalho não representam o modelo analítico proposto por Westergaard para o Caso II porque as formas geométricas da área de contato entre o pneu e a placa de concreto são diferentes. Todavia, pode-se observar que, para as considerações de projeto, os modelos referentes ao Caso II – b são eficientes no tocante ao pré-dimensionamento da espessura da placa de concreto simples.

Para a carga situada na borda da placa de concreto (Caso III), observa-se que tanto os modelos numéricos unidimensionais quanto os modelos numéricos bidimensionais apresentam resultados consideravelmente inferiores aos resultados teóricos. Destaca-se que para os modelos unidimensionais essa diferença se encontra em torno de 46,00% tanto para os momentos fletores transversais máximos ($M_{tmáx}$) quanto para os momentos fletores longitudinais máximos ($M_{lmáx}$). Já, para os modelos bidimensionais essa diferença se encontra em torno de 35,00% para os momentos fletores transversais máximos ($M_{tmáx}$) e 85,00% para os momentos fletores longitudinais máximos ($M_{lmáx}$). Para o Caso III, os modelos numéricos unidimensionais e bidimensionais não representam eficientemente o modelo analítico de Westergaard.

Pré-dimensionamento das placas de concreto simples sobre base elástica para pisos industriais através dos modelos numéricos unidimensionais

A partir do desenvolvimento dos modelos numéricos unidimensionais (programa *Ftool* versão 3.00) – vigas de concreto simples sobre base elástica; busca-se abordar de forma mais simples um problema complexo, envolvendo interação solo – estrutura, visando à possibilidade de realizar o pré-dimensionamento das placas de concreto simples sobre base elástica para pisos industriais quando sujeitas ao tráfego de empilhadeiras. Os resultados analisados são eficientes, mas há restrições que devem ser consideradas.

Nos métodos usuais de dimensionamento dos pisos industriais de concreto, considera-se que as cargas estejam posicionadas no interior da placa (Caso II). Os modelos numéricos unidimensionais desenvolvidos neste trabalho simulam as condições de carregamento descritas pelos Casos I e III, isto é, carga posicionada no canto e na borda da placa de concreto, respectivamente. Também, ressalta-se que, para os modelos analisados, as extremidades das vigas de concreto simples

sobre base elástica são livres e que a carga estática que simula a roda do eixo dianteiro da empilhadeira é concentrada.

Primeiramente, avaliando-se a condição de carga estática (semieixo), observa-se que ao comparar os resultados dos modelos numéricos unidimensionais com os resultados teóricos e com os resultados apresentados pelos modelos numéricos bidimensionais, primeiramente, para o Caso I, tanto na direção transversal quanto na direção longitudinal da placa de concreto, os resultados são eficientes. Já, os resultados analisados para o Caso III, na direção transversal da placa, são mais eficientes que os resultados analisados na direção longitudinal da placa, no entanto, ambos estão a favor da segurança.

CONCLUIR

Modelos numéricos unidimensionais e bidimensionais: Dimensionamento da placa de concreto simples para o tráfego de empilhadeira com eixo de rodagem simples

CARGA ESTÁTICA X CARGA MÓVEL

Após a análise comparativa entre os resultados apresentados pelos modelos numéricos unidimensionais submetidos ao carregamento estático, isto é, o tráfego da empilhadeira com eixo de rodagem simples é representado por uma carga concentrada estática, conforme o modelo analítico de Westergaard - versus os resultados apresentados pelos modelos numéricos unidimensionais submetidos ao carregamento móvel, ou melhor, o tráfego da empilhadeira com eixo de rodagem simples é representado pelo deslocamento de um trem tipo característico, observa-se que para os momentos fletores negativos máximos ($M_{máx}$), em ambas as direções da placa (longitudinal e transversal), não há diferenças significativas entre os resultados sendo em sua maioria iguais. Já para os momentos fletores positivos máximos ($M^+_{máx}$), observa-se que há diferenças insignificantes entre os resultados, pois as mesmas são a favor da segurança, ou seja, os resultados dos modelos numéricos unidimensionais submetidos ao carregamento estático são um pouco superiores aos resultados dos modelos numéricos unidimensionais submetidos ao carregamento móvel.

Por fim, para os modelos numéricos unidimensionais desenvolvidos e analisados de acordo com os parâmetros e as considerações adotadas neste estudo, pode-se dizer que quanto ao fato dos métodos tradicionais de dimensionamento de placas para pisos industriais de concreto representar o tráfego das empilhadeiras através de cargas estáticas não influencia negativamente nos resultados dos esforços solicitantes, sendo o dimensionamento a favor da segurança e durabilidade da estrutura.

Agora, após a análise comparativa entre os resultados apresentados pelos modelos numéricos bidimensionais submetidos ao carregamento estático versus os resultados apresentados pelos modelos numéricos bidimensionais submetidos ao carregamento móvel, observa-se que há diferenças importantes. Primeiramente, em relação à direção longitudinal da placa de concreto, observa-se que os momentos fletores transversais máximos ($M_{tmáx}$) dos modelos numéricos bidimensionais submetidos ao carregamento estático são consideravelmente inferiores aos dos modelos numéricos bidimensionais submetidos ao carregamento móvel. Os

momentos fletores longitudinais máximos ($M_{l\text{máx}}$) dos modelos numéricos bidimensionais submetidos ao carregamento estático são superiores aos submetidos ao carregamento móveis, com exceção do Modelo I. ...

Em sua maioria, os resultados analisados apresentam diferenças consideráveis entre si, fato que, a princípio, indica que se deve levar em consideração a condição que o tráfego da empilhadeira deveria ser considerada como sendo uma carga móvel que se desloca ao longo das direções da placa de concreto e origina esforços solicitantes importantes e passíveis de interferir de forma significativa no dimensionamento das placas de concreto simples para pisos industriais sob as condições adotadas no presente estudo.

É importante considerar o deslocamento do trem tipo da empilhadeira para realizar um dimensionamento mais próximo a condição real de carregamento ao qual será submetida a placa atualmente com os recursos gráficos tecnológicos disponíveis é viável o desenvolvimento de modelos numéricos que façam essa análise tornando o dimensionamento mais eficaz e econômico.

CONCLUIR

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Subleito e sub-base: Módulo de reação (k)

O modelo de Winkler é largamente difundido no meio técnico devido ao fato de ser facilmente compreendido e introduzido em programas computacionais para análises das estruturas, apresentando respostas satisfatórias para as fundações correntes. Todavia, entre as principais desvantagens, cita-se que a ideia do modelo de utilizar molas elásticas como efeito de cálculo em substituição ao maciço de solo implica em considerar a relação tensão-deformação como linear o que para o solo, comprovadamente, não corresponde à realidade. Outra consideração não satisfatória consiste no fato de que a ocorrência das deformações é tida apenas nas regiões de aplicação das cargas, não admitindo sua dispersão ao longo da profundidade do solo o que também não corresponde ao comportamento real do solo.

Para trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de modelos numéricos de placas de concreto apoiadas sobre solos modelados como meio contínuos de modo a representar o comportamento físico do solo de forma mais condizente com a realidade.

CONCLUIR

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 5.739*: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR – 6.118*: Norma Brasileira para Projeto de estruturas de concreto armado - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6.459*: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6.484*: Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 7180*: Solo – Determinação do limite de plasticidade (LP). Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR - 7.181*: Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR – 7.211*: Norma Brasileira para Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR - 7583*: Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 9.780*: Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão (Método de ensaio). Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 9.781*: Peças de concreto para pavimentação – Especificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. *NBR - 9.895*: Norma Brasileira para Solo – Índice de suporte Califórnia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR – 11.768*: Norma Brasileira para Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 12.142*: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 15.900*: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 15.953*: Pavimentos intertravado com peças de concreto — Execução. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM 67*: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. *Artigos Técnicos*. São Paulo, 2002. Fonte: <http://www.abcp.org.br>. Consulta realizada em julho de 2012.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI, Committee 117. *Standard tolerances for concrete construction and material*. ACI 117, American Concrete Institute, Farmington Hills. Michigan, 1990.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI, Committee 302. *Guide for concrete floor and slab construction*. ACI 302.1R, American Concrete Institute, Farmington Hills. Michigan, 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO – ANAPRE. *Boletins Técnicos*. Fonte: <http://www.anapre.org.br>. Consulta realizada em agosto de 2012.

BALBO, J. T. *Proposta para execução de brita graduada tratada com cimento*. 30ª Reunião de Pavimentação. Salvador, 1996.

BALBO, J. T. *Materiais estabilizados com aglomerantes hidráulicos para pavimentos de concreto de cimento Portland*. Apostila do Curso Avançado de Pavimentos de Concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2003.

BALBO, J. T. *Pavimentos de concreto*. Oficina de textos. São Paulo, 2009.

BERNUCCI, L. B. et al. *Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros*. PETROBRAS S.A. e Associação Brasileira de Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA). Rio de Janeiro, 2008.

BIANCHI, F. R. et al. *Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível*. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. Anais do 50º CBC. Salvador, 2008.

BORDIN, V. *Água para amassamento*. Artigos técnicos, 2010. Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br>. Consulta realizada em dezembro de 2012.

BUCHER, H. R. E. e RODRIGUES, P. P. F. *Correlações entre as resistências mecânicas do concreto*. IBRACON in Seminário sobre controle da resistência do concreto. São Paulo, 1983.

CARNIO, M. A. *Análise em regime plástico de placas de concreto reforçado com fibras de aço sobre base elástica*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. São Paulo, 1998.

CARVALHO, C. S. et al. *Fundações – Teoria e Prática*. Editora PINI. São Paulo, 2002.

CAUDURO, E. L. *Manual para boa execução de estruturas protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas*. s.d.

CERQUEIRA, I. Relatório – *Slump test*. Tecnologia do concreto e da argamassa. Universidade Federal da Bahia (UFBA). Bahia, 2010.

CHODOUNSKY, M. A. & VIECILI, F. A. *Pisos industriais de concreto: Aspectos teóricos e executivos*. Reggenza. São Paulo, 2007.

CRISTELLI, R. *Pavimentos industriais de concreto – Análise do sistema construtivo*. Monografia. Curso de Especialização em Construção Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

CRONEY, D. e CRONEY, P. *The design and performance of Road pavements*. 2ª Edição. McGraw-Hill, 1991.

DAL-MASO, J. *Pisos industriais de concreto com armadura distribuída – Projeto e execução*. Projeto Final de Graduação. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Rio Grande do Sul, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). *Manual de pavimentos rígidos*. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.

FARNY, J. A. *Concrete floors on ground*. Portland Cement Association (PCA). Skokie, USA, 2001.

ISAIA, G. C. et al. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. Volume I. 1ª Edição. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). São Paulo, 2011.

HACHICH, W. et al. *Fundações, teoria e prática*. Editora PINI. São Paulo, 1996.

HANCOCK, J. e HOSSAIN, M. *Cross-tensioned concrete pavement – An alternative modern PCCP design*. Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings, 2000.

HUANG, Y. H. *Pavement analysis and design*. Editora Prentice Hall. New Jersey, 1993.

KAPLAN, M. F. *Strains and stresses of concrete at initiation of cracking and near failure*. American Concrete Institute (ACI). Detroit, 1963.

KERR, A. D. *The evolution of foundation models and analyses for concrete pavements*. International Workshop on the Design and Evaluation of Concrete

Pavements, 3. Proceedings... Krumbach: Crow-Piarc-Cembureau. Krumbach, 1994, 61 – 70 p.

LAMARCA, R. et al. *Pigmentos para concreto*. Revista Pisos Industriais, Ano 4, Edição 5, Setembro de 2006, 24 – 27 p.

LEGGERINI, M. R. C. *Resistência dos materiais I*. Notas de aula. Faculdade de Engenharia. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul (s.d.).

LIU, T. C. *Abrasion resistance*. In Significant of Tests and Properties of Concrete and Concrete Materials. ASTM, STP 169, 1994.

NEVILLE, A. *Propriedades do concreto*. Tradução Engenheiro Salvador Giammusso. Editora PINI. 2ª Edição. São Paulo, 1997.

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

ORTIGÃO, J. A. R. *Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos*. Terratek. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2007.

PACKARD, R. *Slab thickness design for industrial concrete floors on grade*. Association Concrete Information. Skokie, USA, 1976.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION – PCA. *Thickness design for concrete highway and street pavements*. Chicago, USA.

PICKETT, G. e RAY, G. K. *Influence charts for concrete pavements*. In ASCE Proceedings, 1950.

PINTO, C. de S. *Ensaio avançados de campo*. O pressiômetro de autofuração de Cambridge – Metodologia de ensaio e exemplo de aplicação a solo residual de gnaiss. EPUSP. São Paulo, 1998.

PINTO, C. DE S. *Curso básico de mecânica dos solos*. Oficina de Textos, 2ª Edição. São Paulo, 2002.

PITTA, C. de S; CARVALHO, M. D. e RODRIGUES, P. P. F. *Materiais para pavimentos de concreto simples* – ABCP et 47. São Paulo, 1981.

PITTA, M. R. *Projeto de sub-bases para pavimentos de concreto* – ET 29. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). São Paulo, 1998.

PRONK, C. e VAN DEN BOL, M.E. *Winkler, Pasternak, Kerr Foundations*. Notes on boundary conditions. Reprint of paper presented at the BCRS Conference, Trondheim, 1998.

PTI, *Post-tensioned commercial and industrial floors*. Post-Tensioning Institute. Phoenix AZ, 1983.

REVISTA LOGWEB – Referência em logística. *A maior feira de movimentação de cargas e logística do mundo agora também no Brasil*. Edição n.º 97. Março, 2010.

RODOVIAS & VIAS. *Infraestrutura e Desenvolvimento*. Ano 13. Edição 64. Abril de 2012.

RODRIGUES, P. P. F. e PITTA, M. R. *Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados*. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS). São Paulo, 1997.

RODRIGUES, P. P. F. e CASSARO, C. F. *Pisos industriais de concreto armado*. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS). São Paulo, 1999.

RODRIGUES, P. P. F. *Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado*. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS). São Paulo, 2006.

RODRIGUES, P. P. F. et al. *Manual Gerdau de pisos industriais*. PINI. São Paulo, 2006.

RODRIGUES, P. P. F. *Piso industrial protendido*. Revista Pisos Industriais, Ano 4, Edição 5. Fonte: <http://www.pisosindustriais.com.br>. Consulta realizada em 25 de junho de 2012.

RODRIGUES, P. P. F. *Pisos Industriais: Conceitos de Projeto e Execução*. 1º Seminário Anual de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (s.d.).

STRAMANDINOLI, J. S. B. *Contribuições à análise de lajes nervuradas por analogia de grelha*. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2003.

SCHMID, M. T. *Pavimentos rígidos em concreto protendido*. Rudloff Industrial Ltda. 2ª Edição. Revisão 01. São Paulo, 2005.

SENEFONTE, K. B. e BARROS, M. M. S. B. *Diretrizes de execução e controle da produção de pisos industriais de concreto protendido*. Revista Pisos Industriais, Ano 5, Edição 9. Fonte: <http://www.pisosindustriais.com.br>. Consulta realizada em 25 de junho de 2012.

SENÇO, W. DE. *Manual de técnicas de pavimentação*. Volume 01. 2ª Edição. PINI. São Paulo, 2007.

SILVA, C. E. P. DA. *Pavimento de concreto simples: Dimensionamento, execução e controle tecnológico*. Projeto Final de Graduação. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Rio Grande do Sul, 2008.

STOCK, A. F. *Concrete pavements – Design and construction*. Elsevier Applied Science. London, 1988.

SUPRENANT, B. A. e MALISCH, W. R. *Don't use loose sand under concrete slabs*. Concrete Construction Magazine, March, 1999.

TIMOSHENKO, S. P. e GOODIER, J. N. *Theory of elasticity*. 2ª Edição. McGraw-Hill Book Company, 1951.

TRICHÊS, G. Reunião Anual de Pavimentação. Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), 1994.

VILLAÇA, S. F. e GARCIA, L. F. T. *Introdução à teoria da elasticidade*. 4ª Edição. Escola Politécnica. Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 2006.

YODER, E. J. e WITCZAK, M. W. *Principles of pavement design*. 2ª Edição. John Wiley. New York, 1975.

ANEXO A – FIGURAS E TABELAS

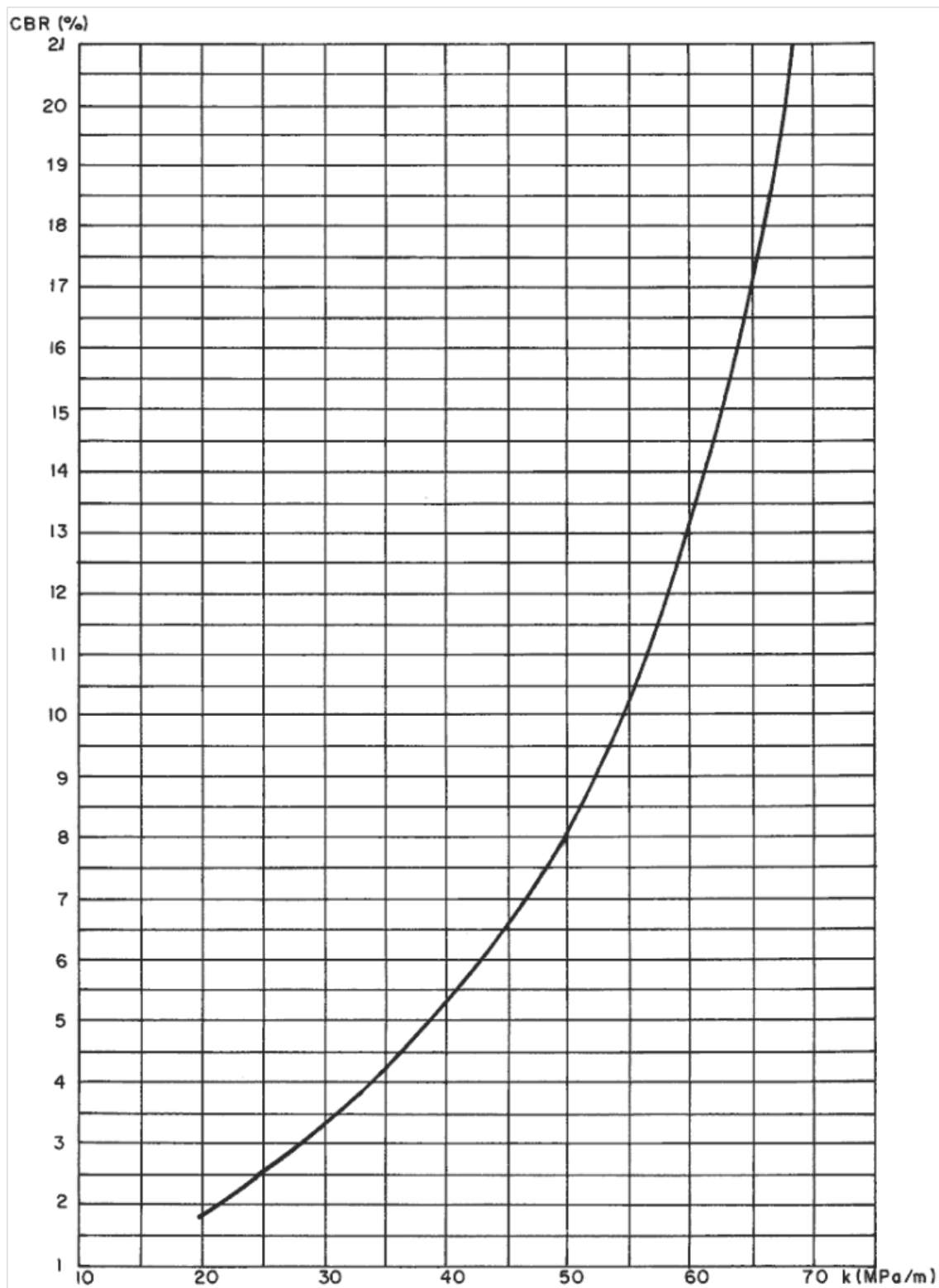


Figura A.1 - Curva CBR x Módulo de reação do terreno de fundação (k)
(Rodrigues e Pitta, 1997)

