

ELABORAÇÃO DE ÁBACO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE LAJES ALVEOLARES

Comparison between reinforced concrete slabs and prestressed flat slabs

Ricardo José Fabiane¹; Diniane Baruffi²; Gabriele Rech Silveira³; Cristina Vitorino da Silva⁴

¹ Diplomado em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai, Erechim, Brasil. *E-mail*: ricardofabiane@hotmail.com

² Doutora em Engenharia pela Universidade de Passo Fundo – UPF. Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões – URI – Câmpus de Erechim. *E-mail*: dinianebaruffi@uricer.edu.br

³ Acadêmica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai, Erechim, Brasil. *E-mail*: 095479@aluno.uricer.edu.br

⁴ Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões – URI – Câmpus de Erechim, Brasil. *E-mail*: cristina@uricer.edu.br

Data do recebimento: 02/02/2022 - Data do aceite: 11/05/2022

RESUMO: O emprego de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas tem se tornado cada vez maior no Brasil, a partir da sua fabricação rápida, alcance de grandes vãos e baixo peso próprio, sendo uma opção otimizada para as estruturas. As lajes alveolares são definidas como uma peça de concreto pré-fabricado, que apresenta uma armadura longitudinal ativa, que resiste aos esforços de tração e sem armadura que resiste ao cisalhamento. Esse trabalho traz o desenvolvimento numérico a partir de um roteiro de cálculo para o pré-dimensionamento de lajes alveolares protendidas no Estado Limite Último, junto com as verificações de tensões no meio do vão e próximo aos apoios. Para a elaboração do roteiro de cálculo foram utilizadas as prescrições das normas brasileiras NBR 9062:2017, NBR 14861:2011 e NBR 6118:2014. Com isso, foi desenvolvido uma planilha computacional para o cálculo automatizado das lajes alveolares, sendo possível a elaboração de um ábaco para pré-dimensionamento validado a partir de outras referências bibliográficas.

Palavras-chave: Concreto protendido. Estruturas. Roteiro de cálculo. Ábaco.

ABSTRACT: The use of prefabricated hollow core slabs has become increasingly greater in Brazil because of their rapid manufacturing, they reach large spans and their low weight, and they are an optimized option for structures. Hollow core slabs are defined as a prefabricated concrete part, which has an active longitudinal reinforcement, which resists tensile efforts, and without reinforcement that resists shear. This paper presents a numerical development from a calculation script for the pre-dimensioning of prestressed hollow core slabs in the Ultimate Limit State, along with the stress checkings in the middle of the span and close to the supports. The requirements of the Brazilian standards NBR 9062:2017, NBR 14861:2011 and NBR 6118:2014 were used for the preparation of the calculation script. By these means, a computational spreadsheet was developed for the automated calculation of hollow core slabs, making it possible to prepare an abacus for pre-dimensioning validated through other bibliographic references.

Keywords: Prestressed concrete. Structures. Calculation script. Abacus.

Introdução

As lajes alveolares protendidas são consideradas uma grande inovação na indústria de pré-moldados e concreto protendido. No campo da construção civil, são frequentemente utilizados em diversos projetos e são bastante conhecidos na construção industrial devido à necessidade de produção em massa, maiores vãos livres, prazos de construção reduzidos, otimização de materiais e controle de qualidade (ZANON, 2011).

O uso de sistemas pré-moldados apresenta-se como uma melhoria efetiva na construção civil, com maior racionalização dos processos produtivos e melhor controle de qualidade dos sistemas construtivos finais (CATOIA; ROCHA; FERREIRA, 2021). O uso das lajes alveolares se apresenta como uma opção para os diferentes sistemas construtivos, sendo eles: alvenaria estrutural, concreto pré-moldado, concreto moldado *in loco* e estrutura metálica (ARAÚJO; PINTO, 2020).

Segundo Marquesi (2014), a fabricação de lajes alveolares tem ganhado importância e

competitividade para minimizar o consumo de concreto, maximizar vãos e convergir para soluções otimizadas. Além disso, em comparação com as estruturas moldadas *in loco*, os painéis alveolares protendidos são fáceis de fabricar e montar, economizando tempo.