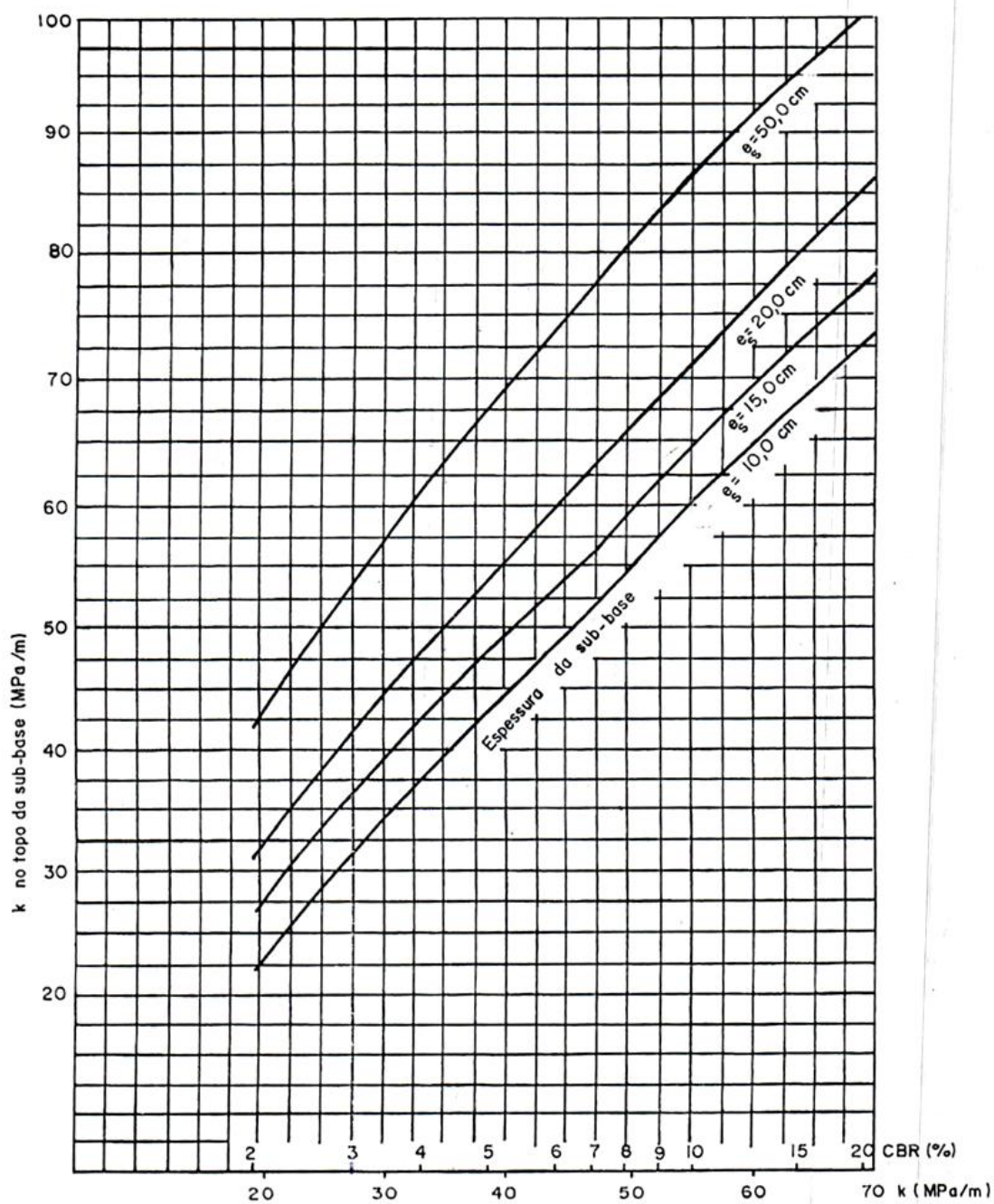


Figura A.2 – Incremento do módulo de reação do terreno de fundação (k): Sub-base granular (Rodrigues e Pitta, 1997)

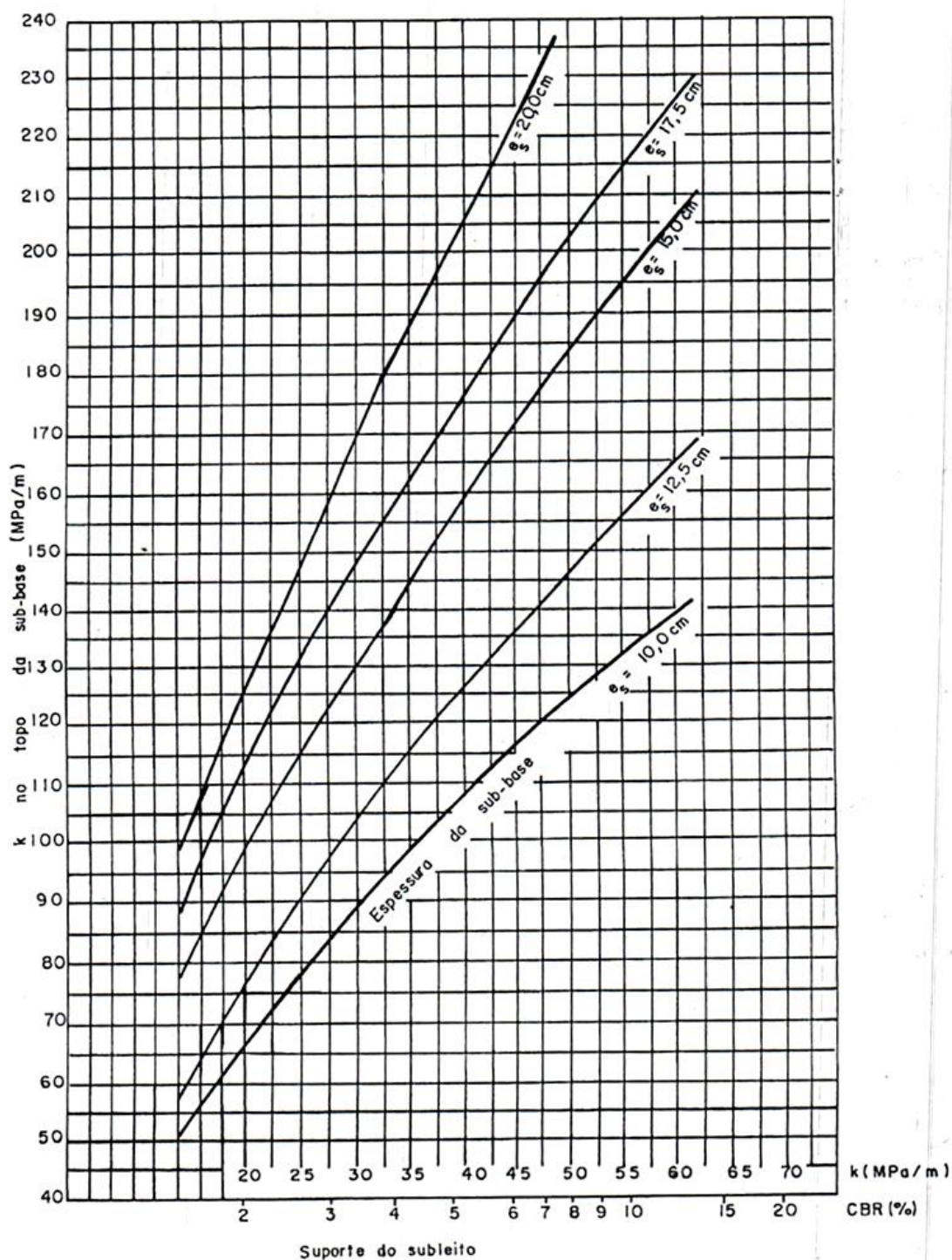


Figura A.3 – Incremento do módulo de reação do terreno de fundação (k): Sub-base de solo – cimento (SC) (Rodrigues e Pitta, 1997)

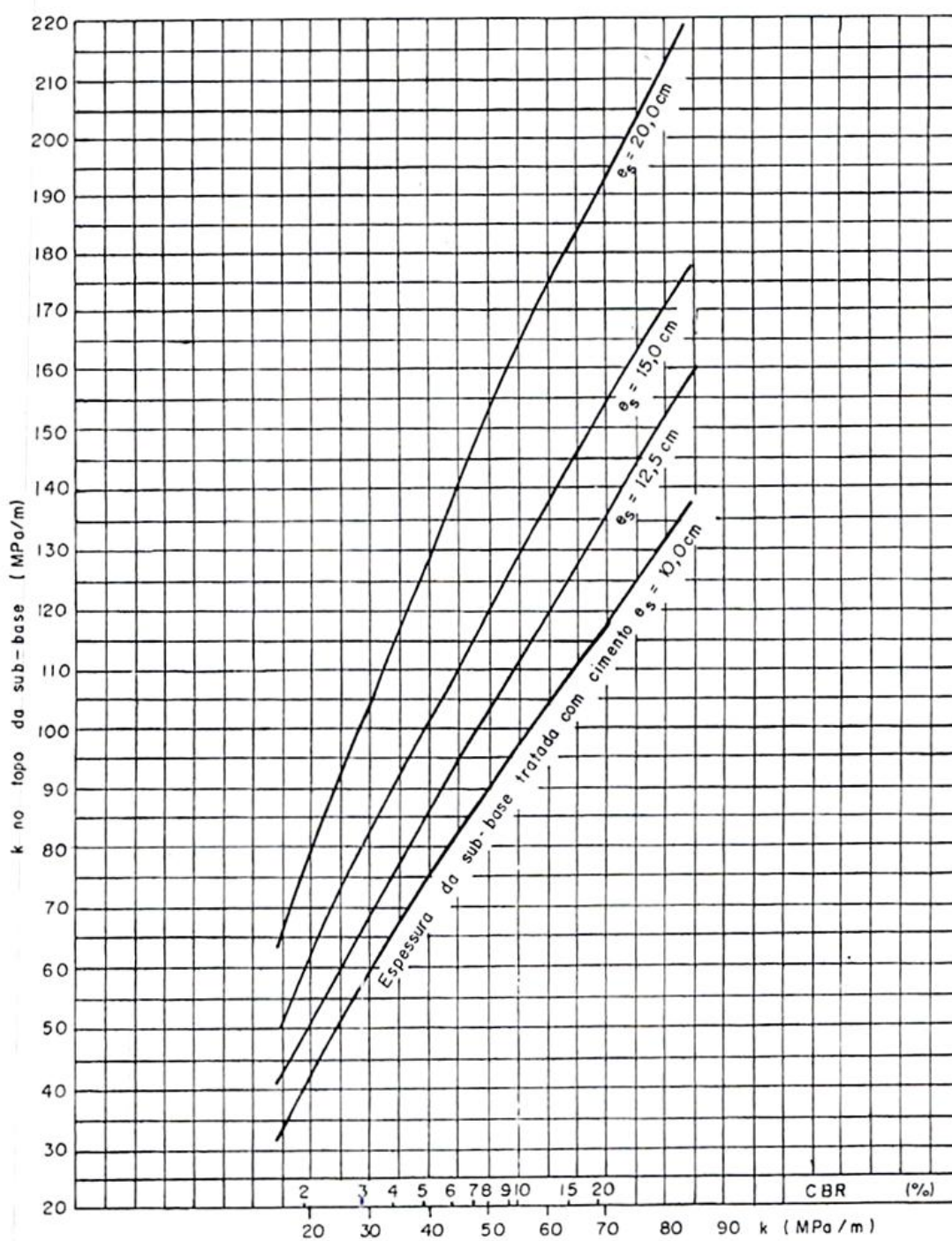


Figura A.4 – Incremento do módulo de reação do terreno de fundação (k): Sub-base de brita graduada tratada com cimento (BGTC) (Rodrigues e Pitta, 1997)

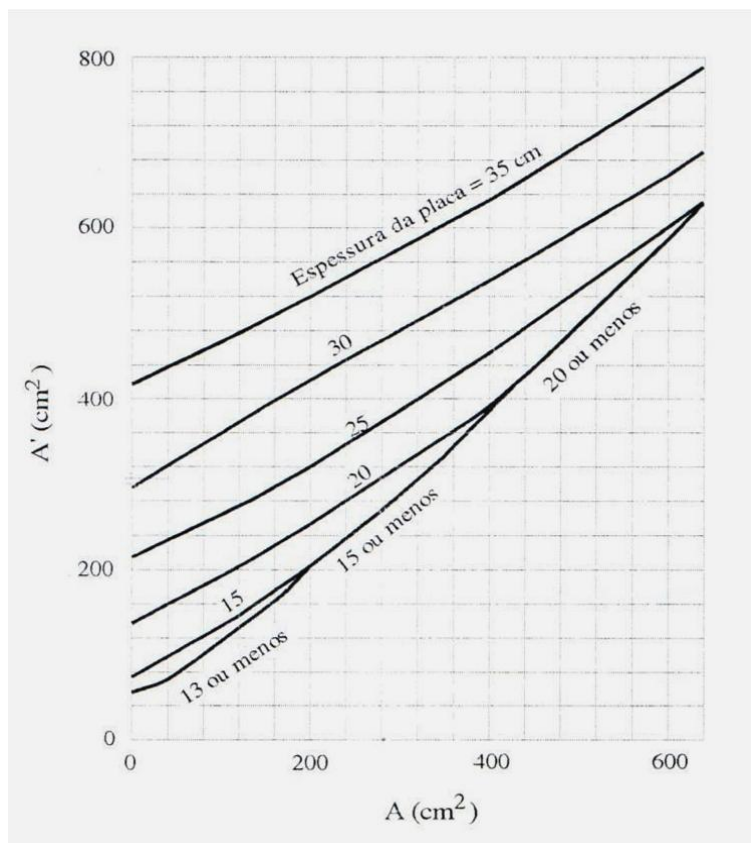


Figura A.5 – Área de contato da carga concentrada

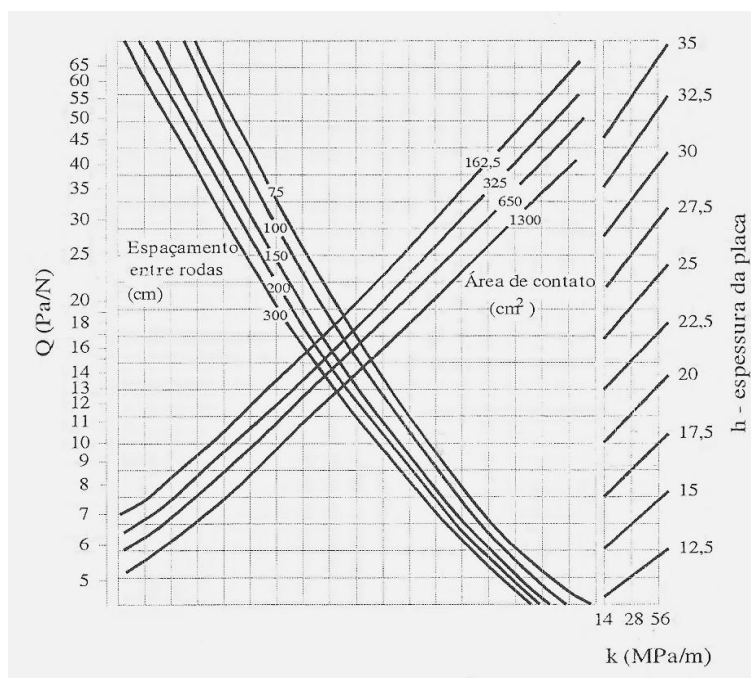


Figura A.6 - Dimensionamento da espessura (h) para o tráfego de empilhadeiras de rodagem simples

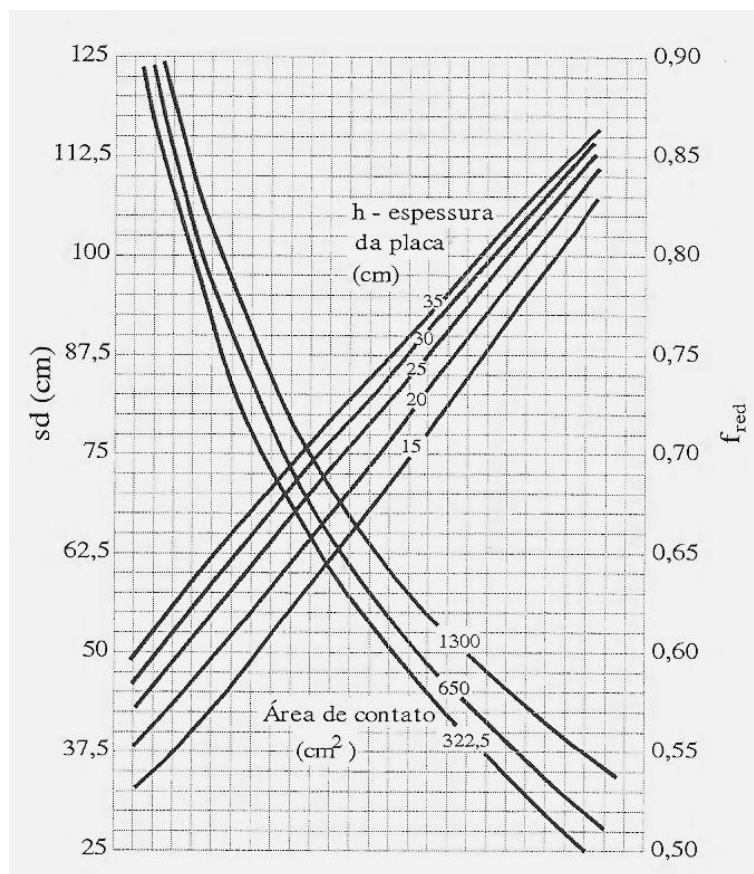


Figura A.7 - Fator de redução de carga

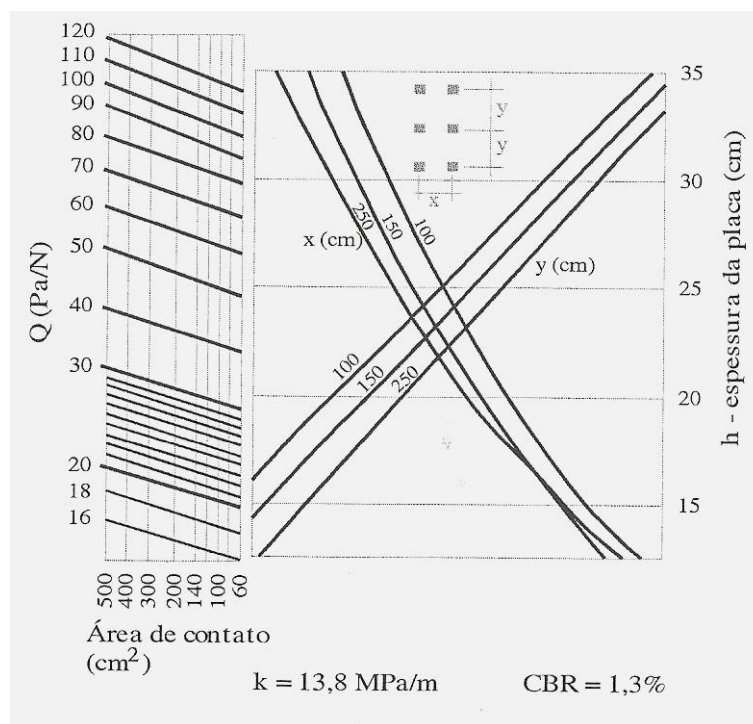


Figura A.8 – Dimensionamento da espessura (h) para cargas de montantes de prateleiras ($k = 13,80 \text{ MPa/m}$)

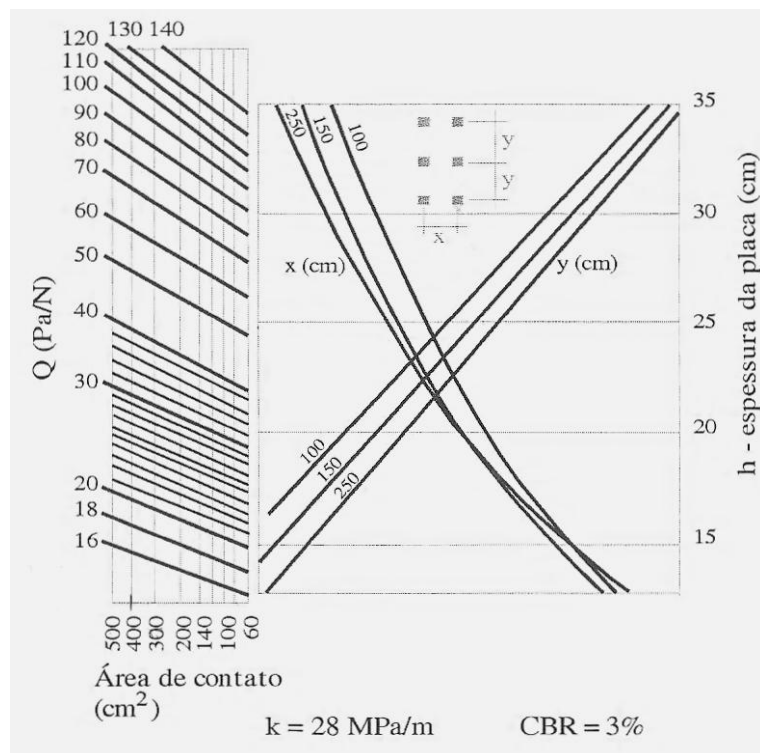


Figura A.9 – Dimensionamento da espessura (h) para cargas de montantes de prateleiras ($k = 28,00 \text{ MPa/m}$)

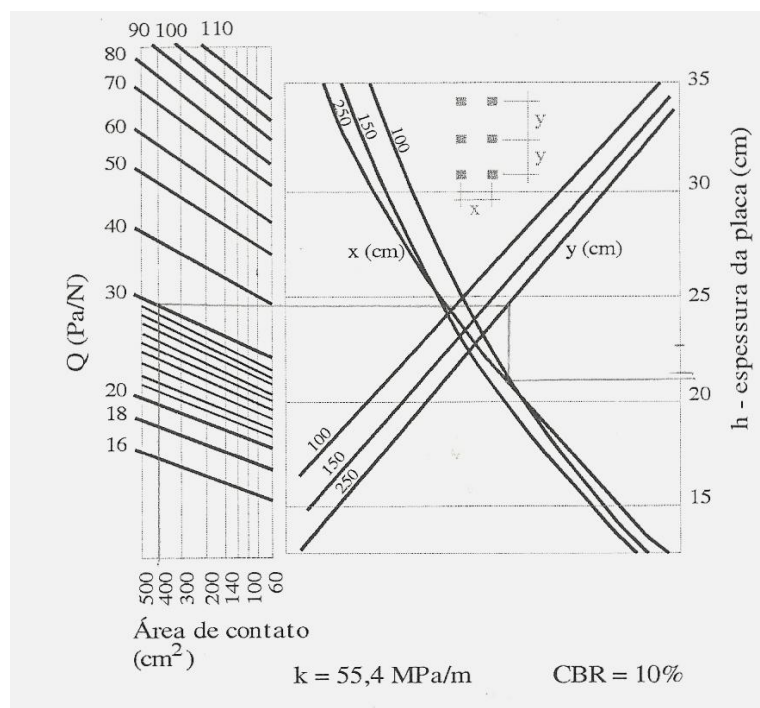


Figura A.10 – Dimensionamento da espessura (h) para cargas de montantes de prateleiras ($k = 55,40 \text{ MPa/m}$)