A seção da laje é formada por concreto, vazios (chamados alvéolos) e cordoalhas de protensão, havendo uma única armadura, geralmente na parte inferior, mas também na parte superior, dependendo das exigências da peça. Segundo Veríssimo e César (1998), a protensão é responsável por controlar a deformação elástica, aumentando a durabilidade da estrutura, pois as tensões de tração que causam a fissuração são eliminadas e proporcionam maior resistência à fadiga.

A descrição detalhada do ábaco de pré-dimensionamento de laje alveolar, apresentada neste trabalho, tem funções para facilitar a determinação de parâmetros de dimensionamento como vão, altura e cabos necessários para uma determinada situação de exigência. O termo “pré-dimensionamento” existe porque cada caso tem suas peculiaridades e exige cálculos específicos para o dimensionamento de lajes alveolares.

As lajes alveolares para o artigo foram dimensionadas de acordo com o roteiro de cálculo e definidas as características geométricas e propriedades mecânicas do material, gerando uma planilha de cálculo necessária para formar o ábaco de pré-dimensionado. Outro fator adotado foi a utilização de perdas de protensão padronizadas utilizadas em outras revisões bibliográficas, pois seu cálculo era impraticável e desnecessário para fins de trabalho, considerando um estudo preliminar ao dimensionamento dos elementos.

Concreto protendido

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define os elementos de concreto protendido como aqueles que possuem a sua armadura alongada por equipamentos de protensão, com intuito de impedir ou minimizar os deslocamentos da estrutura e a fissuração, e propiciar um melhor aproveitamento dos aços no estado limite último.

Segundo Hanai (2005), utilização da protensão aplicada ao concreto é devido à resistência de tração do concreto ser menor em comparação à de compressão do mesmo. A protensão consiste em criar uma tensão de compressão na região onde o concreto seria tracionado devido às ações sobre a estrutura.

O concreto protendido utiliza concretos e aços de alta resistência, seguindo um controle de qualidade rigoroso, em razão da introdução da força de protensão causar solicitações prévias muito elevadas, a diminuição das seções das peças e a minimização do peso próprio.

Pré-fabricado

A NBR 9062 (ABNT, 2017), define o concreto pré-fabricado como o elemento produzido fora do local definitivo da estrutura, com estrutura permanente para o controle de

qualidade. Já a definição de pré-moldado é de um elemento executado fora do local definitivo de instalação, produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade, acelerando a produção e minimizando a baixa produtividade, desperdícios de materiais e controle de qualidade.

A padronização das seções transversais dos elementos, é necessária na pré-fabricação. Devido aos elementos serem produzidos em fôrmas preestabelecidas, a padronização se limita a detalhes, dimensões e geometria das seções transversais, mas geralmente o comprimento fica livre de limitações. A mesma passa a ser um fator econômico importante na pré-fabricação, já que qualquer mudança de seção gera trabalhos para adaptação (VAN ACKER, 2002).

Lajes alveolares protendidas

A laje alveolar protendida pode ser definida como uma das aplicações dos painéis alveolares de concreto protendido. O painel alveolar, por sua vez, é um elemento pré-fabricado de concreto protendido caracterizado pela presença de espaços ociosos e contínuos, os chamados alvéolos, que são responsáveis pela redução do peso próprio e também utilizados para embutir instalações elétricas e hidrossanitárias (PCI, 2015).

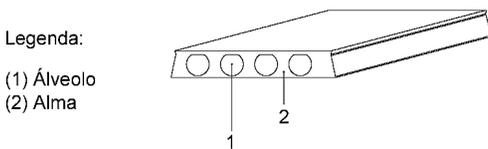
Apesar do alto custo inicial de maquinário, a produção é praticamente automatizada, com grande escala de produtividade. Com isso, esse tipo de elemento se torna bastante competitivo, devido à sua racionalização de materiais, como a redução de concreto e aço, economia com formas, ausência de escoramento e velocidade de montagem (COSTA, 2009).

Segundo a NBR 14861 (ABNT, 2011), laje alveolar é uma peça de concreto pré-fabricada, e apresenta armadura longitudinal ativa que resiste aos esforços de tração e não possui armadura transversal de cisalhamento.

Sua seção transversal é composta de almas e alvéolos e as geometrias dos alvéolos podem ser alternadas devido aos equipamentos utilizados para a fabricação.

A faixa de vãos de uma laje alveolar varia entre 5 m e 15 m e as larguras são normalmente de 1 m e 1,25 m, mas podem chegar a 2,50 m. As alturas variam normalmente de 15 cm até 30 cm, podendo atingir 70 cm, sendo que a relação entre vão e altura chega à ordem de 50 (GUSTANI, 2017). A Figura 1 representa a seção transversal de uma laje alveolar protendida.