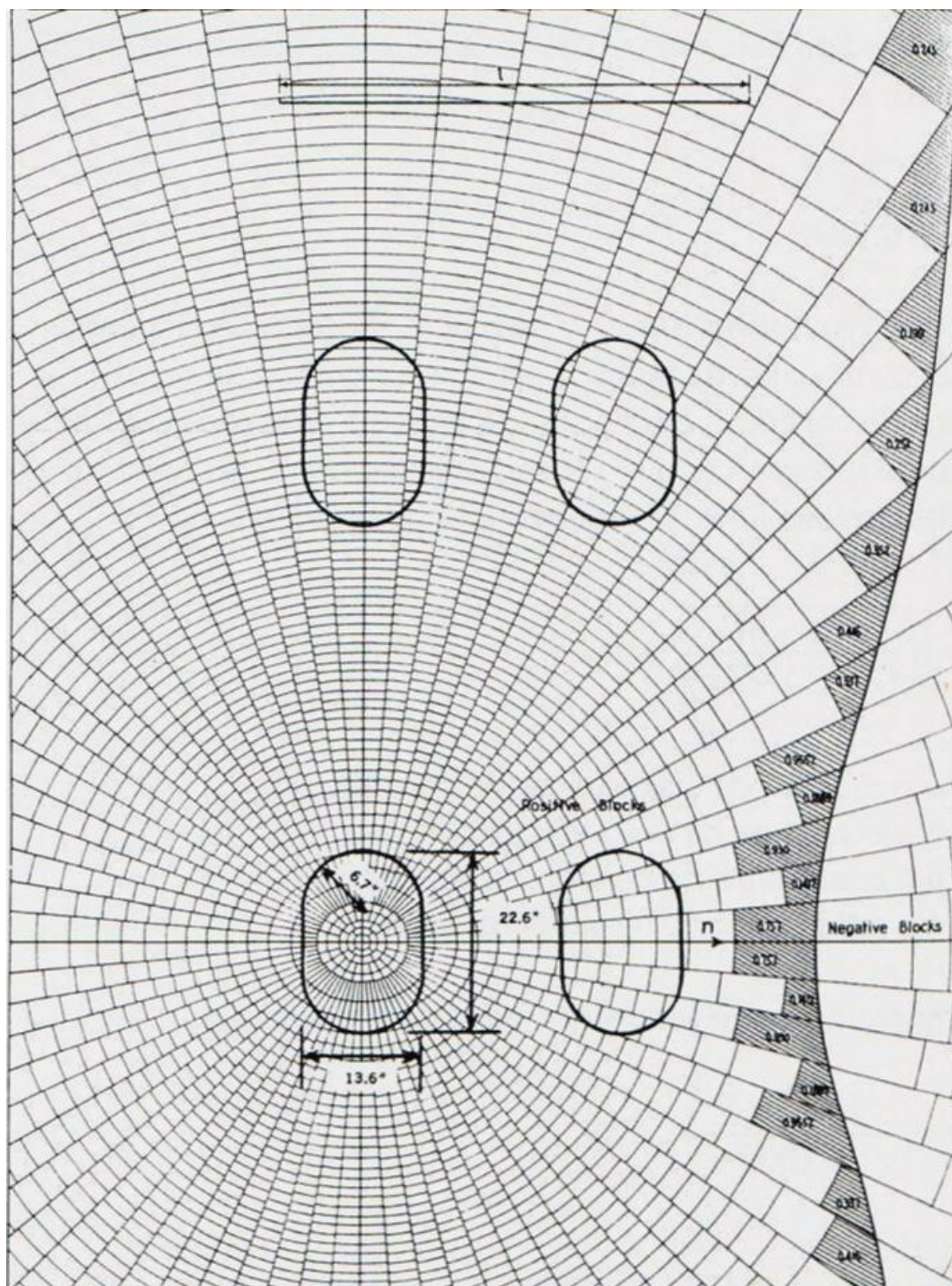
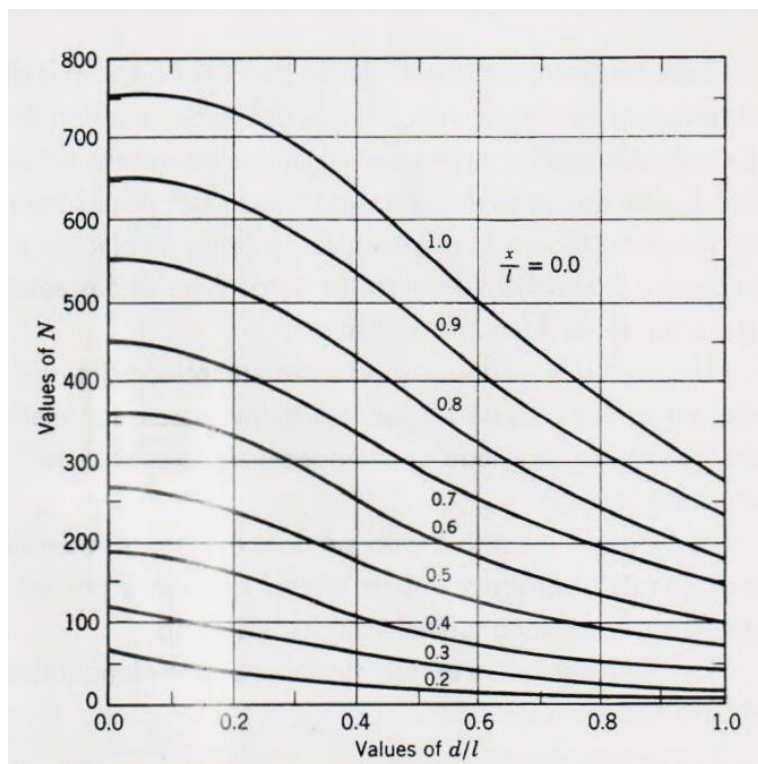
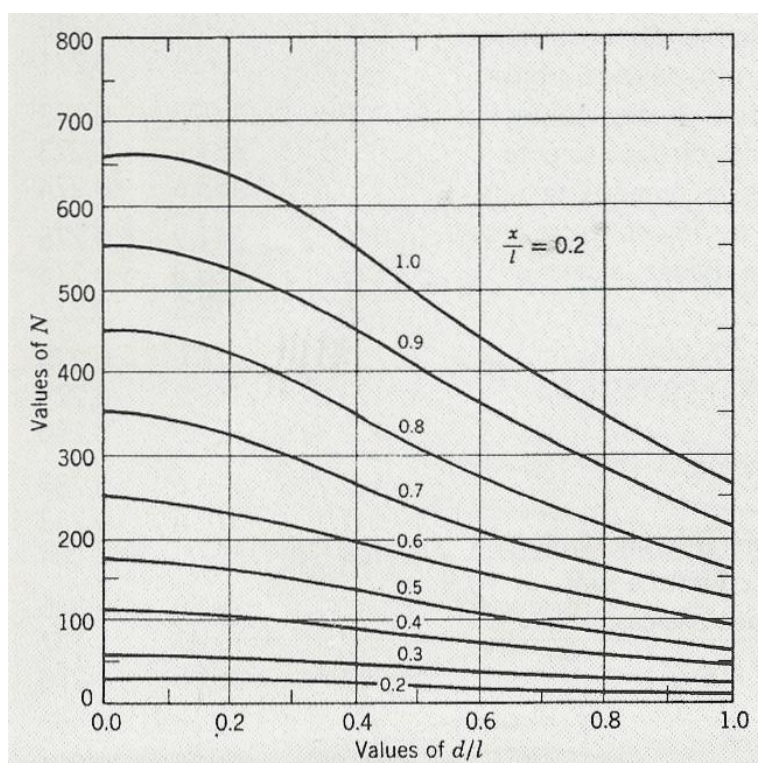


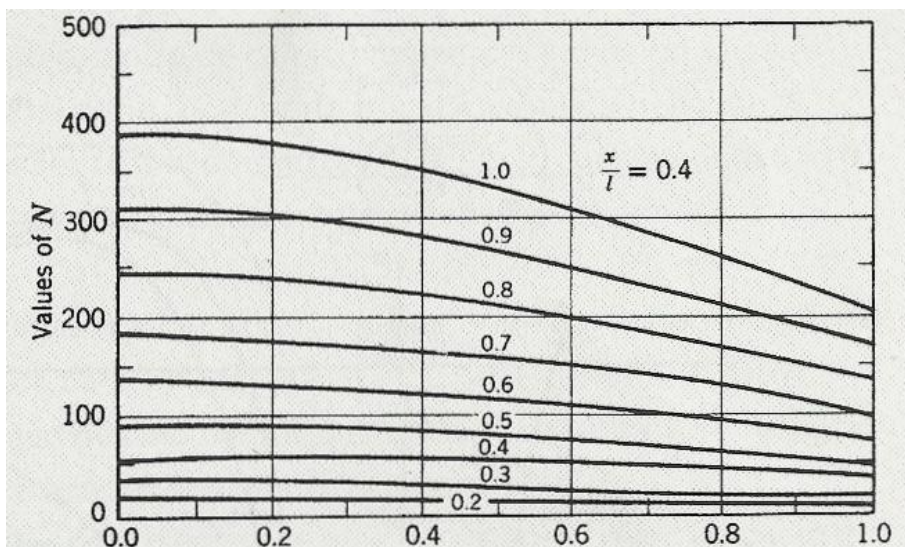
Figura A.11 – Carta de influência número 02 (Rodrigues e Pitta, 1997)



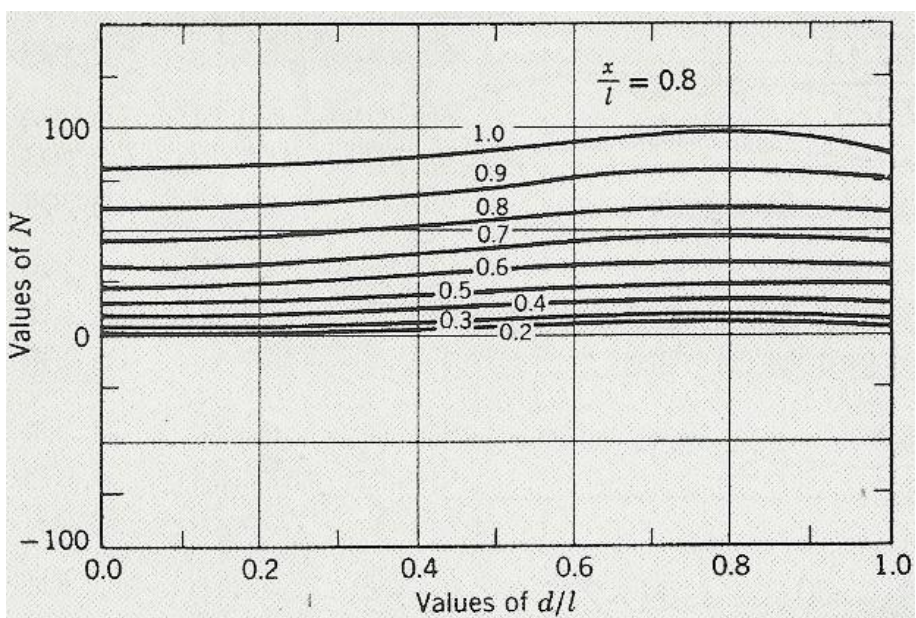
(a)



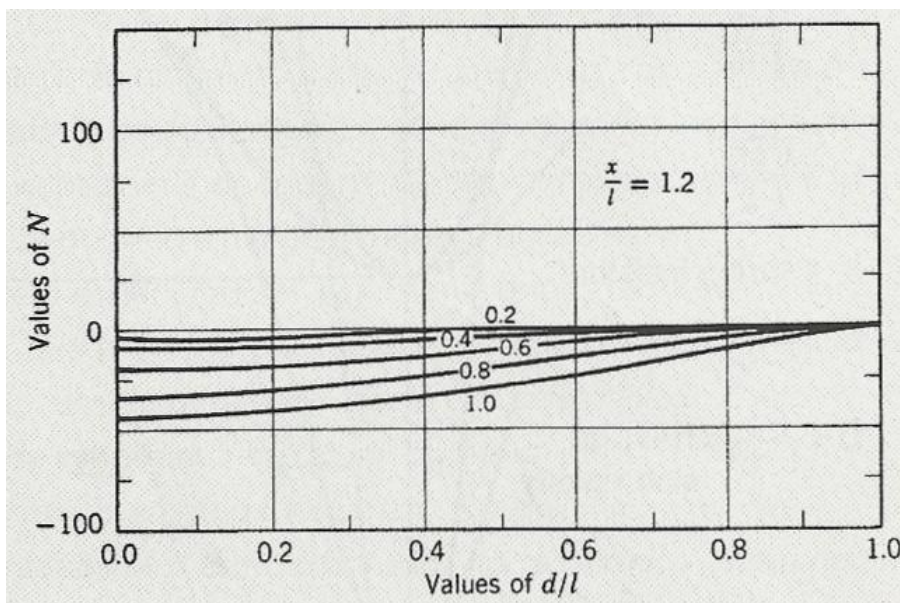
(b)



(c)



(d)



(e)

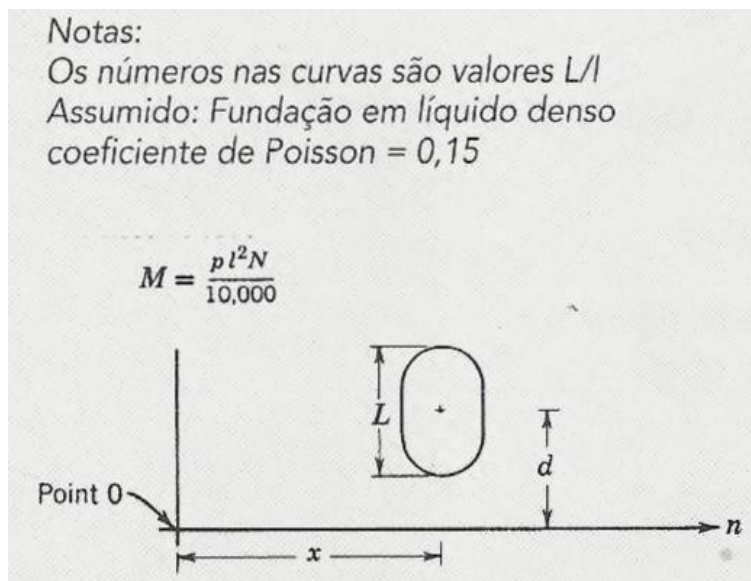


Figura A.12 – Cálculo do momento no interior da placa (M_i) (Rodrigues e Pitta, 1997)

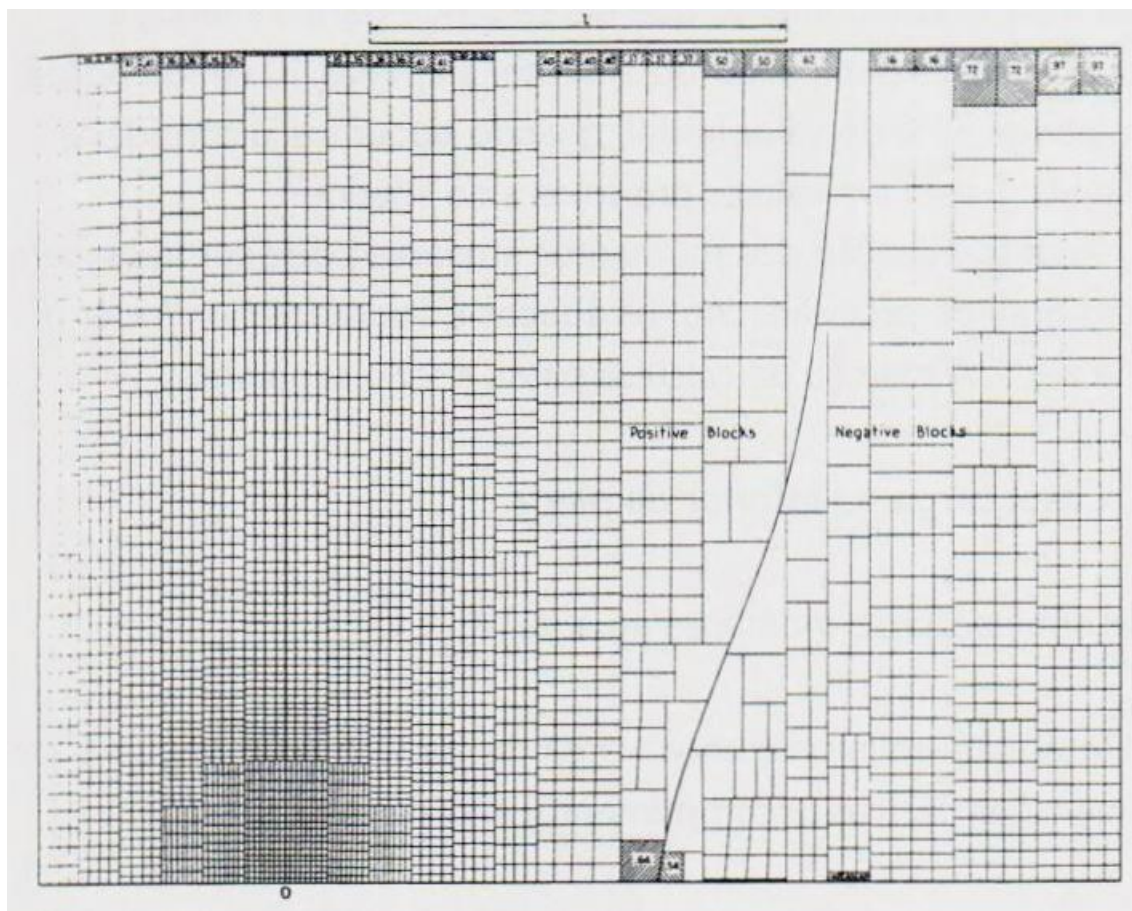
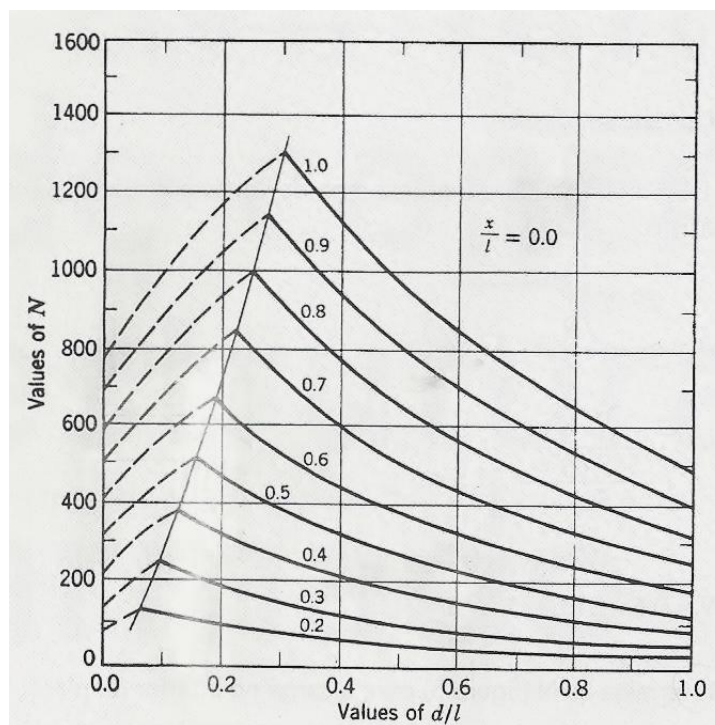
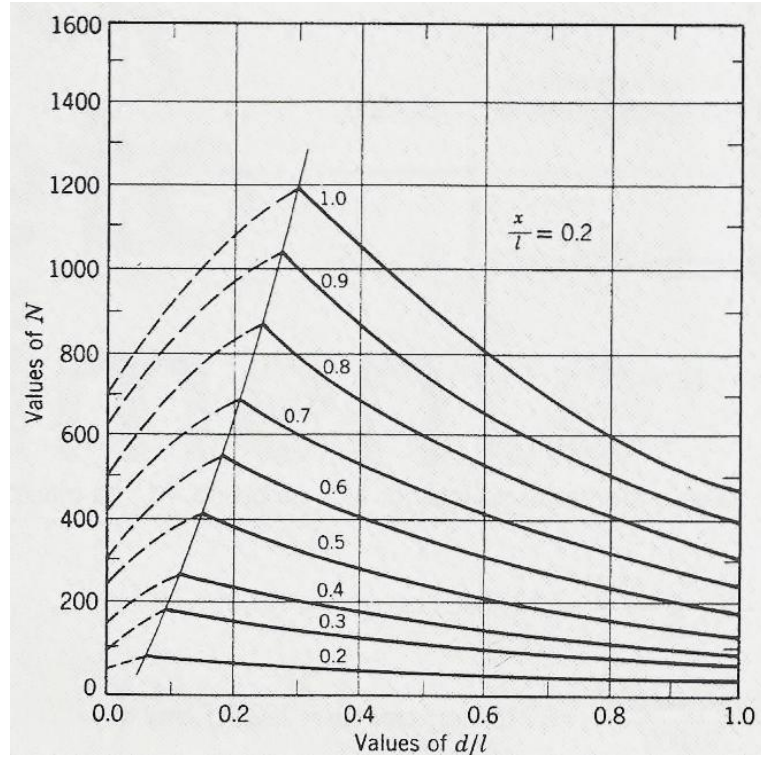


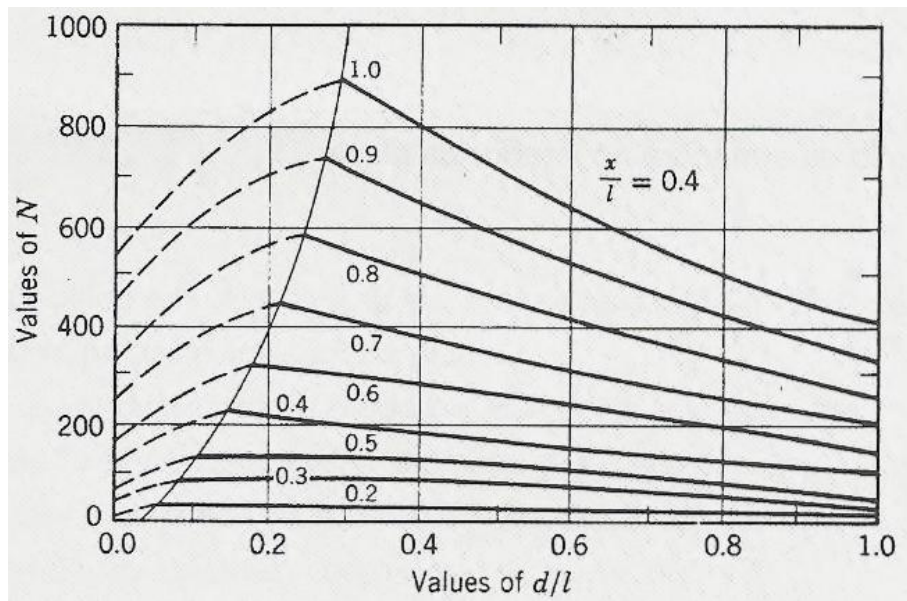
Figura A.13 – Carta de influência número 06 (Rodrigues e Pitta, 1997)



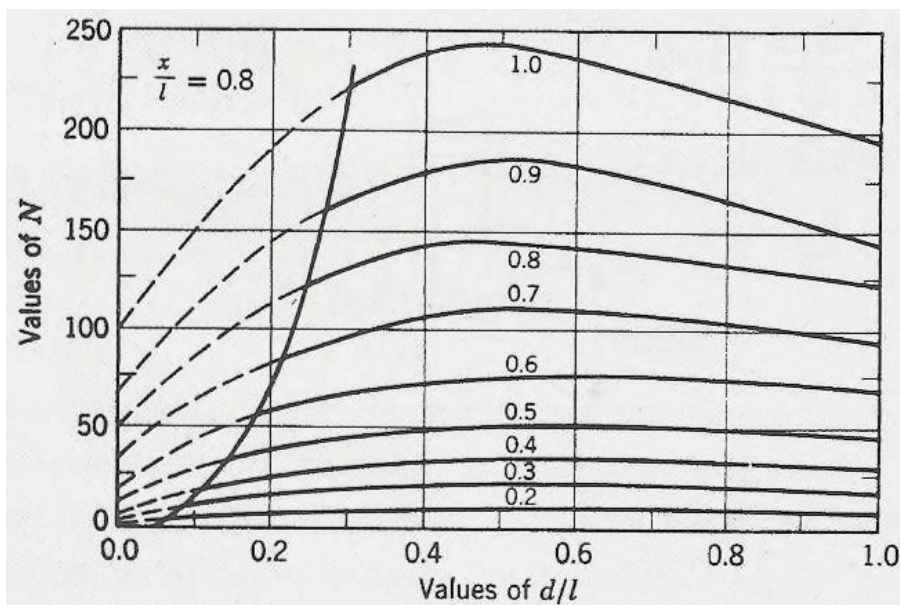
(a)



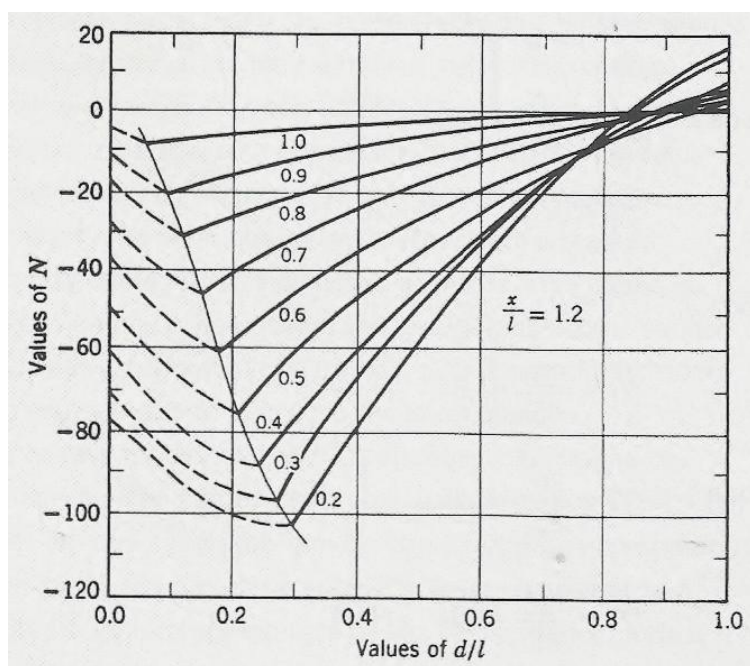
(b)



(c)



(d)



(e)

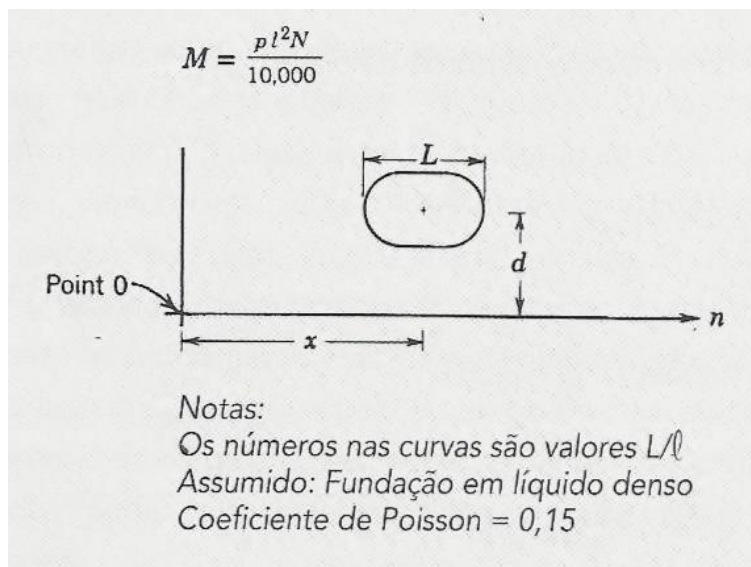


Figura A.14 – Cálculo do momento na borda longitudinal livre da placa (M_b)

Tabela A.1 – Classificação dos pisos quanto à utilização (ANAPRE, 2009)

Áreas Industriais	O piso deve ser considerado como equipamento para produção.
	Recebem a ação de equipamentos diretamente apoiados ou contornam as bases com fundação profundas.
	Cuidados especiais de projeto devem ser tomados, considerando linhas dinâmicas de produção, que eventualmente possam ter mudanças de layout em função da instalação de novos equipamentos.
	Larga utilização de RAD (revestimentos de alto desempenho). Proteção do piso contra agentes agressivos, facilidade de manutenção (limpeza e higienização), aspectos estéticos e sinalização para controle de fluxos.
Áreas de Armazenagem	O piso deve ser considerado como equipamento para produção, uma vez que influencia diretamente a produtividade dos centros de distribuição
	É indicada a adoção de sistemas com quantidade reduzida de juntas, com placas de grandes dimensões, como por exemplo, os pisos de concreto estruturalmente armado, os de concreto reforçados com fibras e o de concreto protendido, evitando patologias nas juntas em função do trânsito intenso das máquinas e empilhadeiras.
	Líquidos endurecedores de superfície, aplicação de aspersões minerais ou metálicas são indicadas para garantir elevada resistência superficial mediante a grande solitação de esforços abrasivos.
Sistemas viários e Pavimentos Rígidos	Utilizados em pavimentos urbanos, áreas de estacionamento e sistemas viários de indústrias, pátios de estacionamento de aeronaves e áreas retroportuárias para armazenagens e manuseios de containers.
	Por recebem grande solitação de cargas, as espessuras das placas de concreto podem variar de 14 cm a 40 cm, de acordo com o uso proposto para a área.
	Por serem utilizados em áreas externas e/ou abertas, as tensões de origem térmica (dilatação / retração) são bastante elevadas em função do aquecimento solar diurno e resfriamento noturno.
Áreas de Estacionamentos	Quando comparados com a pavimentação asfáltica, apresentam inúmeras vantagens, como por exemplo, melhor durabilidade e resistência ao desgaste, aos ataques químicos de combustíveis, óleos e lubrificantes, e menor custo de manutenção.
	Por apresentar coloração mais clara, têm maior índice de reflexão, reduzindo das ilhas de calor e facilitando a iluminação noturna.
	Melhor logística de execução em áreas fechadas e subsolos, uma vez que emprega equipamentos reduzidos.
Pisos Comerciais	Permite flexibilidade como elemento de fundação de paredes e mezaninos.
	Empregado como acabamento decorativo, poder ser trabalhado com pigmentações diversas e sistemas de lapidação que garantem aspecto vítreo à superfície.

Tabela A.2 – Classificação dos pisos quanto à utilização (ACI – 302)

Classe	Tipo de tráfego previsto	Uso	Considerações Especiais	Acabamento Final
1	Pedestre leve	Pisos residenciais, sobretudo com revestimentos	Drenagem do terreno, nivelamento adequada do piso para o revestimento; cura	Desempeno comum
2	Pedestre	Escritórios e Igrejas; Normalmente com revestimento decorativos	Tolerâncias superficiais (inclusive pisos elevados); agregado antiderrapante em áreas específicas, agregados minerais coloridos; endurecedores ou agregados expostos; layout artístico de juntas	Desempeno comum; acabamento antiderrapante onde necessário
3	Pedestres e Rodas Pneumáticas	Passeios externos, pistas, pisos de garagem, calçadas	Drenagem do terreno; incorporador de ar adequado; cuidados especiais com a cura	Desempenadeira manual, rodo ou acabamento com esponja
4	Pedestre e tráfego de veículos leves	Comercial	Nivelamento adequado do piso para o revestimento; acabamento antiderrapante para áreas específicas; cuidados especiais com a cura	Acabamento normal com acabadora mecânica
5	Tráfego de veículos industriais com rodas pneumáticas	Pisos industriais sujeitos a cargas leves em áreas de fabricação, processamento e depósito	Base bem executada e uniforme; regularidade superficial; layout de juntas; resistência à abrasão; cuidados especiais com a cura	Acabamento intenso com acabadora de superfície mecânica
6	Tráfego de veículos industriais com rodas rígidas	Pisos industriais sujeitos a tráfego intenso; podendo estar sujeito ao impacto de cargas	Base bem executada e uniforme; regularidade superficial; layout de juntas; mecanismos de transferência de cargas; resistência à abrasão; cuidados com a cura	Agregados metálicos ou minerais; acabamento intenso com acabadora de superfície mecânica, repetidas vezes
7	Tráfego de veículos industriais com rodas rígidas	Pisos com camadas superficiais aderidas sujeitos a tráfego intenso e impacto.	Camada de base – Base bem executada e uniforme; nivelamento da superfície; armadura de retração; layout de juntas; cuidados com a cura Camada superficial – composta de agregado bem graduado todo mineral ou todo metálico aplicado cobrindo a superfície de alta resistência para endurecer; regularidade superficial, cuidados especiais com a cura	Superfície com textura e limpeza adequadas para permitir a aderência da camada superficial de recobrimento. Acabadoras de superfície mecânica com disco ou com pás, repetidas vezes
8	Como nas classes 4, 5 ou 6	Camadas superficiais não aderidas – Pisos isolados para câmaras frigoríficas, pisos velhos, ou onde o cronograma da construção ditar.	Isolar da superfície antiga; utilizar armadura; espessura mínima de 7,5 cm; resistência à abrasão; cuidados com a cura	Acabamento intenso com acabadora de superfície mecânica
9	Superflat ou com tolerâncias superficiais rígidas. Veículos especiais de movimentação de materiais ou automatizados que requeiram tolerância precisas.	Corredores estreitos, almoxarifados com alturas elevadas de estocagem, estúdios de televisão.	Exigências de qualidade do concreto diversas. Salgamentos para endurecimento de superfície não devem ser usados a menos em aplicações especiais e com muito cuidado no emprego. ; layout de juntas próprio. Ff 35 a Ff 125 (Fmin 100 é um piso superflat)	

Tabela A.3 – Carga uniformemente distribuída: Carga admissível (C_{adm})
(Rodrigues et al., 2006)

Espessura da Placa (mm)	Tensão Admissível (MPa)	Largura crítica do Corredor (m)	Carga Admissível (kN/m ²)					
			Na Largura Crítica do Corredor	Outras Larguras de Corredor				
				Corredor de 1,8 m	Corredor de 2,4 m	Corredor de 3,0 m	Corredor de 3,6 m	Corredor de 4,2 m
Coeficiente de Recalque do Subleito $k = 14 \text{ MPa/m}^3$								
125	2,1	1,7	10,5	10,8	11,5	40,8	52,5	60,8
	2,5		15,5	15,8	19,3	47,5	61,3	71,0
	2,8		40,8	41,0	44,8	54,3	70,0	81,0
150	2,1	1,9	13,5	13,8	14,8	19,0	47,3	58,8
	2,5		19,3	19,3	40,5	45,5	55,0	68,5
	2,8		44,8	44,8	46,3	52,0	63,0	78,5
200	2,1	2,4	18,5	40,0	38,5	40,0	44,0	50,5
	2,5		45,0	47,5	45,0	46,8	51,3	59,0
	2,8		51,3	53,5	51,3	53,3	58,8	67,5
250	2,1	2,8	42,3	46,5	42,8	47,5	44,3	48,0
	2,5		49,3	54,3	50,0	49,5	51,8	56,0
	2,8		56,5	62,0	57,3	56,8	59,3	64,3
300	2,1	3,2	45,8	53,3	47,8	45,8	46,3	48,3
	2,5		53,3	62,0	55,8	53,5	54,0	56,3
	2,8		61,0	71,0	63,5	61,0	61,5	64,5
350	2,1	3,6	49,0	61,3	53,5	50,0	49,0	49,8
	2,5		57,3	71,5	62,3	58,5	57,3	58,0
	2,8		65,5	81,5	71,3	66,8	65,5	66,5
Coeficiente de Recalque do Subleito $k = 28 \text{ MPa/m}^3$								
125	2,1	1,4	43,3	45,0	54,5	73,5	87,3	90,5
	2,5		50,5	52,5	63,5	85,8	101,8	105,8
	2,8		55,8	60,0	72,8	97,8	116,3	120,8
150	2,1	1,6	47,5	47,8	53,3	66,0	85,0	96,3
	2,5		55,3	55,8	62,3	77,0	99,3	112,3
	2,8		63,3	63,8	71,0	88,0	113,5	128,3
200	2,1	2	54,8	55,3	56,0	62,0	73,3	90,8
	2,5		64,0	64,3	65,3	72,3	85,3	106,0
	2,8		73,0	73,5	74,8	82,5	97,5	121,0
250	2,1	2,4	60,8	63,3	60,8	63,5	69,8	80,5
	2,5		71,0	73,8	71,0	74,0	81,5	94,0
	2,8		81,3	82,3	81,3	84,5	94,0	107,5
300	2,1	2,7	66,0	71,3	66,3	66,5	70,0	76,8
	2,5		77,0	83,3	77,3	77,5	81,8	94,0
	2,8		87,8	95,0	88,5	88,5	93,3	102,5
350	2,1	3	70,3	79,5	72,3	70,3	71,8	76,3
	2,5		82,0	92,8	84,3	82,0	83,8	88,8
	2,8		93,8	106,0	96,3	93,8	95,8	101,5
Coeficiente de Recalque do Subleito $k = 56 \text{ MPa/m}^3$								
125	2,1	1,2	61,3	70,0	96,5	122,5	128,3	126,0
	2,5		71,3	81,5	112,8	143,0	149,5	147,0
	2,8		81,5	93,3	128,8	163,5	171,0	168,0
150	2,1	1,4	67,0	70,8	87,8	119,8	137,0	140,5
	2,5		78,3	82,5	102,5	140,0	160,0	163,8
	2,8		89,3	94,5	117,3	159,5	182,8	187,3
200	2,1	1,7	77,5	77,5	84,8	102,3	131,8	153,5
	2,5		90,5	90,5	99,0	119,3	153,8	179,0
	2,8		103,3	103,5	130,8	136,5	175,8	204,8
250	2,1	2	86,5	87,3	88,8	98,3	116,5	144,8
	2,5		101,0	101,8	103,5	114,5	135,8	165,0
	2,8		115,5	116,3	118,3	131,0	153,3	193,0
300	2,1	2,3	94,5	97,3	94,8	99,8	111,5	130,5
	2,5		110,3	113,5	110,5	116,5	130,0	152,3
	2,8		126,0	129,8	126,3	133,0	148,6	174,0
350	2,1	2,6	101,3	107,5	101,5	103,3	110,5	124,0
	2,5		118,0	125,5	118,3	120,3	129,0	144,5
	2,8		135,0	143,5	135,3	137,5	147,5	165,3

¹ Valor do subleito: desconsiderar incremento da sub-base; ² Valor da resistência característica $f_{ctM,k}$ dividido por fator de segurança, normalmente igual a 2; ³ Largura do carregamento assumido como 7,5 m.

Tabela A.4 – Valores de k_3 (Rodrigues et al., 2006)

Flexão normal simples seção retangular	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
$\gamma_B = 14$	1.206	1.159	1.116	1.077	1.005	0,272
	781,7	751,7	723,8	698,0	651,4	0,273
$\gamma_C = 1.4$	550,4	529,2	509,6	491,4	458,6	0,274
	410,3	394,5	379,9	366,3	341,9	0,275
$\gamma_S = 1.15$	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)

Tabela A.5 – Telas eletrossoldadas Tipo Q (Aço CA 60 – A)

(www.centraldecorteedobra.com.br - consulta realizada em novembro de 2012)

Aço CA-60		Espaçamento entre fios (cm)		Diâmetro (mm)		Seções (cm/m)		Rolo/	Dimensões (m)		Peso	
Série	Designação	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Long.	Transv.	Painel	Larg.	Compr.	kg/m ²	kg/Pc
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
92	T 92	30	15	4,2	4,2	0,46	0,92	Rolo	2,45	120,00	1,12	329,3
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
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	0,13	Painel	2,45	6,00	1,80	26,46
113	T 113	30	10	3,8	3,8	0,38	1,13	Rolo	2,45	60,00	1,22	179,34
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
138	M 138	10	20	4,2	4,2	1,38	0,69	Painel	2,45	6,00	1,65	24,3
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
138	R 138	10	15	4,2	4,2	1,38	0,92	Painel	2,45	6,00	1,83	26,9
138	T 138	30	10	4,2	4,2	0,46	1,38	Rolo	2,45	60,00	1,49	219,0
159	L 159	10	30	4,5	4,5	1,59	0,53	Painel	2,45	6,00	1,69	24,8
159	M 159	10	20	4,5	4,5	1,59	0,79	Painel	2,45	6,00	1,90	27,9
159	Q 159	10	10	4,5	4,5	1,59	1,59	Painel	2,45	6,00	2,52	37,0
159	R 159	10	15	4,5	4,5	1,59	1,06	Painel	2,45	6,00	2,11	31,0
196	L 196	10	30	5,0	5,0	1,96	0,65	Painel	2,45	6,00	2,09	30,7
196	M 196	10	20	5,0	5,0	1,96	0,98	Painel	2,45	6,00	2,34	34,4
196	Q 196	10	10	5,0	5,0	1,96	1,96	Painel	2,45	6,00	3,11	45,7
196	R 196	10	15	5,0	5,0	1,96	1,30	Painel	2,45	6,00	2,60	38,2
196	T 196	30	10	5,0	5,0	0,65	1,96	Painel	2,45	6,00	2,11	31,0
246	L 246	10	30	5,6	5,6	2,46	0,82	Painel	2,45	6,00	2,62	38,5
246	M 246	10	20	5,6	5,6	2,46	1,23	Painel	2,45	6,00	2,94	43,2
246	Q 246	10	10	5,6	5,6	2,46	2,46	Painel	2,45	6,00	3,91	57,5

Aço CA-60		Espaçamento entre fios (cm)		Diâmetro (mm)		Seções (cm/m)		Rolo/	Dimensões (m)		Peso	
246	R 246	10	15	5,6	5,6	2,46	1,64	Painel	2,45	6,00	3,26	47,9
246	T 246	30	10	5,6	5,6	0,82	2,46	Painel	2,45	6,00	2,64	38,8
283	L 283	10	30	6,0	6,0	2,83	0,94	Painel	2,45	6,00	3,00	44,1
283	M 283	10	20	6,0	6,0	2,83	1,41	Painel	2,45	6,00	3,37	49,5
283	Q 283	10	10	6,0	6,0	2,83	2,83	Painel	2,45	6,00	4,48	65,9
283	R 283	10	15	6,0	6,0	2,83	1,88	Painel	2,45	6,00	3,74	55,0
283	T 283	30	10	6,0	6,0	0,94	2,83	Painel	2,45	6,00	3,03	44,54
335	L 335	15	30	8,0	6,0	3,35	0,94	Painel	2,45	6,00	3,48	51,2
335	Q 335	15	15	8,0	8,0	3,35	3,35	Painel	2,45	6,00	5,37	78,9
335	T 335	30	15	6,0	8,0	0,94	3,35	Painel	2,45	6,00	3,45	50,7
396	L 396	10	30	7,1	6,0	3,96	0,94	Painel	2,45	6,00	3,91	57,5
396	Q 396	10	10	7,1	7,1	3,96	3,96	Painel	2,45	6,00	6,28	92,3
503	L 503	10	30	8,0	6,0	5,03	0,94	Painel	2,45	6,00	4,77	70,1
503	Q 503	10	10	8,0	8,0	5,03	5,03	Painel	2,45	6,00	7,97	117,2
503	T 503	30	10	6,0	8,0	0,94	3,35	Painel	2,45	6,00	4,76	70,0
636	L 636	10	30	9,0	6,0	6,36	0,94	Painel	2,45	6,00	5,84	85,8
636	Q 636	10	10	9,0	9,0	6,36	6,36	Painel	2,45	6,00	10,09	148,3
785	L 785	10	30	10,0	6,0	7,85	0,94	Painel	2,45	6,00	7,03	103,3
785	Q 785	10	10	10,0	10,0	7,85	7,85	Painel	2,45	6,00	12,46	183,2

ANEXO B – CÁLCULOS ESTRUTURAIS

B.1 Especificações de projeto

B.1.1 Considerações gerais

a) Área total do piso industrial: $A_{total} = 18.000,00 \text{ m}^2$.