Figura 1 - Exemplo de laje alveolar



Fonte: Adaptado NBR 14861 (ABNT, 2011)

Material e Métodos

O ábaco desenvolvido neste trabalho tem como objetivo facilitar o pré-dimensionamento de lajes alveolares. É uma boa alternativa para uso em projetos orçamentários, podendo ser utilizado na fase de pesquisa de um projeto onde são determinados vãos e cargas do projeto. Em projeto arquitetônico é possível, portanto, considerar a espessura específica da laje, além de auxiliar na verificação da execução dos cálculos.

Primeiramente, é definida a seção transversal da laje alveolar, que leva em consideração sua altura, características geométricas e alvéolos. A utilização da capa de concreto é definida na fase inicial, pois o projeto leva em consideração sua espessura, e o cálculo será avaliado em dois casos. A placa de co-

bertura é projetada para aumentar a altura útil da peça, criando uma seção composta que aumenta a resistência da peça e melhora o desempenho do elemento como diafragma horizontal na estrutura. O revestimento tem uma espessura mínima de 5 cm na área de sua altura mais baixa (em relação à flecha máxima da placa). A tampa também dá acabamento e garante uma superfície plana (PINHEIRO; CARVALHO; ALMEIDA, 2017).

As características geométricas das lajes alveolares foram extraídas do *software Auto-Cad*, considerando largura (b); altura (h); área (A_c); perímetro (P); inércia (I); distâncias até o centro de gravidade (y_c); excentricidade (e); e altura útil (d), apresentadas conforme Tabela I e Tabela II.

Tabela I - Características geométricas da laje alveolar sem capa

Propriedade	Valor
b (m)	1,2500
h (m)	0,2000
A_c (m ²)	0,1469
P (m)	6,7800
I (m ⁴)	0,0009
$y_{c,sup}$ (m)	0,1003
$y_{c,inf}$ (m)	0,0997
e (m)	0,0763
d (m)	0,1766

São necessárias algumas propriedades gerais para a continuidade, entre elas a definição da classe de agressividade ambiental, a resistência à tração do concreto utilizado para a confecção das lajes alveolares e o concreto utilizado para seu revestimento. Para a utilização deste projeto, será considerada uma classe de agressividade moderada (CAA II), exigindo uma relação água-cimento menor ou igual a 0,55 de acordo com a NBR 6118

(ABNT, 2014), e uma classe de concreto maior ou igual a 30 MPa de concreto protendido. No presente artigo, o fck adotado é de 50 MPa para a laje alveolar e 30 MPa para o revestimento estrutural.

Tabela II - Características geométricas da laje alveolar com capa

Propriedade	Valor
b (m)	1,2500
h (m)	0,2500
A_c (m ²)	0,2077
P (m)	6,8800
I (m ⁴)	0,0018
$y_{c,sup}$ (m)	0,0810
$y_{c,inf}$ (m)	0,1190
5e (m)	0,0956
D	0,2266

Os carregamentos foram definidos por cargas permanentes: g_1 - peso próprio do elemento; g_2 - peso próprio da placa de cobertura; g_3 - revestimento; e cargas variáveis: q - carga accidental.

Foi determinada a utilização de cordoalhas com resistência à tração igual a 190 kgf/mm² (CP-190), na condição de relaxação baixa (RB), adotando os diâmetros de 9,5 mm e 12,7 mm, segundo NBR 7483 (ABNT, 2020), com áreas da seção transversal de aço, respectivamente, de 0,562 mm² e 1,009 mm².

Uma exemplificação numérica de um caso específico com intuito elucidar o roteiro de cálculo também foi desenvolvida. Foi definido, no exemplo, um carregamento accidental, sendo necessário sua multiplicação pela largura da laje alveolar. Esse cálculo foi fundamental para a elaboração futura das planilhas computacionais e do ábaco.

Informações geométricas, materiais, e as equações foram dispostas no *software*

Microsoft Excel para desenvolver a planilha computacional, auxiliando na geração do ábaco, no mesmo programa.