- Largura (w): 120,00 m;
- Comprimento (L): 150,00 m.

b) Juntas longitudinais (JL): Com barras de ligação de aço tipo CA – 60 A nas faixas externas.

c) Juntas transversais (JT): Com barras de transferência de aço tipo CA – 25, pintadas e engraxadas em metade do comprimento.

B.1.2 Solicitações

a) Cargas móveis - Empilhadeira com rodames pneumáticos e eixo com rodagem simples.

- Carga útil: $P = 115.000,00 \text{ N} = 115,00 \text{ kN}$;
- Distância entre rodas: $s = 100 \text{ cm} = 1,00 \text{ m}$;
- Pressão de enchimento dos pneus: $q = 0,770 \text{ MPa} = 770,00 \text{ kPa}$;
- Fator de segurança: Número de solicitações ilimitadas – $F.S. = 2,00$.

b) Cargas móveis - Empilhadeira com rodames pneumáticos e eixo com rodagem dupla.

- Carga útil: $P = 188.352,00 \text{ N} = 188,35 \text{ kN}$;
- Distância entre rodas: $s = 150 \text{ cm} = 1,50 \text{ m}$;
- Distância entre os pneus: $s_d = 35,00 \text{ cm} = 0,350 \text{ m}$;
- Pressão de enchimento dos pneus: $q = 0,770 \text{ MPa} = 770,00 \text{ kPa}$;
- Fator de segurança: Número de solicitações ilimitadas – $F.S. = 2,00$.

c) Carregamento de montantes de prateleiras (cargas concentradas).

- Carga de montantes de prateleiras: $P_{mont} = 6,00 \text{ tf/apoio} = 60,00 \text{ kN/apoio}$;
- Espaçamentos entre os montantes:
 $x = 1,20 \text{ m}$;
 $y = 2,40 \text{ m}$.
- Área das placas de apoio: $A_{mont} = 400,00 \text{ cm}^2 = 0,040 \text{ m}^2$;
 Placas de apoio – Lados: $a = 20,00 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$.
- Fator de segurança: $F.S. = 2,00$.

d) Carregamento uniformemente distribuído.

- Carga uniformemente distribuída: $C_d = 6,00 \text{ tf/m}^2 = 60,00 \text{ kN/m}^2$;
- Fator de segurança: $F.S. = 1,50$.

B.1.3 Terreno de fundação (ou Subleito)

a) Terreno de fundação I (ou Subleito I) – Siltes e argilas.

- $CBR_I = 3,00 \%$;
- $k_I = 28,00 \text{ MPa/m}$;
- Módulo de elasticidade longitudinal: $E_I = 60,00 \text{ MPa}$;
- Coeficiente de Poisson: $\nu_I = 0,400$;
- Módulo de elasticidade transversal: $G_I = 21,42 \text{ MPa}$.

b) Terreno de fundação II (ou Subleito II) – Solos granulares (areias).

- $CBR_{II} = 10,00 \%$;
- $k_{II} = 56,00 \text{ MPa/m}$;
- Módulo de elasticidade longitudinal: $E_{II} = 120,00 \text{ MPa}$;
- Coeficiente de Poisson: $\nu_{II} = 0,290$;
- Módulo de elasticidade transversal: $G_{II} = 46,50 \text{ MPa}$.

B.1.4 Sub-base

a) Sub-base I – Granular.

a.1) Modelo I – Subleito I + Sub-base I.

- Módulo de elasticidade longitudinal: $E_{sbl} = 200,00 \text{ MPa}$;

- Coeficiente de Poisson: $\nu_{sbI} = 0,350$;
 - Módulo de elasticidade transversal: $G_{sbI} = 74,00$ MPa;
 - Espessura: $h_{I-I} = 20,00$ cm;
 - Módulo de reação no topo da sub-base (incremento do módulo de reação do terreno de fundação): $k_{inc,I-I} = 40,00$ MPa/m.
- a.2) Modelo II – Subleito II + Sub-base I.
- Módulo de elasticidade longitudinal: $E_{sbI} = 200,00$ MPa;
 - Coeficiente de Poisson: $\nu_{sbI} = 0,350$;
 - Módulo de elasticidade transversal: $G_{sbI} = 74,00$ MPa;
 - Espessura: $h_{II-I} = 20,00$ cm;
 - Módulo de reação no topo da sub-base (incremento do módulo de reação do terreno de fundação): $k_{inc,II-I} = 60,00$ MPa/m.
- b) Sub-base II - Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC).
- b.1) Modelo III – Subleito I + Sub-base II.
- Módulo de elasticidade longitudinal: $E_{sbII} = 5.000,00$ MPa;
 - Coeficiente de Poisson: $\nu_{sbII} = 0,200$;
 - Módulo de elasticidade transversal: $G_{sbII} = 2.083,33$ MPa;
 - Espessura: $h_{I-II} = 10,00$ cm;
 - Módulo de reação no topo da sub-base (incremento do módulo de reação do terreno de fundação): $k_{inc,I-II} = 100,00$ MPa/m.
- b.2) Modelo IV – Subleito II + Sub-base II.
- Módulo de elasticidade longitudinal: $E_{sbII} = 5.000,00$ MPa;
 - Coeficiente de Poisson: $\nu_{sbII} = 0,200$;
 - Módulo de elasticidade transversal: $G_{sbII} = 2.083,33$ MPa;
 - Espessura: $h_{II-II} = 10,00$ cm;
 - Módulo de reação no topo da sub-base (incremento do módulo de reação do terreno de fundação): $k_{inc,II-II} = 97,50$ MPa/m.

B.1.5 Materiais

- a) Concreto.
- Tipos de cimento recomendados: CP II F – 32; CPII Z – 32 e CP IV – 32;
 - Resistência característica à compressão aos 28 dias: $f_{ck} = 30,00$ MPa;

- Resistência característica à tração na flexão aos 28 dias: $f_{ctM,k} = 4,13 \text{ MPa}$.

a.1) Segundo a *NBR 6118:2007*:

$$f_{ct,m} = 0,30 \times \sqrt[3]{(f_{ck})^2}$$

$$f_{ct,m} = 0,30 \times \sqrt[3]{(30,00)^2} \cong 2,89 \text{ MPa}$$

$$f_{ctM,k} = \frac{f_{ct,m}}{0,70}$$

$$f_{ctM,k} \cong \frac{2,89}{0,70} \cong 4,13 \text{ MPa}$$

$$f_{ctM,k} \cong 1,42857 \times 2,89 \cong 4,13 \text{ MPa}$$

a.2) Segundo *Bücher e Rodrigues (1983)*:

$$f_{ctM,k} = 0,56 \times (f_{ck})^{0,60}$$

$$f_{ctM,k} = 0,56 \times (30,00)^{0,60} \cong 4,30 \text{ MPa}$$

a.3) Segundo *Packard (1976)*:

$$f_{ctM,k} = 0,76 \times (f_{ck})^{0,50}$$

$$f_{ctM,k} = 0,76 \times (30,00)^{0,50} \cong 4,16 \text{ MPa}$$

Para o dimensionamento dos pisos industriais de concreto, optou-se adotar o resultado obtido pela fórmula fornecida pela *NBR 6.118:2007*. Logo, tem-se:

$$f_{ctM,k} = 4,13 \text{ MPa}.$$

b) Aço.

- Telas eletrossoldadas (armaduras superior e inferior) – Aço CA 60 A.
- Barras de transferência – Aço CA 25 A.

B.2 Dimensionamento dos pisos industriais de concreto

B.2.1 Piso industrial de concreto simples – Dimensionamento da espessura (h)

B.2.1.1 Cargas móveis – Empilhadeira com rodames pneumáticos e eixo com rodagem simples

a) Cálculo da carga por roda (P_r).

$$P_r = \frac{P}{\text{número de rodas}} = \frac{115,00}{2,00} = 57,50 \frac{\text{kN}}{\text{roda}} = 57.500,00 \frac{\text{N}}{\text{roda}}$$

b) Cálculo da área de contato efetiva dos pneus (A).

$$A = 10 \times \frac{P_r}{q} = 10 \times \frac{57.500,00}{770,00} = 746,75 \text{ cm}^2 \cong 747,00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sendo: } A = 747,00 \text{ cm}^2 > 600,00 \text{ cm}^2$$

Logo, não é necessário corrigir a área de contato efetiva dos pneus (A).

c) Cálculo da tensão admissível (σ_{adm}).

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{ctM,k}}{F.S.} = \frac{4,13}{2,00} = 2,065 \text{ MPa} = 2.065,00 \text{ kPa}$$

d) Cálculo da tensão de trabalho (Q).

$$Q = \frac{\sigma_{adm}}{P} = \frac{2.065,00}{115,00} = 17,95 \frac{\text{Pa}}{\text{N}}$$

e) Determinação da espessura da placa de concreto simples (h).

e.1) Modelo I.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q = 17,95 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A = 747,00 \text{ cm}^2;$$

$$s = 100,00 \text{ cm};$$

$$k_I = 28,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}};$$

$$k_{inc,I-I} = 40,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{I-I} = 20,00 \text{ cm}$$

e.2) Modelo II.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q = 17,95 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A = 747,00 \text{ cm}^2;$$

$$s = 100,00 \text{ cm};$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}};$$

$$k_{inc,II-I} = 60,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{II-I} = 19,00 \text{ cm}$$

e.3) Modelo III.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q = 17,95 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A = 747,00 \text{ cm}^2;$$

$$s = 100,00 \text{ cm};$$

$$k_I = 28,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}};$$

$$k_{inc,I-II} = 100,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{I-II} = 20,00 \text{ cm}$$

e.4) Modelo IV.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q = 17,95 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A = 747,00 \text{ cm}^2;$$

$$s = 100,00 \text{ cm};$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}};$$

$$k_{inc,II-II} = 97,50 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{II-II} = 19,00 \text{ cm}$$

B.2.1.2 Cargas estáticas: Carregamento de montantes de prateleiras

a) Área de contato da carga concentrada (A_{mont}).

$$A_{mont} = 400,00 \text{ cm}^2 < 600,00 \text{ cm}^2.$$

Logo, é necessário corrigir a área de contato da carga concentrada (A'_{mont}).

Primeiramente, adota-se uma espessura: $h_{ad} = 20,00 \text{ cm}$.

Consulta-se o gráfico apresentado pela Figura A.5 – Anexo A.

Então, chega-se a área de contato da carga concentrada corrigida:

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2.$$

b) Cálculo da tensão admissível ($\sigma_{adm,mont}$).

$$\sigma_{adm,mont} = \frac{f_{ctM,k}}{F.S.} = \frac{4,13}{2,00} = 2,065 \text{ MPa} = 2.065,00 \text{ kPa}$$

c) Cálculo da tensão de trabalho (Q_{mont}).

$$Q_{mont} = \frac{\sigma_{adm}}{P_{mont}} = \frac{2.065,00}{60,00} = 34,41 \frac{\text{Pa}}{\text{N}}$$

d) Determinação da espessura da placa de concreto simples (h).

d.1) Modelo I.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.9 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_I = 3,00\%;$$

$$k_I = 28,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}};$$

$$k_{inc,I-I} = 40,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,I-I} = 21,00 \text{ cm} > h_{I-I} = 20,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{mont,I-I} = 21,00 \text{ cm}$$

d.2) Modelo II.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.10 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_{II} = 10,00\%;$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}};$$

$$k_{inc,II-I} = 60,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,II-I} = 20,00 \text{ cm} > h_{II-I} = 19,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{mont,II-I} = 20,00 \text{ cm}$$

d.3) Modelo III.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.9 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{Pa}{N};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_I = 3,00\%;$$

$$k_I = 28,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,I-II} = 100,00 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,I-II} = 21,00 \text{ cm} > h_{I-II} = 20,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{mont,I-II} = 21,00 \text{ cm}$$

d.4) Modelo IV.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.10 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{Pa}{N};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_{II} = 10,00\%;$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,II-II} = 97,50 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,II-II} = 20,00 \text{ cm} > h_{II-II} = 19,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{mont,II-II} = 20,00 \text{ cm}$$

Tabela B.1 - Espessuras das placas de concreto simples (*h*): Empilhadeira eixo com rodagem simples

Modelo	Espessura (h)
I	21,00 cm
II	20,00 cm
III	21,00 cm
IV	20,00 cm

e) Verificação da tensão de apoio.

e.1) Cálculo da tensão de apoio (σ_{apoio}).

$$\sigma_{apoio} = \frac{P_{mont}}{A_{mont}} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{(0,20 \times 0,20)} = 1,50 \text{ MPa}$$

e.2) Verificação.

Segundo *Packard* (1976), calcula-se para força no interior da placa:

$$\sigma_{apoio,adm,i} \leq 4,20 \times f_{ctM,k} = 4,20 \times 4,13 = 17,34 \text{ MPa}$$

E para força na borda ou no canto da placa:

$$\sigma_{apoio,adm,b} \leq 2,10 \times f_{ctM,k} = 2,10 \times 4,13 = 8,67 \text{ MPa}$$

Verifica-se:

$$\sigma_{apoio} = 1,50 \text{ MPa} \ll \sigma_{apoio,adm,i} = 17,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{apoio} = 1,50 \text{ MPa} \ll \sigma_{apoio,adm,b} = 8,67 \text{ MPa}$$

f) Verificação da punção – Segundo *Packard* (1976).

f.1) Cálculo da tensão cisalhante de cálculo (τ_{sd}).

- Modelos I e III.

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{(4 \times 0,20) \times 0,210} = 0,357 \text{ MPa}$$

- Modelos II e IV.

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{(4 \times 0,20) \times 0,200} = 0,375 \text{ MPa}$$

f.2) Verificação.

Segue o cálculo da tensão cisalhante admissível (τ_{adm}), segundo *Packard* (1976):

$$\tau_{adm} = 0,270 \times f_{ctM,k} = 0,270 \times 4,13 = 1,115 \text{ MPa}$$

Então, verifica-se:

- Modelos I e III:

$$\tau_{sd} = 0,357 \text{ MPa} \ll \tau_{adm} = 1,115 \text{ MPa}$$

- Modelos II e IV:

$$\tau_{sd} = 0,375 \text{ MPa} \ll \tau_{adm} = 1,115 \text{ MPa}$$

B.2.1.3 Cargas estáticas: Carregamento uniformemente distribuído

a) Cálculo da tensão admissível ($\sigma_{adm,dist}$).

$$\sigma_{adm,dist} = \frac{f_{ctM,k}}{F.S.} = \frac{4,13}{1,50} = 2,75333 \text{ MPa} = 2.753,33 \text{ kPa}$$

b) Cálculo do carregamento uniformemente distribuído admissível (C_{adm}).

b.1) Modelo I.

Seja:

$$k = k_{inc,I-I} = 40,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

$$h_{mont,I-I} = 21,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(21,00 \times 40,00)} = 82,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 82,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > C_d = 60,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

b.2) Modelo II.

Seja:

$$k = k_{inc,II-I} = 60,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

$$h_{mont,II-I} = 20,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(20,00 \times 60,00)} = 98,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 98,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > C_d = 60,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

b.3) Modelo III.

Seja:

$$k = k_{inc,I-II} = 100,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

$$h_{mont,I-II} = 21,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(21,00 \times 100,00)} = 129,95 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 129,95 \frac{kN}{m^2} > C_d = 60,00 \frac{kN}{m^2}$$

b.4) Modelo IV.

Seja:

$$k = k_{inc,II-II} = 97,50 \frac{MPa}{m}$$

$$h_{mont,II-II} = 20,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(20,00 \times 97,50)} = 125,23 \frac{kN}{m^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 125,23 \frac{kN}{m^2} > C_d = 60,00 \frac{kN}{m^2}$$

B.2.1.4 Dimensões das placas para o piso industrial de concreto simples – Empilhadeira eixo com rodagem simples

- Comprimento (L): $L = 5,00$ metros;
- Largura (W): $W = 2,50$ metros;
- Espessura (h) – Modelos I e III: $h_{I,III} = 21,00$ cm;
- Espessura (h) – Modelos II e IV: $h_{II,IV} = 20,00$ cm.

Observação: Projeto Geométrico do Piso Industrial de Concreto Simples em Projetos Estruturais.

B.2.1.5 Cargas móveis – Empilhadeira com rodames pneumáticos e eixo com rodagem dupla

a) Cálculo da carga por roda (P_r).

$$P_r = \frac{P}{\text{número de rodas}} = \frac{188,35}{4,00} = 47,10 \frac{kN}{roda} = 47.100,00 \frac{N}{roda}$$

b) Cálculo da área de contato efetiva dos pneus (A).

$$A = 10 \times \frac{P_r}{q} = 10 \times \frac{47.100,00}{770,00} = 611,69 \text{ cm}^2 \cong 611,70 \text{ cm}^2$$

Sendo: $A = 611,70 \text{ cm}^2 > 600,00 \text{ cm}^2$

Logo, não é necessário corrigir a área de contato efetiva dos pneus (A).

c) Cálculo da tensão admissível (σ_{adm}).

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{ctM,k}}{F.S.} = \frac{4,13}{2,00} = 2,065 \text{ MPa} = 2.065,00 \text{ kPa}$$

d) Cálculo da tensão de trabalho (Q).

$$Q = \frac{\sigma_{adm}}{P} = \frac{2.065,00}{188,35} = 10,96 \frac{\text{Pa}}{\text{N}}$$

e) Espessura arbitrada inicialmente: $h_{arb} = 20,00 \text{ cm}$.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.7 – Anexo A.

$$Q = 10,96 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A = 611,70 \text{ cm}^2;$$

$$s = 150,00 \text{ cm};$$

$$s_d = 35,00 \text{ cm};$$

$$h_{arb} = 20,00 \text{ cm}.$$

Obtêm-se o fator de redução:

$$f_{red} = 0,797$$

f) Correção do valor da carga (P_{cor}).

$$P_{cor} = 0,797 \times 188,35 = 150,10 \text{ kN}$$

g) Correção do valor da tensão de trabalho (Q_{cor}).

$$Q_{cor} = \frac{\sigma_{adm}}{P} = \frac{2.065,00}{150,10} = 13,75 \frac{\text{Pa}}{\text{N}}$$

h) Determinação da espessura da placa de concreto simples (h).

h.1) Modelo I.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q_{cor} = 13,75 \frac{\text{Pa}}{\text{N}};$$

$$A = 611,70 \text{ cm}^2;$$

$$s = 150,00 \text{ cm};$$

$$k_I = 28,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,I-I} = 40,00 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{I-I} = 24,00 \text{ cm}$$

h.2) Modelo II.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q_{cor} = 13,75 \frac{Pa}{N};$$

$$A = 611,70 \text{ cm}^2;$$

$$s = 150,00 \text{ cm};$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,II-I} = 60,00 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{II-I} = 23,00 \text{ cm}$$

h.3) Modelo III.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q_{cor} = 13,75 \frac{Pa}{N};$$

$$A = 611,70 \text{ cm}^2;$$

$$s = 150,00 \text{ cm};$$

$$k_I = 28,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,I-II} = 100,00 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{I-II} = 24,00 \text{ cm}$$

h.4) Modelo IV.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.6 – Anexo A.

$$Q_{cor} = 13,75 \frac{Pa}{N};$$

$$A = 611,70 \text{ cm}^2;$$

$$s = 150,00 \text{ cm};$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,II-II} = 97,50 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{II-II} = 23,00 \text{ cm}$$

B.2.1.6 Cargas estáticas: Carregamento de montantes de prateleiras

Os itens *a*, *b* e *c* são idênticos aos apresentados anteriormente no subíndice

B.2.1.2.

d) Determinação da espessura da placa de concreto simples (*h*).

d.1) Modelo I.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.9 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{Pa}{N};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_I = 3,00\%;$$

$$k_I = 28,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,I-I} = 40,00 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,I-I} = 21,00 \text{ cm} < h_{I-I} = 24,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{I-I} = 24,00 \text{ cm}$$

d.2) Modelo II.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.10 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{Pa}{N};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_{II} = 10,00\%;$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,II-I} = 60,00 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,II-I} = 20,00 \text{ cm} < h_{II-I} = 23,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{II-I} = 23,00 \text{ cm}$$

d.3) Modelo III.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.9 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{Pa}{N};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_I = 3,00\%;$$

$$k_I = 28,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,I-II} = 100,00 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,I-II} = 21,00 \text{ cm} > h_{I-II} = 24,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{I-II} = 24,00 \text{ cm}$$

d.4) Modelo IV.

Com os parâmetros apresentados a seguir, consulta-se o ábaco apresentado pela Figura A.10 – Anexo A.

$$Q_{mont} = 34,41 \frac{Pa}{N};$$

$$A'_{mont} = 390,00 \text{ cm}^2;$$

$$CBR_{II} = 10,00\%;$$

$$k_{II} = 56,00 \frac{MPa}{m};$$

$$k_{inc,II-II} = 97,50 \frac{MPa}{m}.$$

Obtêm-se a espessura da placa:

$$h_{mont,II-II} = 20,00 \text{ cm} > h_{II-II} = 23,00 \text{ cm} \rightarrow \text{Então, adota-se:}$$

$$h_{II-II} = 23,00 \text{ cm}$$

Tabela B.2 - Espessuras das placas de concreto simples (*h*): Empilhadeira eixo com rodagem dupla

Modelo	Espessura (h)
I	24,00 cm
II	23,00 cm
III	24,00 cm
IV	23,00 cm

O item e é idêntico ao apresentado anteriormente no subíndice B.2.1.2.

f) Verificação da punção – Segundo *Packard* (1976).

f.1) Cálculo da tensão cisalhante de cálculo (τ_{Sd}).

- Modelos I e III.

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{(4 \times 0,20) \times 0,240} = 0,312 \text{ MPa}$$

- Modelos II e IV.

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{(4 \times 0,20) \times 0,230} = 0,326 \text{ MPa}$$

f.2) Verificação.

Segue o cálculo da tensão cisalhante admissível (τ_{adm}), segundo *Packard* (1976):

$$\tau_{adm} = 0,270 \times f_{ctM,k} = 0,270 \times 4,13 = 1,115 \text{ MPa}$$

Então, verifica-se:

- Modelos I e III:

$$\tau_{Sd} = 0,312 \text{ MPa} \ll \tau_{adm} = 1,115 \text{ MPa}$$

- Modelos II e IV:

$$\tau_{Sd} = 0,326 \text{ MPa} \ll \tau_{adm} = 1,115 \text{ MPa}$$

B.2.1.7 Cargas estáticas: Carregamento uniformemente distribuído

a) Cálculo da tensão admissível ($\sigma_{adm,dist}$).

$$\sigma_{adm,dist} = \frac{f_{ctM,k}}{F.S.} = \frac{4,13}{1,50} = 2,75333 \text{ MPa} = 2.753,33 \text{ kPa}$$

b) Cálculo do carregamento uniformemente distribuído admissível (C_{adm}).

b.1) Modelo I.

Seja:

$$k = k_{inc,I-I} = 40,00 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

$$h_{I-I} = 24,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(24,00 \times 40,00)} = 87,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 87,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > C_d = 60,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

b.2) Modelo II.

Seja:

$$k = k_{inc,II-I} = 60,00 \frac{MPa}{m}$$

$$h_{II-I} = 23,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(23,00 \times 60,00)} = 105,35 \frac{kN}{m^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 105,35 \frac{kN}{m^2} > C_d = 60,00 \frac{kN}{m^2}$$

b.3) Modelo III.

Seja:

$$k = k_{inc,I-II} = 100,00 \frac{MPa}{m}$$

$$h_{I-II} = 24,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(24,00 \times 100,00)} = 138,93 \frac{kN}{m^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 138,93 \frac{kN}{m^2} > C_d = 60,00 \frac{kN}{m^2}$$

b.4) Modelo IV.

Seja:

$$k = k_{inc,II-II} = 97,50 \frac{MPa}{m}$$

$$h_{II-II} = 23,00 \text{ cm}$$

Calcula-se o carregamento uniformemente distribuído admissível:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{(23,00 \times 97,50)} = 134,29 \frac{kN}{m^2}$$

Verifica-se:

$$C_{adm} = 134,29 \frac{kN}{m^2} > C_d = 60,00 \frac{kN}{m^2}$$

B.2.1.8 Dimensões das placas para o piso industrial de concreto simples – Empilhadeira eixo com rodagem dupla

- Comprimento (L): $L = 5,00$ metros;
- Largura (W): $W = 2,50$ metros;

- Espessura (h) – Modelos I e III: $h_{I,III} = 24,00$ cm;
- Espessura (h) – Modelos II e IV: $h_{II,IV} = 23,00$ cm.

Observação: Não há projeto estrutural.

B.2.2 Piso industrial de concreto com armadura distribuída – Dimensionamento da espessura (h) e da armadura de retração ($A_{s,ret}$)

A espessura do piso industrial de concreto com armadura distribuída é pré-dimensionada da mesma forma que a espessura do piso industrial de concreto simples, isto é, conforme apresentado no subíndice *B.2.1*.

Agora, realiza-se o dimensionamento da armadura de retração segundo as metodologias apresentadas no Capítulo 4.

B.2.2.1 Especificações e dimensões da placa de concreto

- Peso específico do concreto (γ_c): $\gamma_c = 24,50$ kN/m^3 ;
- Aço tipo: CA – 60 A;
- Coeficiente de atrito entre a sub-base e a placa de concreto: $f = 1,50$;
- Comprimento (L): $L = 15,00$ metros;
- Largura (W): $W = 7,50$ metros;
- Espessura (h) da placa de concreto – Modelos I e III: $h_{I,III} = 21,00$ cm;
- Espessura (h) da placa de concreto – Modelos II e IV: $h_{II,IV} = 20,00$ cm.

B.2.2.2 Dimensionamento da armadura de retração ($A_{s,ret}$).

a) *Drag equation.*

a.1) Modelos I e III:

$$A_{s,ret1} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times L \times W \times h}{2\sigma_s} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 15,00 \times 7,50 \times 0,210}{2 \times \frac{2}{3} \times 600,00} = 1,09 \text{ cm}^2/m$$

a.2) Modelos II e IV:

$$A_{s,ret2} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times L \times W \times h}{2\sigma_s} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 15,00 \times 7,50 \times 0,200}{2 \times \frac{2}{3} \times 600,00} = 1,04 \text{ cm}^2/m$$

b) *Packard* (1973).

b.1) Modelos I e III:

$$A_{s,ret1} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times 0,75 \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,210 \times 15,00}{2 \times 0,75 \times 60,00} = 1,29 \text{ cm}^2/m$$

b.2) Modelos II e IV:

$$A_{s,ret2} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times 0,75 \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,200 \times 15,00}{2 \times 0,75 \times 60,00} = 1,23 \text{ cm}^2/m$$

c) *Rodrigues e Cassaro* (1999).

c.1) Modelos I e III:

$$A_{s,ret1} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times \frac{2}{3} \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,210 \times 15,00}{2 \times \frac{2}{3} \times 60,00} = 1,45 \text{ cm}^2/m$$

c.2) Modelos II e IV:

$$A_{s,ret2} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times \frac{2}{3} \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,200 \times 15,00}{2 \times \frac{2}{3} \times 60,00} = 1,38 \text{ cm}^2/m$$

d) *ABNT NBR 6.118/2007*.

d.1) Modelos I e III:

$$A_{s,ret1} = \frac{1,20 \times f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times \frac{f_{yk}}{1,15}} = \frac{1,20 \times 1,50 \times 24,50 \times 0,210 \times 15,00}{2 \times \frac{60,00}{1,15}} = 1,34 \text{ cm}^2/m$$

d.2) Modelos II e IV:

$$A_{s,ret2} = \frac{1,20 \times f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times \frac{f_{yk}}{1,15}} = \frac{1,20 \times 1,50 \times 24,50 \times 0,200 \times 15,00}{2 \times \frac{60,00}{1,15}} = 1,27 \text{ cm}^2/m$$

Optou-se adotar as áreas de aço obtidas segundo os critérios de cálculo estabelecidos pela norma *ABNT NBR 6.118:2007*, sob a justificativa de maior controle dos fatores de segurança. Ressalta-se que os resultados obtidos segundo *Rodrigues e Cassaro* (1999) foram os mais conservadores e os obtidos através da *Drag Equation* os menos conservadores.

A seguir, as áreas de aço calculadas para as armaduras de retração ($A_{s,ret}$) e as telas soldadas de aço CA – 60 Tipo Q adotadas para os respectivos modelos.

Tabela B.3 – Concreto com armadura distribuída: Armadura de retração ($A_{s,ret}$)

Modelo	$A_{s,ret}$	Tela
I	1,34 cm ² /m	Q 138
II	1,27 cm ² /m	Q 138
III	1,34 cm ² /m	Q 138
IV	1,27 cm ² /m	Q 138

B.2.2.3 Detalhamento da armadura de retração

A norma ABNT NBR 6.118:2007 não apresenta critérios específicos para detalhamento de pavimentos e pisos de concreto armado. Portanto serão utilizados os critérios apresentados para lajes e vigas.

a) Determinação do comprimento de traspasse.

No caso das telas soldadas tipo Q, geralmente, a distância entre os fios é de 10,00 centímetros. Portanto, será dimensionado o comprimento de traspasse para o caso de espaçamento maior que 4Φ , segundo a norma ABNT NBR 6.118:2007.

a.1) Para armadura de retração - Tela Q 138:

- Cálculo da resistência de aderência de cálculo.

$$f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,00 \times 1,00 \times \frac{\{0,70 \times [0,30 \times (30,00)^{2/3}]\}}{1,40} = 2,25 \times 1,00 \times 1,00 \times \frac{2,02753}{1,40} = 3,26 \text{ MPa}$$

- Cálculo do comprimento de ancoragem básico:

$$l_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{4,20}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{3,26} = 168,04 \text{ mm} \cong 170,00 \text{ mm} = 17,00 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de ancoragem necessário:

Modelos I e III:

$$l_{b,nec-I,III} = \frac{1}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \times \frac{A_{s,c}}{A_{s,e}} = \frac{1}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{(3,26)} \times \frac{1,34}{1,38} = 38,85 \text{ mm} \cong 39,00 \text{ mm} = 3,90 \text{ cm}$$

Modelos II e IV:

$$l_{b,nec-II,IV} = \frac{1}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \times \frac{A_{s,c}}{A_{s,e}} = \frac{1}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{(3,26)} \times \frac{1,27}{1,38} = 36,82 \text{ mm} \cong 37,00 \text{ mm} = 3,70 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de traspasse mínimo:

$$l_{t,min} = 0,30 \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_b = 0,30 \times 0,70 \times 2,00 \times 170,00 = 71,40 \text{ mm} = 7,15 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de traspasse:

Modelos I e III:

$$l_{t-I,III} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_{b,nec} + d_1 = 0,70 \times 2,00 \times 39,00 + 100,00 = 154,60 \text{ mm} = 155,00 \text{ mm} = 15,50 \text{ cm}$$

Modelos II e IV:

$$l_{t-II,IV} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_{b,nec} + d_1 = 0,70 \times 2,00 \times 37,00 + 100,00 = 151,80 \text{ mm} = 152,00 \text{ mm} = 15,20 \text{ cm}$$

Adota-se um comprimento de traspasse:

Modelos I e III: $l_t = 15,50 \text{ cm}$

Modelos II e IV: $l_t = 15,20 \text{ cm}$

Observação: Projeto Geométrico, Detalhamento do Piso, Detalhe das Armaduras e Corte Transversal com Detalhe das Armaduras do Piso Industrial de Concreto com Armadura Distribuída em Projetos Estruturais.

B.2.3 Piso industrial de concreto estruturalmente armado - Dimensionamento da espessura (h), da armadura de retração ($A_{s,ret}$) e da armadura de flexão (A_s)

B.2.3.1 Especificações

- Módulo de elasticidade longitudinal secante do concreto (E_{cs}).

Segundo a norma ABNT NBR 6.118:2007; calcula-se o módulo de elasticidade longitudinal secante do concreto:

$$E_{cs} = 0,85 \times 5.600 \times (f_{ck})^{1/2}$$

$$E_{cs} = 0,85 \times 5.600 \times (30,00)^{1/2} = 26.071,60 \text{ MPa}$$

- Módulo de elasticidade transversal do concreto (G_c).

Segundo a norma ABNT NBR 6.118:2007; calcula-se o módulo de elasticidade transversal do concreto:

$$G_c = 0,40 \times E_{cs}$$

$$G_c = 0,40 \times 26.071,60 = 10.428,64 \text{ MPa}$$

- Coeficiente de Poisson do concreto (ν).

Segundo a norma ABNT NBR 6.118:2007; adota-se: $\nu = 0,200$.

O dimensionamento dos pisos industriais de concreto estruturalmente armado estudados neste trabalho se dará segundo Rodrigues e Pitta (1999).

B.2.3.2 Modelos I e III

a) Espessura adotada: $h_{ad} = 16,50$ cm.

b) Cálculo da área de contato efetiva dos pneus (A).

$$A = 10 \times \frac{P_r}{q} = 10 \times \frac{\left(\frac{115,00}{2,00}\right) \times 10^3}{770,00} = 746,75 \text{ cm}^2 = 747,00 \text{ cm}^2$$

c) Cálculo das dimensões da área de contato dos pneus.

c.1) Comprimento (L_p):

$$L_p = \sqrt{\frac{A}{0,523}} = \sqrt{\frac{747,00 \times 10^{-4}}{0,523}} = 0,378 \text{ m} \cong 0,380 \text{ m}$$

c.2) Largura (W_p):

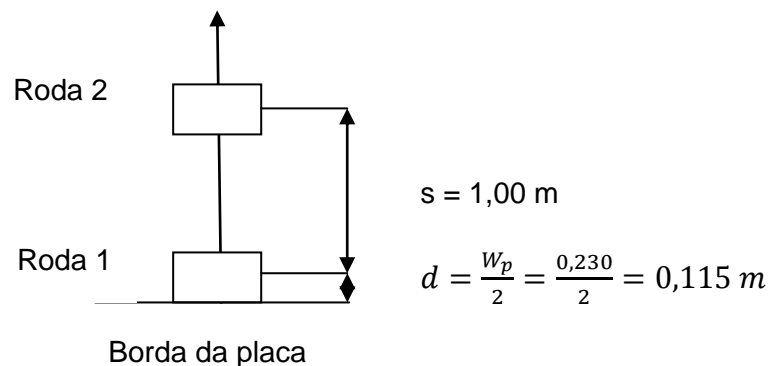
$$W_p = 0,60 \times L = 0,60 \times 0,380 = 0,228 \text{ m} \cong 0,230 \text{ m}$$

d) Cálculo do raio de rigidez relativo (l).

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times k}} = \sqrt[4]{\frac{26.071,60 \times (16,50 \times 10^{-2})^3}{12 \times (1 - 0,20^2) \times 28,00}} = 0,776 \text{ m}$$

e) Caso 1: Carregamento na borda da placa.

Seja:



e.1) Parâmetros de entrada no ábaco.

$$\frac{x}{l} = \frac{0,00}{0,776} = 0,00$$

$$\frac{L}{l} = \frac{0,380}{0,776} = 0,489 \cong 0,50$$

$$\text{roda 1: } \frac{d}{l} = \frac{0,115}{0,776} = 0,148 \cong 0,15$$

$$\text{roda 2: } \frac{d}{l} = \frac{(1,00+0,115)}{0,776} = \frac{1,115}{0,776} = 1,436 \cong 1,44$$

Após consulta ao ábaco apresentado pela Figura A.14 (a) (Anexo A), tem-se:

$$N_1 = 500$$

$$N_2 = 0$$

$$N_T = N_1 + N_2 = 500 + 0 = 500$$

e.2) Cálculo do momento na borda da placa (M_b).

$$M_b = \frac{N_T \times q \times l^2}{10.000} = \frac{500 \times 0,770 \times 10^6 \times (0,776)^2}{10.000} = 23.183,77 \text{ N} \times \text{m}/\text{m} = 232,00 \text{ tf} \times \text{cm}/\text{m}$$

e.3) Cálculo da armadura longitudinal de flexão (A_s).

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_b} = \frac{100,00 \times (16,50 - 3,00)^2}{232,00} = 78,56$$

Para obter o valor de k_3 , consulta-se a Tabela A.4 (Anexo A).

Então, sendo: $k_3 \cong 0,287$.

Faz-se:

$$A_{sb} = k_3 \times \frac{M_b}{d} = 0,287 \times \frac{232,00}{(16,50 - 3,00)} = 4,94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

f) Caso 2: Carregamento no interior da placa.

f.1) Cálculo do momento (M_i).

$$M_i = \frac{M_{kb}}{2,00} = \frac{232,00}{2,00} = 116,00 \text{ tf} \times \text{cm}/\text{m}$$

f.2) Cálculo da armadura longitudinal de flexão (A_s).

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_b} = \frac{100,00 \times (16,50 - 3,00)^2}{116,00} = 157,11$$

Para obter o valor de k_3 , consulta-se a Tabela A.4 (Anexo A).

Então, sendo: $k_3 \cong 0,278$.

Faz-se:

$$A_{si} = k_3 \times \frac{M_{kb}}{d} = 0,278 \times \frac{116,00}{(16,50 - 3,00)} = 2,40 \text{ cm}^2/\text{m}$$

g) Verificação das armaduras longitudinais de flexão mínimas e máximas – Segundo ABNT NBR 6.118:2007.

g.1) Armadura longitudinal de flexão mínima.

$$A_{s,min} = 0,173\% \times 100,00 \times (16,50 - 3,00) = 2,34 \text{ cm}^2/m$$

g.2) Armadura longitudinal de flexão máxima.

$$(A_s + A'_s)_{m\acute{a}x} = (0 + A'_s)_{m\acute{a}x} = A'_{s,m\acute{a}x} = 4,00\% \times 100,00 \times (16,50 - 3,00) = 54,00 \text{ cm}^2/m$$

h) Verificação da punção – Segundo a ABNT NBR 6.118:2007.

h.1) Na face da área de aplicação da força.

- Cálculo da tensão cisalhante resistente de cálculo (τ_{Rd}):

$$\tau_{Rd} = 0,270 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 0,270 \times \left(1 - \frac{30,00}{250}\right) \times \left(\frac{30,00}{1,40}\right) = 5,09 \text{ MPa}$$

- Cálculo do perímetro crítico (u):

$$u = 2 \times (c_1 + c_2) = 2 \times (0,20 + 0,20) = 0,80 \text{ m}$$

- Cálculo da tensão cisalhante atuante de cálculo (τ_{Sd}):

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{0,80 \times (0,165 - 0,030)} = 0,555 \text{ MPa}$$

- Verificação:

$$\tau_{Rd} = 5,09 \text{ MPa} \gg \tau_{Sd} = 0,555 \text{ MPa}$$

h.2) A uma distância igual a $2d$ da face da área de aplicação da força.

h.2.1) Na borda da placa.

- Cálculo da taxa de armadura (ρ):

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{4,94}{100,00 \times (16,50 - 3,00)} = 3,65926 \times 10^{-3} = 0,36593 \%$$

Sendo:

$$\rho = \rho_x = \rho_y$$

Faz-se:

$$\rho = \sqrt{2 \times 3,65926 \times 10^{-3}} = 0,08555$$

- Cálculo da tensão cisalhante resistente de cálculo (τ_{Rd}):

$$\tau_{Rd} = 0,130 \times \left(1 - \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \times \sqrt[3]{100 \times \rho \times f_{ck}} = 0,130 \times \left(1 + \sqrt{\frac{20}{(16,50 - 3,00)}}\right) \times$$

$$\sqrt[3]{100 \times 0,08555 \times 30,00} = 1,83 \text{ MPa}$$

- Cálculo do perímetro crítico (u):

$$u = 2 \times (c_1 + c_2) + 2 \times \pi \times (2 \times m) = 2 \times (0,20 + 0,20) + 2 \times \pi \times (2 \times 0,20) = 3,31 \text{ m}$$

- Cálculo da tensão cisalhante atuante de cálculo (τ_{Sd}):

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{3,31 \times (0,165 - 0,030)} = 0,134 \text{ MPa}$$

- Verificação:

$$\tau_{Rd} = 1,83 \text{ MPa} \gg \tau_{Sd} = 0,134 \text{ MPa}$$

h.2.2) No interior da placa.