Quatro segmentos foram dispostos separadamente na planilha computacional criada, com características fixas, adotadas para a elaboração do exemplo numérico, sendo estes: valores como característica geométrica, sem a utilização de capa estrutural e com a utilização, características dos materiais utilizados e as ações adotadas a partir da NBR 8681 (ABNT, 2004); as características variáveis, como os valores de vão e sobrecarga necessários para cada caso, alterados manualmente pelo operador da planilha; os resultados, onde será gerado o momento fletor máximo da laje alveolar, a área de aço e com isso dispostos em dois formatos de cordoalhas. Outros cálculos foram realizados excluídos da interface principal além dos dados na planilha computacional, sendo eles os carregamentos, o coeficiente admissional KMD que permite o dimensionamento a partir de tabelas, o pré-alongamento da protensão, e a estimativa de perda de carga total; e por último a seção transversal da laje alveolar, exemplificando apenas graficamente, a seção considerada para os cálculos.

Conforme apresentado por Petrucelli (2009), no cálculo foi considerada a perda de protensão total igual a 25% que, para aços de resistência característica à ruptura por tração (f_{ptk}) igual a 1900 MPa, equivale a um pré-alongamento de, aproximadamente, 5,60%.

Ainda no *software Microsoft Excel*, foi feita a graficação do ábaco, a partir da função para inserir Gráfico de Dispersão (X,Y) com linhas suaves. Ademais, foi criada uma base de dados com a área de aço resultante de cada caso específico, a partir da inserção manual na planilha computacional dos valores de vão e sobrecarga.

O ábaco foi construído a partir da planilha eletrônica, desenvolvida no *Microsoft Excel*,

sendo necessária a disposição manual dos dados de entrada (características variáveis) para o desenvolvimento do ábaco, foi alterado gradativamente, alçando por meio disso, a área de aço de cada arranjo de cordoalha, sendo calculado onde a curva do ábaco está passando.

Fica definido, a partir da carga do revestimento, o valor da sobrecarga g_3+q , sendo 2 kN/m², a carga variável que será aumentada até o valor de sobrecarga máxima que uma laje alveolar pode suportar, que segundo Migliore (2008) é de 25 kN/m². O valor máximo pode ser contemplado pelo ábaco devido às características adotadas no trabalho.

Segundo Brumatti (2008), é definido que o vão mínimo indicado para lajes alveolares é de 5 m; adotou-se esse valor ao ábaco. Conforme definido por Migliore (2008), onde o vão máximo para uma laje alveolar simplesmente apoiada de 20 centímetros, com capeamento estrutural 5 centímetros, devem ser de 12 metros.

A capa estrutural foi de 5 cm mais a altura da laje alveolar de 20 cm. Três variáveis foram levadas em conta no pré-dimensionamento das lajes alveolares pelo ábaco: o vão (m) das lajes alveolares, localizado no eixo x; a sobrecarga (kN/m²), definida pelo revestimento mais a carga acidental ($g_3 + q$), localizado no eixo y; e as curvas no ábaco serão referentes a 6 arranjos de cordoalhas diferentes.

Em um projeto, normalmente, o orçamento define o vão e a sobrecarga, com isso, verifica-se no ábaco se uma laje alveolar de 20 cm, com o aço determinado se encaixa nas solicitações e se pode ser executado com tais características.

Resultados e Discussão

Para o dimensionamento da laje alveolar apresentada no exemplo numérico, foi

considerado uma laje com altura de 20 centímetros e mais 5 centímetros de altura para o capeamento estrutural. As demais características geométricas referentes ao exemplo numérico foram apresentadas na Tabela I e Tabela II. O vão livre foi dimensionado para 7 metros, sendo simplesmente apoiada, com a resistência do concreto da peça à tração de 50 MPa e da capa de concreto de 30 MPa. A sobrecarga estimada de revestimento foi de 2 kN/m² e sobrecarga acidental de 8 kN/m². A perda total de protensão utilizada foi estimada em 25%. A partir de algumas equações foi possível chegar no dimensionamento da laje alveolar que resultou em uma área de aço de 4,9001 mm², sendo adotada a utilização de 5 cordoalhas CP 190 RB \varnothing 12,7.

Algumas características previamente definidas, como: geometria da seção transversal; vão teórico; esforços solicitantes; classe do concreto; armadura ativa e perdas de protensão foram utilizadas para o desenvolvimento da planilha.