- Cálculo da taxa de armadura (ρ):

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2,40}{100,00 \times (16,50 - 3,00)} = 1,77778 \times 10^{-3} = 0,17778 \%$$

Sendo:

$$\rho = \rho_x = \rho_y$$

Faz-se:

$$\rho = \sqrt{2 \times 1,77778 \times 10^{-3}} = 0,05963$$

- Cálculo da tensão cisalhante resistente de cálculo (τ_{Rd}):

$$\tau_{Rd} = 0,130 \times \left(1 - \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \times \sqrt[3]{100 \times \rho \times f_{ck}} = 0,130 \times \left(1 + \sqrt{\frac{20}{(16,50 - 3,00)}}\right) \times$$

$$\sqrt[3]{100 \times 0,05963 \times 30,00} = 1,62 \text{ MPa}$$

- Cálculo do perímetro crítico (u):

$$u = 2 \times (c_1 + c_2) + 2 \times \pi \times (2 \times m) = 2 \times (0,20 + 0,20) + 2 \times \pi \times (2 \times 0,20) = 3,31 \text{ m}$$

- Cálculo da tensão cisalhante atuante de cálculo (τ_{Sd}):

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{3,31 \times (0,165 - 0,030)} = 0,134 \text{ MPa}$$

- Verificação:

$$\tau_{Rd} = 1,62 \text{ MPa} \gg \tau_{Sd} = 0,134 \text{ MPa}$$

i) Verificação do carregamento uniformemente distribuído.

i.1) Modelo I:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{16,50 \times 40,00} = 72,86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > C_d = 60,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

i.2) Modelo III:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{16,50 \times 60,00} = 89,23045 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cong 89,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > C_d = 60,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tabela B.4 – Concreto estruturalmente armado: Modelos I e III - Armadura longitudinal de flexão (A_s) (Placas periféricas)

Modelo	Armadura longitudinal de flexão (A_s)	Tela
Modelo I – Carregamento na borda da placa	4,94 cm ² /m	2 x Q 283
Modelo I – Carregamento no interior da placa	2,40 cm ² /m	Q 246
Modelo III – Carregamento na borda da placa	4,94 cm ² /m	2 x Q 283
Modelo III - Carregamento no interior da placa	2,40 cm ² /m	Q 246

j) Cálculo do reforço das juntas.

Ao se tratar de um piso industrial, as bordas livres irão ocorrer somente na periferia do piso. Portanto, seria antieconômica e pouco funcional a adoção da armadura de borda, composta por duas telas Q 283. Neste caso, Rodrigues e Pitta (1997) sugerem armar a região próxima às juntas, cerca de 80 centímetros, prevendo determinada eficiência do sistema de transferência; isto é, caso esse seja formado por barras lisas com diâmetro de 25 milímetros, comprimento de 50 centímetros (metade pintada e engraxada), espaçadas a cada 30 centímetros, pode-se estimar a eficiência em 65%. Dessa forma, tem-se:

$$M_j = M_b \left(1 - \frac{\partial}{200}\right) = 232,00 \left(1 - \frac{65}{200}\right) = 156,60 \text{ tf} \times \text{cm}/\text{m}$$

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_j} = \frac{100,00 \times (16,50 - 3,00)^2}{156,60} = 116,38$$

Para obter o valor de k_3 , consulta-se a Tabela A.4 (Anexo A).

Então, sendo: $k_3 \cong 0,280$

Faz-se:

$$A_{sj} = k_3 \times \frac{M_{kb}}{d} = 0,280 \times \frac{156,60}{(16,50 - 3,00)} = 3,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Essa condição pode ser satisfeita com o emprego da tela Q 246 acrescida de uma faixa de tela Q 92.

l) Cálculo da armadura de retração ($A_{s,ret}$).

Dimensões das placas de concreto:

- Comprimento (L): $L = 25,00$ metros;
- Largura (W): $W = 12,00$ metros.

I.1) Drag equation.

$$A_{s,ret} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times L \times W \times h}{2\sigma_s} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 25,00 \times 12,00 \times 0,165}{2 \times \frac{2}{3} \times 600,00} = 2,28 \text{ cm}^2/m$$

I.2) Packard (1973).

$$A_{s,ret} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times 0,75 \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,165 \times 25,00}{2 \times 0,75 \times 60,00} = 1,69 \text{ cm}^2/m$$

I.3) Rodrigues e Cassaro (1999).

$$A_{s,ret} = \frac{f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times \frac{2}{3} \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,165 \times 25,00}{2 \times \frac{2}{3} \times 60,00} = 1,90 \text{ cm}^2/m$$

I.4) ABNT NBR 6.118/2007.

$$A_{s,ret} = \frac{1,20 \times f \times \gamma_{concreto} \times h \times L}{2 \times \frac{f_{yk}}{1,15}} = \frac{1,20 \times 1,50 \times 24,50 \times 0,165 \times 25,00}{2 \times \frac{60,00}{1,15}} = 1,75 \text{ cm}^2/m$$

Pelos mesmos motivos justificados anteriormente, optou-se adotar: $A_{s,ret} = 1,75 \text{ cm}^2/m$. Logo, emprega-se telas soldadas do tipo Q 196.

Tabela B.5 – Concreto estruturalmente armado: Modelos I e III - Armadura longitudinal de flexão (A_s) e armadura de retração ($A_{s,ret}$) (Placas internas)

Modelo	Armadura longitudinal de flexão (A_s)	Tela	Armadura de retração ($A_{s,ret}$)	Tela
Modelo I – Carregamento na borda da placa (reforço das juntas)	3,26 cm ² /m	Q 246 acrescida faixa Q 92	1,75 cm ² /m	Q 196
Modelo I – Carregamento no interior da placa	2,40 cm ² /m	Q 246	1,75 cm ² /m	Q 196
Modelo III - – Carregamento na borda da placa (reforço das juntas)	3,26 cm ² /m	Q 246 acrescida faixa Q 92	1,75 cm ² /m	Q 196
Modelo III - Carregamento no interior da placa	2,40 cm ² /m	Q 246	1,75 cm ² /m	Q 196

m) Detalhamento da armadura.

A norma ABNT NBR 6.118:2007 não apresenta critérios específicos para detalhamento de pavimentos e pisos de concreto armado. Portanto serão utilizados os critérios apresentados para lajes e vigas.

m.1) Determinação do comprimento de transpasse.

No caso das telas soldadas tipo Q, geralmente, a distância entre os fios é de 10,00 centímetros. Portanto, será dimensionado o comprimento de transpasse para o caso de espaçamento maior que 4Φ , segundo a norma ABNT NBR 6.118:2007.

- Cálculo da resistência de aderência de cálculo.

$$f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,00 \times 1,00 \times \frac{\{0,70 \times [0,30 \times (30,00)^{2/3}]\}}{1,40} = 2,25 \times 1,00 \times 1,00 \times \frac{2,02753}{1,40} = 3,26 \text{ MPa}$$

m.1.1) Para armadura longitudinal de flexão - Tela Q 246:

- Cálculo do comprimento de ancoragem básico:

$$l_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{5,60}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{3,26} = 224,06 \text{ mm} \cong 224,00 \text{ mm} = 22,40 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de ancoragem necessário:

$$l_{b,nec} = \frac{1}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \times \frac{A_{s,c}}{A_{s,e}} = \frac{1}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{(3,26)} \times \frac{2,40}{2,46} = 39,03 \text{ mm} \cong 39,00 \text{ mm} = 3,90 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de traspasse mínimo:

$$l_{t,min} = 0,30 \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_b = 0,30 \times 0,70 \times 2,00 \times 224,00 = 94,08 \text{ mm} \cong 94,10 \text{ mm} = 9,45 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de traspasse:

$$l_t = \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_{b,nec} + d_1 = 0,70 \times 2,00 \times 39,00 + 100,00 = 154,60 \text{ mm} = 15,50 \text{ cm}$$

Adota-se um comprimento de traspasse igual a 15,50 centímetros.

m.1.2) Para armadura de retração - Tela Q 196:

- Cálculo do comprimento de ancoragem básico:

$$l_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{5,00}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{3,26} = 200,05 \text{ mm} \cong 200,00 \text{ mm} = 20,00 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de ancoragem necessário:

$$l_{b,nec} = \frac{1}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \times \frac{A_{s,c}}{A_{s,e}} = \frac{1}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{(3,26)} \times \frac{1,75}{1,96} = 35,72 \text{ mm} \cong 35,75 \text{ mm} = 3,60 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de traspasse mínimo:

$$l_{t,min} = 0,30 \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_b = 0,30 \times 0,70 \times 2,00 \times 200,00 = 84,00 \text{ mm} = 8,40 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de traspasse:

$$l_t = \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_{b,nec} + d_1 = 0,70 \times 2,00 \times 35,75 + 100,00 = 150,05 \text{ mm} \cong 150,00 \text{ mm} = 15,00 \text{ cm}$$

Adota-se um comprimento de traspasse igual a 15,00 centímetros.

Observação: Ver - Projeto Geométrico, Detalhamento do Piso, Detalhe das Armaduras e Corte Transversal com Detalhe das Armaduras do Piso Industrial de Concreto Estruturalmente Armado em Projetos Estruturais.

B.2.3.3 Modelos II e IV

a) Espessura adotada: $h_{ad} = 17,00$ cm.

b) Cálculo da área de contato efetiva dos pneus (A).

$$A = 10 \times \frac{P_r}{q} = 10 \times \frac{\left(\frac{115,00}{2,00}\right) \times 10^3}{770,00} = 746,75 \text{ cm}^2 = 747,00 \text{ cm}^2$$

c) Cálculo das dimensões da área de contato dos pneus.

c.1) Comprimento (L_p):

$$L_p = \sqrt{\frac{A}{0,523}} = \sqrt{\frac{747,00 \times 10^{-4}}{0,523}} = 0,378 \text{ m} \cong 0,380 \text{ m}$$

c.2) Largura (W_p):

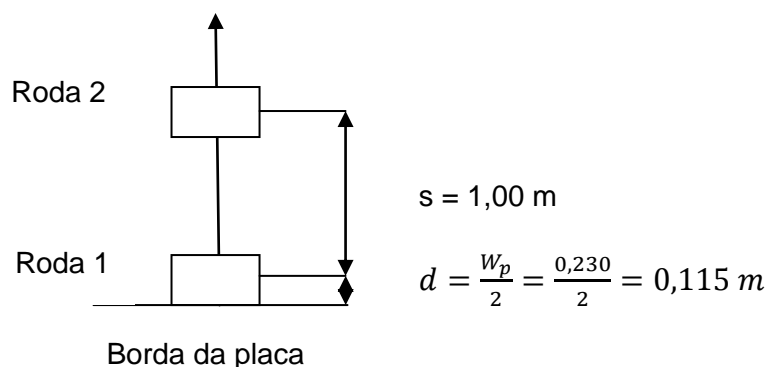
$$W_p = 0,60 \times L_p = 0,60 \times 0,380 = 0,228 \text{ m} \cong 0,230 \text{ m}$$

d) Cálculo do raio de rigidez relativo (l).

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1-\nu^2) \times k}} = \sqrt[4]{\frac{26.071,60 \times (17,00 \times 10^{-2})^3}{12 \times (1-0,20^2) \times 56,00}} = 0,668 \text{ m}$$

e) Caso 1: Carregamento na borda da placa.

Seja:



e.1) Parâmetros de entrada no ábaco.

$$\frac{x}{l} = \frac{0,00}{0,668} = 0,00$$

$$\frac{L}{l} = \frac{0,380}{0,668} = 0,56886 \cong 0,57$$

$$\text{roda 1: } \frac{d}{l} = \frac{0,115}{0,668} = 0,17216 \cong 0,17$$

$$\text{roda 2: } \frac{d}{l} = \frac{(1,00+0,115)}{0,668} = \frac{1,115}{0,668} = 1,66916 \cong 1,67$$

Após consulta ao ábaco apresentado pela Figura A.14 (a) (Anexo A), tem-se:

$$N_1 = 600$$

$$N_2 = 0$$

$$N_T = N_1 + N_2 = 600 + 0 = 600$$

e.2) Cálculo do momento na borda da placa (M_b).

$$M_b = \frac{N_T \times q \times l^2}{10.000} = \frac{600 \times 0,770 \times 10^6 \times (0,668)^2}{10.000} = 20.615,55 \text{ N} \times \text{m}/\text{m} = 206,16 \text{ tf} \times \text{cm}/\text{m}$$

e.3) Cálculo da armadura longitudinal de flexão (A_s).

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_b} = \frac{100,00 \times (17,00 - 3,00)^2}{206,16} = 95,07$$

Para obter o valor de k_3 , consulta-se a Tabela A.4 (Anexo A).

Então, sendo:

$$k_3 \cong 0,283$$

Faz-se:

$$A_{sb} = k_3 \times \frac{M_{kb}}{d} = 0,283 \times \frac{206,16}{(17,00 - 3,00)} = 4,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

f) Caso 2: Carregamento no interior da placa.

f.1) Cálculo do momento (M_i).

$$M_i = \frac{M_{kb}}{2,00} = \frac{206,16}{2,00} = 103,08 \text{ tf} \times \text{cm}/\text{m}$$

f.2) Cálculo da armadura longitudinal de flexão (A_s).

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_b} = \frac{100,00 \times (17,00 - 3,00)^2}{103,08} = 190,14$$

Para obter o valor de k_3 , consulta-se a Tabela A.4 (Anexo A).

Então, sendo:

$$k_3 \cong 0,277$$

Faz-se:

$$A_{si} = k_3 \times \frac{M_{kb}}{d} = 0,277 \times \frac{103,08}{(17,00 - 3,00)} = 2,05 \text{ cm}^2/\text{m}$$

g) Verificação das armaduras longitudinais de flexão mínimas e máximas – Segundo a ABNT NBR 6.118:2007.

g.1) Armadura longitudinal de flexão mínima.

$$A_{s,\text{mín}} = 0,173\% \times 100,00 \times (17,00 - 3,00) = 2,43 \text{ cm}^2/\text{m}$$

g.2) Armadura longitudinal de flexão máxima.

$$(A_s + A'_s)_{m\acute{a}x} = (0 + A'_s)_{m\acute{a}x} = A'_{s,m\acute{a}x} = 4,00\% \times 100,00 \times (17,00 - 3,00) = 56,00 \text{ cm}^2/m$$

h) Verificação da punção – Segundo a ABNT NBR 6.118:2007.

h.1) Na face da área de aplicação da força.

- Cálculo da tensão resistente de cálculo (τ_{Rd}):

$$\tau_{Rd} = 0,270 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 0,270 \times \left(1 - \frac{30,00}{250}\right) \times \left(\frac{30,00}{1,40}\right) = 5,09 \text{ MPa}$$

- Cálculo do perímetro crítico (u):

$$u = 2 \times (c_1 + c_2) = 2 \times (0,20 + 0,20) = 0,80 \text{ m}$$

- Cálculo da tensão atuante de cálculo (τ_{Sd}):

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{0,80 \times (0,170 - 0,030)} = 0,535 \text{ MPa}$$

- Verificação:

$$\tau_{Rd} = 5,09 \text{ MPa} \gg \tau_{Sd} = 0,535 \text{ MPa}$$

h.2) A uma distância igual a $2d$ da face da área de aplicação da força.

h.2.1) Na borda da placa.

- Cálculo da taxa de armadura (ρ):

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{4,18}{100,00 \times (17,00 - 3,00)} = 2,98571 \times 10^{-3} = 0,29857 \%$$

Sendo:

$$\rho = \rho_x = \rho_y$$

Faz-se:

$$\rho = \sqrt{2 \times 2,98571 \times 10^{-3}} = 0,07727$$

- Cálculo da tensão cisalhante resistente de cálculo (τ_{Rd}):

$$\tau_{Rd} = 0,130 \times \left(1 - \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \times \sqrt[3]{100 \times \rho \times f_{ck}} = 0,130 \times \left(1 + \sqrt{\frac{20}{(17,00 - 3,00)}}\right) \times$$

$$\sqrt[3]{100 \times 0,07727 \times 30,00} = 1,75 \text{ MPa}$$

- Cálculo do perímetro crítico (u):

$$u = 2 \times (c_1 + c_2) + 2 \times \pi \times (2 \times m) = 2 \times (0,20 + 0,20) + 2 \times \pi \times (2 \times 0,20) = 3,31 \text{ m}$$

- Cálculo da tensão cisalhante atuante de cálculo (τ_{Sd}):

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{3,31 \times (0,170 - 0,030)} = 0,129 \text{ MPa}$$

- Verificação:

$$\tau_{Rd} = 1,75 MPa \gg \tau_{Sd} = 0,129 MPa$$

h.2.2) No interior da placa.

- Cálculo da taxa de armadura (ρ):

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2,43}{100,00 \times (17,00 - 3,00)} = 1,73571 \times 10^{-3} = 0,173571 \%$$

Sendo:

$$\rho = \rho_x = \rho_y$$

Faz-se:

$$\rho = \sqrt{2 \times 1,73571 \times 10^{-3}} = 0,05892$$

- Cálculo da tensão resistente de cálculo (τ_{Rd}):

$$\tau_{Rd} = 0,130 \times \left(1 - \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \times \sqrt[3]{100 \times \rho \times f_{ck}} = 0,130 \times \left(1 + \sqrt{\frac{20}{(17,00 - 3,00)}}\right) \times$$

$$\sqrt[3]{100 \times 0,05892 \times 30,00} = 1,60 MPa$$

- Cálculo do perímetro crítico (u):

$$u = 2 \times (c_1 + c_2) + 2 \times \pi \times (2 \times m) = 2 \times (0,20 + 0,20) + 2 \times \pi \times (2 \times 0,20) =$$

$$3,31327 m = 3,31 m$$

- Cálculo da tensão atuante de cálculo (τ_{Sd}):

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{(60,00 \times 10^{-3})}{3,31 \times (0,170 - 0,030)} = 0,129 MPa$$

- Verificação:

$$\tau_{Rd} = 1,60 MPa \gg \tau_{Sd} = 0,129 MPa$$

i) Verificação do carregamento uniformemente distribuído.

i.1) Modelo II:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{17,00 \times 100,00} = 116,92839 \frac{kN}{m^2} \cong$$

$$116,93 \frac{kN}{m^2} > C_d = 60,00 \frac{kN}{m^2}$$

i.2) Modelo IV:

$$C_{adm} = 1,03 \times \sigma_{adm} \times \sqrt{h \times k} = 1,03 \times 2,75333 \times \sqrt{17,00 \times 97,50} = 115,45753 \frac{kN}{m^2} \cong$$

$$115,46 \frac{kN}{m^2} > C_d = 60,00 \frac{kN}{m^2}$$

Tabela B.6 – Concreto estruturalmente armado: Modelos II e IV - Armadura longitudinal de flexão (A_s) (Placas periféricas)

Modelo	Armadura longitudinal de flexão (A_s)	Tela
Modelo II – Carregamento na borda da placa	4,18 cm ² /m	2 x Q 246
Modelo II – Carregamento no interior da placa	2,43 cm ² /m	Q 246
Modelo IV - – Carregamento na borda da placa	4,18 cm ² /m	2 x Q 246
Modelo IV - Carregamento no interior da placa	2,43 cm ² /m	Q 246

j) Cálculo do reforço das juntas.

Conforme justificativa anterior, de modo a tornar o dimensionamento mais econômico e a execução mais funcional, adota-se a sugestão de Rodrigues e Pitta (1997): armar a região próxima às juntas, cerca de 80 centímetros, prevendo determinada eficiência do sistema de transferência; isto é, sendo esse formado por barras lisas com diâmetro de 16 milímetros, comprimento de 50 centímetros (metade pintada e engraxada), espaçadas a cada 30 centímetros, pode-se estimar a eficiência em 65%. Dessa forma, tem-se:

$$M_j = M_b \left(1 - \frac{\rho}{200}\right) = 206,16 \left(1 - \frac{65}{200}\right) = 139,16 \text{ tf} \times \text{cm}/\text{m}$$

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_j} = \frac{100,00 \times (17,00 - 3,00)^2}{139,16} = 140,85$$

Para obter o valor de k_3 , consulta-se a Tabela A.4 (Anexo A).

Então, sendo:

$$k_3 \cong 0,279$$

Faz-se:

$$A_{sj} = k_3 \times \frac{M_{kb}}{d} = 0,279 \times \frac{139,16}{(17,00 - 3,00)} = 2,78 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Essa condição pode ser satisfeita com o emprego da tela Q 246 acrescida de uma faixa de tela Q 61.

l) Cálculo da armadura de retração ($A_{s,ret}$).

Dimensões das placas de concreto:

- Comprimento (L): $L = 25,00$ metros;
- Largura (W): $W = 12,00$ metros.

l.1) *Drag equation.*

$$A_{s,ret} = \frac{f \times \gamma_c \times L \times W \times h}{2\sigma_s} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 25,00 \times 12,00 \times 0,170}{2 \times \frac{2}{3} \times 600,00} = 2,35 \text{ cm}^2/\text{m}$$

l.2) *Packard (1973).*

$$A_{s,ret} = \frac{f \times \gamma \times h \times L}{2 \times 0,75 \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,170 \times 25,00}{2 \times 0,75 \times 60,00} = 1,74 \text{ cm}^2/\text{m}$$

l.3) *Rodrigues e Cassaro (1999).*

$$A_{s,ret} = \frac{f \times \gamma \times h \times L}{2 \times \frac{2}{3} \times f_{yk}} = \frac{1,50 \times 24,50 \times 0,170 \times 25,00}{2 \times \frac{2}{3} \times 60,00} = 1,96 \text{ cm}^2/\text{m}$$

l.4) *ABNT NBR 6.118/2007.*

$$A_{s,ret} = \frac{1,20 \times f \times \gamma_c \times h \times L}{2 \times \frac{f_{yk}}{1,15}} = \frac{1,20 \times 1,50 \times 24,50 \times 0,170 \times 25,00}{2 \times \frac{60,00}{1,15}} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Pelos mesmos motivos justificados anteriormente, optou-se adotar: $A_{s,ret} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$. Logo, emprega-se telas soldadas do tipo Q 196.