A partir da planilha foi possível analisar a quantidade de aço necessário para cada caso específico de vão e carga acidental. Diferentes arranjos de cordoalhas podem ser resultados a partir da planilha, dependendo do diâmetro arbitrado para cada caso. Conforme Figura 2, é apresentada a interface da planilha, sendo possível alterar as características variáveis, na cor verde, onde foram colocados os valores de vão e a sobrecarga necessários para cada caso, alterados manualmente pelo operador da planilha; os resultados, na cor laranja, onde foi gerado o momento máximo da laje alveolar, a área de aço, resultando em arranjos de cordoalhas CP 190 RB \varnothing 9,5 e CP 190 RB \varnothing 12,7, os cálculos foram feitos automaticamente a partir dessas informações.

Com a planilha se faz palpável a determinação de parâmetros, de maneira descomplicada e ágil, do tipo de laje alveolar adequada para um determinado vão, sob ação de um

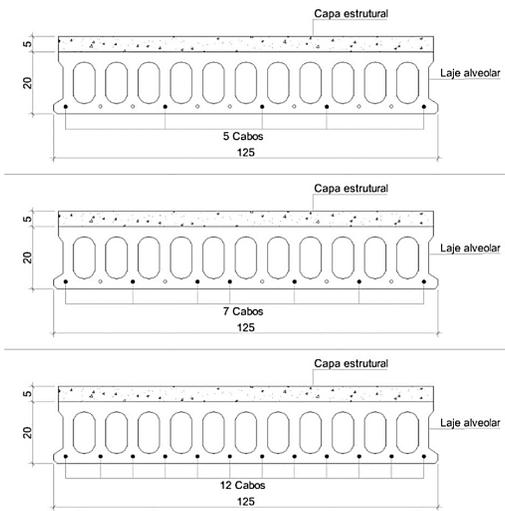
Figura 2 - Interface da planilha computacional

CARACTERÍSTICAS FIXAS			
Características geométricas			
Laje alveolar h = 20 cm		Laje alveolar h = 20 cm + 5 cm	
Propriedade	Valor	Propriedade	Valor
b (m)	1,2500	b (m)	1,2500
h (m)	0,2000	h (m)	0,2500
h capa (m)	0,0000	h capa (m)	0,0500
Ac (m ²)	0,1469	Ac (m ²)	0,2077
P (m)	6,7800	P (m)	6,8800
I (m ⁴)	0,0009	I (m ⁴)	0,0018
y _{c,sup} (m)	0,1003	y _{c,sup} (m)	0,0810
y _{c,inf} (m)	0,0997	y _{c,inf} (m)	0,1190
e (m)	0,0763	e (m)	0,0956
d (m)	0,1766	d (m)	0,2266
Materiais			
fck laje (Mpa)		50,0000	
fck capa (MPa)		30,0000	
γconcreto (kg/m ³)		2500,0000	
Ações			
Peso próprio de estruturas pré-moldadas		1,3000	
Elementos construtivos industrializados com adições in loco		1,4000	
Ações variáveis em geral		1,5000	
CARACTERÍSTICAS VARIÁVEIS			
Vão (m)			
Sobrecargas			
Revestimento (kN/m ²)			
Acidental (kN/m ²)			
RESULTADOS			
Momento Máximo (kN.m)			
Área de aço (cm ²)			
CP 190 RB 9,5			
CP 190 RB 12,7			
SEÇÃO TRANSVERSAL			

carregamento. O resultado principal desse trabalho foi a elaboração do ábaco com essas características.

As lajes alveolares dimensionadas foram separadas devido aos seis arranjos de cordoalhas diferentes, sendo eles: 5 CP 190 RB ø

9,5; 7 CP 190 RB ø 9,5; 12 CP 190 RB ø 9,5; 5 CP 190 RB ø 12,7; 7 CP 190 RB ø 12,7; 12 CP 190 RB ø 12,7. O posicionamento dos arranjos expostos é diferenciado devido à quantidade de cordoalhas e estão representados na Figura 3.

Figura 3 - Posicionamento dos arranjos de cordoalhas

A partir de um gráfico em formato de curva X e Y do ábaco foi elaborado. A variável do eixo X, caracterizado pelo vão da laje alveolar, pode ser considerado um vão de até 12 metros para a laje alveolar de 25 centímetros (laje alveolar + capa estrutural). A variável do eixo Y, definido pela sobrecarga, caracterizada pela soma das cargas de revestimento e a acidental, foi estimada a partir dos resultados encontrados na planilha computacional para a área de aço de cada arranjo decordoalhas, sendo limitado à sobrecarga de 25 kN/m². Os cálculos também foram limitados a partir dos coeficientes KMD.

Dependendo das características informadas e necessárias para cada projeto ou solicitação, pode-se dar entrada no ábaco tanto pelo eixo X, quanto pelo eixo Y. É possível, assim, determinar qual é a armadura longitudinal necessária para o caso, ou determinar a necessidade da utilização de uma maior área de aço. A utilização do ábaco tem como finalidade, também, fazer a verificação da necessidade de aumentar a espessura da laje, visto que foi considerado momento máximo, a sobrecarga máxima, o vão máximo para uma laje alveolar de 20 centímetros de

espessura. Por isso, seria necessário aumentar a espessura para vãos ou sobrecargas maiores.

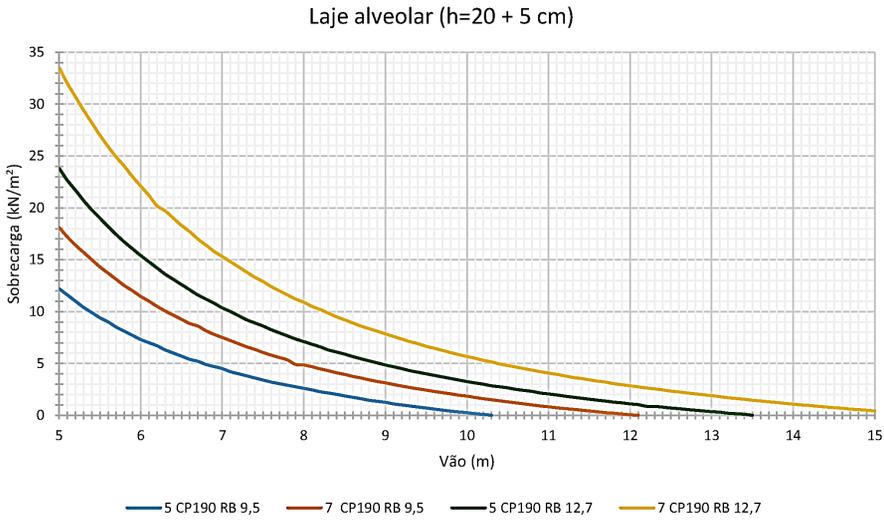
O desenvolvimento do ábaco, possibilitou o atendimento pleno de todas as definições de cálculo, vão e sobrecarga, representado na Figura 4, onde é possível observar a linearidade das curvas, sendo dispostas paralelamente umas às outras. Para efeito de exemplificação, pode se entender que para uma laje alveolar de 10 metros de vão, com sobrecarga de 5 kN/m² é necessária a utilização de, no mínimo, 7 cordoalhas de CP 190 RB ø 12,7 ou 12 cordoalhas de CP 190 RB ø 9,5.

A calibração do ábaco garantiu a confirmação da eficiência dos cálculos para a elaboração do ábaco, mesmo que por proximidade de resultados, devido às diferenças no momento do cálculo de cada caso de laje alveolar, características geométricas, materiais e ações consideradas.

Fazendo uma comparação com trabalhos externos, como o de Petrucelli (2009), onde é descrito em seu exemplo numérico, uma laje alveolar de 20 centímetros mais a capa estrutural, com características semelhantes desse trabalho, vão livre de 6 metros e sobrecargas de 7 kN/m², onde foi encontrada a necessidade de 5 cordoalhas CP 190 RB ø 9,5. Quando utilizadas as características no ábaco é comprovada a efetividade do mesmo.

Finalizando, Melo (2007), expõe diversas tabelas possíveis para determinação de vãos e cargas máximas para casos de lajes alveolares com seções transversais semelhantes ao determinado no trabalho. O cálculo das cargas limites para uma laje alveolar com 20 centímetros de altura apresentado, considera uma capa estrutural de 5 centímetros, onde é definido o arranjo de cordoalhas de 5 CP 190 RB ø 12,7. Logo, com esse anexo foi possível confirmar a eficiência do ábaco, visto que com o vão exposto, a carga limite, considerado no trabalho de pré-dimensionamento ser apenas do momento fletor, devem ser utiliza-

Figura 4 - Ábaco



dos os valores da flexão limite. Por exemplo, para uma laje alveolar com vão de 5 metros e sobrecarga gerada pelo carregamento de 2433 kgf/m² (24,33 kN/m²), onde é determinado a armadura da laje de 5 CP 190 RB ϕ 12,7. Quando utilizadas essas informações no ábaco exposto nesse trabalho, chega-se aproximadamente ao mesmo arranjo.