Tabela B.7 – Concreto estruturalmente armado: Modelos II e IV - Armadura longitudinal de flexão (A_s) e armadura de retração ($A_{s,ret}$) (Placas internas)

Modelo	Armadura longitudinal de flexão (A_s)	Tela	Armadura de retração ($A_{s,ret}$)	Tela
Modelo II – Carregamento na borda da placa (reforço das juntas)	2,78 cm ² /m	Q 246 acrescida faixa Q 61	1,80 cm ² /m	Q 196
Modelo II – Carregamento no interior da placa	2,43 cm ² /m	Q 246	1,80 cm ² /m	Q 196
Modelo IV - – Carregamento na borda da placa (reforço das juntas)	2,78 cm ² /m	Q 246 acrescida faixa Q 61	1,80 cm ² /m	Q 196
Modelo IV - Carregamento no interior da placa	2,43 cm ² /m	Q 246	1,80 cm ² /m	Q 196

m) Detalhamento da armadura.

A norma ABNT NBR 6.118:2007 não apresenta critérios específicos para detalhamento de pavimentos e pisos de concreto armado. Portanto serão utilizados os critérios apresentados para lajes e vigas.

m.1) Determinação do comprimento de transpasse.

No caso das telas soldadas tipo Q, geralmente, a distância entre os fios é de 10,00 centímetros. Portanto, será dimensionado o comprimento de transpasse para o caso de espaçamento maior que 4Φ , segundo a norma ABNT NBR 6.118:2007.

- Cálculo da resistência de aderência de cálculo.

$$f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,00 \times 1,00 \times \frac{\{0,70 \times [0,30 \times (30,00)^{2/3}]\}}{1,40} = 2,25 \times 1,00 \times 1,00 \times \frac{2,02753}{1,40} = 3,25853 \text{ MPa} \cong 3,26 \text{ MPa}$$

m.1.1) Para armadura longitudinal de flexão - Tela Q 246:

- Cálculo do comprimento de ancoragem básico:

$$l_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{5,60}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{3,26} = 224,05975 \text{ mm} \cong 224,00 \text{ mm} = 22,40 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de ancoragem necessário:

$$l_{b,nec} = \frac{1}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \times \frac{A_{s,c}}{A_{s,e}} = \frac{1}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{(3,26)} \times \frac{2,43}{2,46} = 39,52273 \text{ mm} \cong 39,55 \text{ mm} = 3,95 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de transpasse mínimo:

$$l_{t,min} = 0,30 \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_b = 0,30 \times 0,70 \times 2,00 \times 224,00 = 94,08 \text{ mm} \cong 94,10 \text{ mm} = 9,45 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de transpasse:

$$l_t = \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_{b,nec} + d_1 = 0,70 \times 2,00 \times 39,55 + 100,00 = 155,37 \text{ mm} \cong 155,40 \text{ mm} = 15,55 \text{ cm}$$

Adota-se um comprimento de transpasse igual a 15,55 centímetros.

m.1.2) Para armadura de retração - Tela Q 196:

- Cálculo do comprimento de ancoragem básico:

$$l_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{5,00}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{3,26} = 200,05 \text{ mm} \cong 200,00 \text{ mm} = 20,00 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de ancoragem necessário:

$$l_{b,nec} = \frac{1}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \times \frac{A_{s,c}}{A_{s,e}} = \frac{1}{4} \times \frac{(600,00/1,15)}{(3,26)} \times \frac{1,80}{1,96} = 36,75 \text{ mm} = 3,70 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de transpasse mínimo:

$$l_{t,min} = 0,30 \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_b = 0,30 \times 0,70 \times 2,00 \times 200,00 = 84,00 \text{ mm} = 8,40 \text{ cm}$$

- Cálculo do comprimento de transpasse:

$$l_t = \alpha_1 \times \alpha_2 \times l_{b,nec} + d_1 = 0,70 \times 2,00 \times 35,75 + 100,00 = 151,45 \text{ mm} = 15,15 \text{ cm}$$

Adota-se um comprimento de transpasse igual a 15,15 centímetros.

Observação: Projeto Geométrico, Detalhamento do Piso, Detalhe das Armaduras e Corte Transversal com Detalhe das Armaduras do Piso Industrial de Concreto Estruturalmente Armado em Projetos Estruturais.

ANEXO C – DESCRIÇÕES DOS MODELOS NUMÉRICOS

C.1 Modelos bidimensionais: Placas de concreto simples sobre base elástica

C.1.1 Características dos materiais constituintes do concreto simples e armado

As principais características do concreto (Tabela C.1) e do aço (Tabela C.2) utilizados nos cálculos estruturais e no desenvolvimento dos modelos numéricos foram devidamente especificadas no Anexo B. No entanto, de forma sucinta:

Tabela C.1 – Concreto: Especificações

Concreto*	
Componentes	
Cimento	CP II F – 32; CP II Z – 32 ou CP IV – 32
Agregado miúdo	$\phi_{m\acute{a}x} = 4,80$ mm – Areia natural ou artificial (pó – de - pedra)
Agregado graúdo	$\phi_{m\acute{a}x} \leq 1/4 \times h^{**}$ – Pedras britadas ou britas (fator de forma inferior a 3)***
Relação água-cimento (a/c)	-
Adições minerais	-
Aditivos	-
Características estruturais	
Resistência característica à compressão	$f_{ck} = 30,00$ MPa aos 28 dias
Resistência à tração na flexão (módulo de ruptura)	$f_{ctM,k} = 4,13$ MPa aos 28 dias
Módulo de elasticidade longitudinal	$E_{cs} = 26.071,60$ MPa
Coeficiente de Poisson	$\nu = 0,200$
Módulo de elasticidade transversal	$G_c = 10.428,64$ MPa
Peso específico	$\gamma_{concreto} = 24,50$ kN/m^3
Coeficiente de dilatação térmica	$\alpha_c = 10^{-5}$ / °C

*Conforme norma ABNT NBR 6.118:2007;

** h – espessura da placa de concreto;

*** Recomendações: Pitta, Carvalho e Rodrigues (1981).

Tabela C.2 – Aço: Especificações

Aço*	
Armadura superior (armadura de retração)	Aço CA – 60 A
Tensão de escoamento	$f_y = 600,00$ MPa
Armadura inferior (armadura de flexão)	Aço CA – 60 A
Tensão de escoamento	$f_y = 600,00$ MPa
Barras de transferência	Aço CA – 25 A
Tensão de escoamento	$f_y = 250,00$ MPa
Módulo de elasticidade longitudinal	$E_s = 210.000,00$ MPa
Coeficiente de dilatação térmica (- 20 °C a 150 °C)	$\alpha_c = 10^{-5}$ / °C

*Conforme norma ABNT NBR 6.118:2007.

C.1.2 Características das bases elásticas

Sumariamente, a análise de interação solo – estrutura tem como objetivo principal fornecer os deslocamentos reais e os esforços internos que solicitam os elementos de fundação e a estrutura. Os esforços podem ser obtidos de forma direta (análise de interação) ou de forma indireta (pressões de contato).

Os modelos analíticos de Westergaard (1926) admitem o terreno de fundação (subleito) como um sistema elástico de suporte para a placa, sendo que o mesmo é homogêneo e responde apenas as ações verticais externas, de acordo com o Modelo de Winkler (1867) – Ver Capítulo 4.

Para fins de desenvolvimento deste trabalho, a Tabela C.3 apresenta as respectivas combinações entre subleitos e sub-bases o que resultou em quatro modelos distintos de base elástica para as placas de concreto e a Tabela C.4 apresenta os coeficientes de mola, ou melhor, os módulos de reação dos sistemas subleito + sub-base (k_{inc}) para os quatro modelos de base elástica considerados nos cálculos estruturais e nos modelos numéricos.

Tabela C.3 – Subleitos e sub-bases de projeto

Modelo	Subleito I	Subleito II	Sub-base I	Sub-base II
	Siltes e argilas	Solos granulares (areia)	Granular	BGTC
I	X	-	X	-
II	-	X	X	-
III	X	-	-	X
IV	-	X	-	X

Tabela C.4 – Módulos de reação (k_{inc})

Modelo	Subleito I	Subleito II	Sub-base I	Sub-base II	$k_{incremento}$ (MPa/m)*
	k (MPa/m)	k (MPa/m)	h (cm)	h (cm)	
I	28,00	-	20,00	-	40,00
II	-	56,00	20,00	-	60,00
III	28,00	-	-	10,00	100,00
IV	-	56,00	-	10,00	97,50

*Figura A.2 a A.4 – Anexo A.

C.1.3 Características das cargas atuantes

C.1.3.1 Carga permanente

- Peso próprio (q)

No tocante a carga permanente de projeto, toma-se o peso próprio da placa isolada de concreto. Os respectivos valores das dimensões e dos pesos próprios das placas constituintes dos pisos industriais de concreto simples dimensionados nesse trabalho são apresentados a seguir na Tabela C.5.

Tabela C.5 – Carga permanente: Peso próprio das placas de concreto (q_p)

Placa isolada – Concreto simples (Empilhadeira com eixo de rodagem simples)				
Modelo	Largura – W (m)	Comprimento – L (m)	Espessura – h (m)	Peso próprio* (kN/m ²)
I	2,50	5,00	0,210	5,15
II	2,50	5,00	0,200	4,90
III	2,50	5,00	0,210	5,15
IV	2,50	5,00	0,200	4,90
Placa isolada – Concreto simples (Empilhadeira com eixo de rodagem dupla)				
Modelo	Largura – W (m)	Comprimento – L (m)	Espessura – h (m)	Peso próprio* (kN/m ²)
I	2,50	5,00	0,240	5,88
II	2,50	5,00	0,230	5,64
III	2,50	5,00	0,240	5,88
IV	2,50	5,00	0,230	5,64

$$*\gamma_{\text{concreto}} = 24,50 \text{ kN/m}^3$$

C.1.3.2 Carga móvel

Os pisos industriais de concreto simples e com armadura distribuída foram dimensionados segundo os procedimentos da PCA (*Portland Cement Association*), apresentados no Capítulo 4. Nos cálculos estruturais das placas de concreto foram adotadas empilhadeiras com rodames pneumáticos e eixo de rodagem simples e dupla, sendo suas especificações apresentadas na Tabela C.6, de acordo com os principais fabricantes nacionais e internacionais.

Tabela C.6 – Empilhadeira adotada no projeto: Especificações

Empilhadeira com rodames pneumáticos e eixo de rodagem simples	
Carga	
Capacidade de carga (P_{cc})	49,63 kN
Peso próprio (P_{pp})	65,37 kN
Carga útil (P)	115,00 kN
Carga por roda (P_r)	57,50 kN
Distância entre rodas	
S	1,00 m
Pressão de enchimento dos pneus	
Q	0,770 MPa
Empilhadeira com rodames pneumáticos e eixo de rodagem duplo	
Carga	
Capacidade de carga (P_{cc})	156,80 kN
Peso próprio (P_{pp})	31,55 kN
Carga útil (P)	188,35 kN
Carga por roda (P_r)	47,10 kN
Distância entre rodas	
S	1,50 m
s_d	0,350 m
Pressão de enchimento dos pneus	
Q	0,770 MPa

- Condição 01: Sem tráfego - Carga concentrada (P)

O tipo de veículo mais comum a trafegar em um piso industrial de concreto é a empilhadeira. A empilhadeira possui dois eixos, dianteiro e traseiro, no entanto, para efeitos de dimensionamento, o eixo traseiro é considerado apenas como direcional, pois no momento de solicitação máxima de carga, toda ela se concentrará no eixo dianteiro do veículo.

No método da PCA, utilizado para dimensionar as placas dos pisos industriais de concreto simples e com armadura distribuída (ver Capítulo 4), as empilhadeiras se enquadram dentro das cargas concentradas, visto que a sua carga é transferida ao piso através de apoios discretos representados pelas rodas, cuja área de contato com o piso pode ser bastante reduzida.

Ao se confrontar os modelos numéricos com os modelos analíticos de Westergaard (1926), deve-se ater ao fato de que Westergaard apresentou como algumas de suas hipóteses a aplicação de uma carga P em uma área de contato circular (Casos I e II) ou semicircular (Caso III), com raio a (ver Figura 4.5), na superfície da placa de concreto apoiada sobre base elástica.

Os valores da carga útil (P) e da carga por roda (P_r) da empilhadeira, além das dimensões dos pneus e/ou da área de contato do pneu com o piso são verificados na Tabela C.6 e no Anexo B deste trabalho.

- Condição 02: Com tráfego – Trem tipo (p)

De modo a representar o eixo dianteiro da empilhadeira com eixo de rodagem simples que trafega nas direções longitudinal e transversal da placa isolada de concreto simples, adota-se a configuração do trem tipo ilustrado pela Figura C.1.

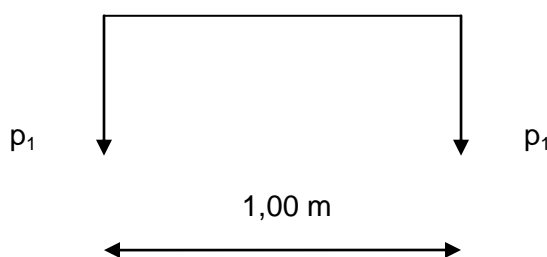


Figura C.1 – Trem tipo: Empilhadeira com eixo de rodagem simples

Observação: $p_1 = 57,50$ kN.

Agora, a fim de representar o eixo dianteiro da empilhadeira com eixo de rodagem dupla que trafega nas direções longitudinal e transversal da placa isolada de concreto simples, adota-se a configuração do trem tipo ilustrado pela Figura C.2.

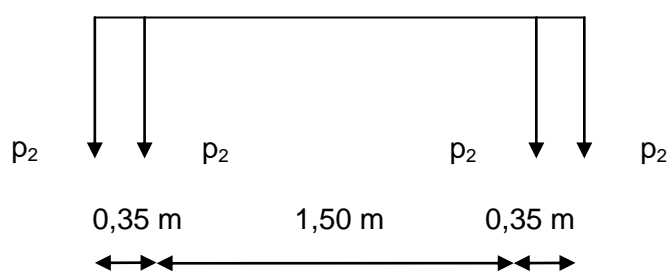


Figura C.2 – Trem tipo: Empilhadeira com eixo de rodagem dupla

Observação: $p_2 = 47,10$ kN.

C.2 Modelos unidimensionais: Viga de concreto sobre base elástica

C.2.1 Considerações iniciais

Baseando-se no fato de que a relação entre o lado maior (L) e o lado menor (W) das placas retangulares de concreto simples dimensionadas neste trabalho, seja tal que:

$$\frac{L}{W} \leq 2,00 \quad (\text{C.1})$$

onde:

L – comprimento [m];

W – largura [m].

E, a fim de analisar os momentos fletores máximos ($M_{m\acute{a}x}$) e as deflexões máximas ($\omega_{m\acute{a}x}$) das placas de concreto simples quando submetidas à ação direta de carregamentos estáticos e móveis (tráfego de empilhadeira com rodames pneumáticos e eixo de rodagem simples e dupla), foram desenvolvidos modelos unidimensionais (vigas) com o emprego do programa *FTOOL versão 3.00* (www.tecgraf.puc-rio.br/ftool).

Essa relação torna-se possível ao se aplicar a analogia de grelha que é um método bastante usado para análise de lajes, principalmente devido a sua facilidade de compreensão e utilização, e tem apresentado resultados satisfatórios para uma grande quantidade de pavimentos. Esta técnica foi inicialmente idealizada por Marcus em 1932, que não dispunha, nesta época, de computadores e, portanto era preciso se valer de processos aproximados para resolver as lajes (Stramandinoli, 2003).

O procedimento de analogia de grelha consiste em substituir a laje por uma malha equivalente de vigas (grelha equivalente), conforme ilustra a Figura C.2.

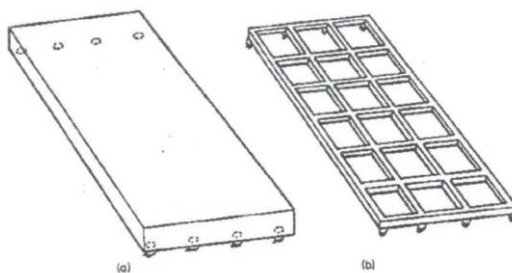


Figura C.2 – Laje maciça (a); grelha equivalente (b) (Hambly, 1976 apud Stramandinoli, 2003)

C.2.2 Características dos materiais constituintes das vigas de concreto

De acordo com Stramandinoli (2003), observou-se que o coeficiente de Poisson (ν) se faz sentir de forma diferente entre a teoria das placas e o processo de analogia de grelha. Isto acontece porque a rigidez de uma viga de seção retangular é fornecida pela equação (C.2) enquanto que na placa, considerando uma faixa de largura b (geralmente igual a um metro) e com a mesma altura da viga, a rigidez é fornecida pela equação (C.3), o que mostra que a placa é normalmente mais rígida que a viga.

Sendo:

$$D_v = E'_{cs} \frac{bh^3}{12} \quad (\text{C.2})$$

$$D_p = E_{cs} \frac{bh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (\text{C.3})$$

Segundo o método de analogia de grelha, deve-se ter:

$$D_v = D_p \quad (\text{C.4})$$

$$E'_{cs} \frac{bh^3}{12} = E_{cs} \frac{bh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (\text{C.5})$$

$$E'_{cs} = \frac{E_{cs}}{(1-\nu^2)} \quad (\text{C.6})$$

Ao substituir os valores apresentados anteriormente na Tabela C.1 na equação (C.6), chega-se ao valor equivalente do módulo de elasticidade longitudinal do concreto que servirá de parâmetro de entrada de modo a definir uma das

características físicas do concreto no programa *FTOOL versão 3.00* para as vigas de concreto simples.

$$E'_{cs} = \frac{26.071,60}{(1 - 0,200^2)} = 27.157,92 \text{ MPa} \quad (\text{C.7})$$

Os modelos de viga analisados apresentam seção transversal retangular com altura igual a espessura do piso (h), base (b) igual a um metro e comprimentos igual a L (comprimento da placa de concreto) e a W (largura da placa de concreto) – Ver Tabela C.7.

Tabela C.7 – Vigas de concreto: Dimensões

Tipo de piso	Modelos	Comprimento (m)	Dimensões da seção transversal retangular	
			Altura – h (m)	Base – b (m)
Piso industrial de concreto simples	Modelos I e III	$L = 5,00$	0,210	1,00
		$W = 2,50$		
	Modelos II e IV	$L = 5,00$	0,200	1,00
		$W = 2,50$		

C.2.3 Características das bases elásticas

Para a representação da base elástica sob as vigas de concreto simples no programa *FTOOL versão 3.00*, foram dimensionados os módulos de reação do sistema subleito + sub-base (k_{inc}) de acordo com os respectivos comprimentos das mesmas e o afastamento entre molas. As Vigas L (comprimento igual a 5,00 metros) o espaçamento entre molas é igual a 0,250 metros. Para as Vigas W (comprimento igual a 2,50 metros) esse espaçamento equivale a 0,125 metros. A Tabela C.8, apresenta os respectivos valores dos módulos de reação para as extremidades e o interior das vigas de acordo com o modelo analisado.

Tabela C.8 – Módulos de reação (k_{inc}): Modelos de viga

Módulos de reação (k_{inc})				
Modelos	Viga L		Viga W	
	Extremidades da viga	Interior da viga	Extremidades da viga	Interior da viga
	k_e (kN/m)	k_i (kN/m)	k_e (kN/m)	k_i (kN/m)
I	$5,00 \times 10^3$	$10,00 \times 10^3$	$2,50 \times 10^3$	$5,00 \times 10^3$
II	$7,50 \times 10^3$	$15,00 \times 10^3$	$3,75 \times 10^3$	$7,50 \times 10^3$
III	$12,50 \times 10^3$	$25,00 \times 10^3$	$6,25 \times 10^3$	$12,50 \times 10^3$
IV	$12,18 \times 10^3$	$24,37 \times 10^3$	$6,09 \times 10^3$	$12,18 \times 10^3$

C.2.4 Características das cargas atuantes

Quanto às cargas atuantes, tem-se a carga permanente e a carga móvel. A carga permanente condiz ao peso próprio da viga de concreto simples (Tabela C.9).

Tabela C.9 – Carga permanente: Peso próprio da viga (q_v)

Viga – Concreto simples (Empilhadeira com eixo de rodagem simples)				
Vigas L				
Modelo	Largura – b (m)	Comprimento – L (m)	Altura – h_v (m)	Peso próprio* (kN/m)
I	1,00	5,00	0,210	5,15
II	1,00	5,00	0,200	4,90
III	1,00	5,00	0,210	5,15
IV	1,00	5,00	0,200	4,90
Vigas W				
Modelo	Largura – b (m)	Comprimento – W (m)	Altura – h_v (m)	Peso próprio* (kN/m)
I	1,00	2,50	0,210	5,15
II	1,00	2,50	0,200	4,90
III	1,00	2,50	0,210	5,15
IV	1,00	2,50	0,200	4,90
Viga – Concreto simples (Empilhadeira com eixo de rodagem dupla)				
Vigas L				
Modelo	Largura – b (m)	Comprimento – L (m)	Altura – h_v (m)	Peso próprio* (kN/m)
I	1,00	5,00	0,240	5,88
II	1,00	5,00	0,230	5,64
III	1,00	5,00	0,240	5,88
IV	1,00	5,00	0,230	5,64
Vigas W				
Modelo	Largura – b (m)	Comprimento – W (m)	Altura – h_v (m)	Peso próprio* (kN/m)
I	1,00	2,50	0,240	5,88
II	1,00	2,50	0,230	5,64
III	1,00	2,50	0,240	5,88
IV	1,00	2,50	0,230	5,64

$$*\gamma_{concreto} = 24,50 \text{ kN/m}^3$$

A carga móvel apresenta as características já apresentadas anteriormente no subíndice C.1.3.2.