Conclusões

O presente artigo teve como objetivo primordial elaborar um ábaco para pré-dimensionamento de lajes alveolares. Para a elaboração do ábaco foi criado um roteiro de cálculo, o qual apresenta o dimensionamento inicial para as lajes alveolares, que levou em conta as características da seção transversal da peça e os materiais utilizados. A utilização dos coeficientes KMD foi de grande importância para a simplificação dos cálculos.

Para o pré-dimensionamento foram adotadas as perdas de protensão com valores aproximados, sem serem calculadas meti-

culosamente. Foi considerado no roteiro de cálculo, o dimensionamento com o momento fletor máximo atuando no meio do vão e verificadas as tensões máximas no vazio (no ato da protensão). A partir do roteiro de cálculo foi possível apresentar um exemplo numérico, com intuito de esclarecer e elucidar o roteiro de cálculo, sendo as verificações impostas no trabalho.

Foi possível, por meio da exemplificação, a construção de planilhas computacionais, que a partir da busca de valores, o cálculo das lajes alveolares tornou-se automático. Proporcionando a elaboração do ábaco, que possui o propósito de nortear o dimensionamento das lajes alveolares, tanto em fase de orçamento, como em fase de projeto, sendo possível ter uma diretriz para o cálculo executivo da peça, e também não fugir do exposto no ante projeto ou orçamento.

O ábaco foi verificado a partir de outras revisões bibliográficas, comparando-se os resultados. Este se mostrou eficiente e válido para a sua aplicação, mesmo que calculado com suas perdas de protensão aproximadas.

Portanto, conclui-se que o trabalho se mostrou eficiente e apto para fins de pré-dimensionamento de lajes alveolares, além de elucidar tanto a sua produção quanto o seu dimensionamento. Contudo, para o cálculo

estrutural executivo se faz necessário o dimensionamento individualizado do elemento estrutural, visto que cada caso possui particularidades a serem analisadas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. L.; PINTO, G. D. C. Fire Behavior of Shallow Prestressed Hollow Core Slabs from Computational Modeling. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 13, n. 2, p. 398-432, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Concreto Armado – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14861**: Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2011.
- BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados**: estudo e viabilidade. 2008. Trabalho de Diplomação - Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- CATOIA, B.; ROCHA, A. L.; FERREIRA, M. de A. Flexure Shear Capacity of Prestressed Hollow Core Slabs. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**, v. 14, n. 5, e14507, 2021.
- COSTA, O. O. **Avaliação de desempenho de elementos de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- GUSTANI, P. H. F. **Laje alveolar protendida**: roteiro de dimensionamento e panorama de produção nas regiões sudoeste e centro-sul do Paraná. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR, Pato Branco, 2017.
- HANAI, J. B. **Fundamentos do concreto protendido**. São Carlos, EESC/USP, 2005.
- MARQUESI, M. L. G. **Contribuição ao estudo dos mecanismos resistentes à força cortante em lajes alveolares protendidas**. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.
- MELO, C. E. E. et al. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. São Paulo: ED. PINI, 2007.
- MIGLIORE, G. M. **Dimensionamento e utilização de laje alveolar protendida**. 2008. Monografia (Graduação). Barretos: UNIFEB, 2008.
- PETRUCELLI, N. S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE (PCI). **Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls**. 2015.

PINHEIRO, G. L.; CARVALHO, R. C.; ALMEIDA, F. M. de. Lajes alveolares pré-fabricadas: estudo da influência do número e do instante de preenchimento de alvéolos no ganho de resistência à força cortante. **Matéria**, v. 22, n. 4, e11901, 2017.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo, SP: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

VERÍSSIMO, G. S; CÉSAR JR, K. M. L. **Concreto Protendido-Fundamentos Básicos**. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Minas Gerais, 1998. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

ZANON, E. B. **Lajes alveolares protendidas pré-fabricadas e maciças de concreto armado moldadas in loco**: comparativo dos processos de execução. 2011. Trabalho de Diplomação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

